

## ИНФРАКРАСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ типа Т2. ПРИМЕР ОТЧЕТА.

### 1. Устройство турбогенераторов серии Т2. Общие сведения.

1. Генераторы переменного тока, работающие на ТЭС являются синхронными машинами. Синхронная машина в обычном исполнении состоит из неподвижной части – статора, в пазах которого помещается трехфазная обмотка и вращающейся части – ротора, к обмотке которой подводится постоянный ток от возбuditеля при помощи контактных колец и наложенных на них щеток.

2. Статор состоит из корпуса, сердечника и обмотки. Генераторы имеют стальные сварные корпуса закрытого типа. В верхней части корпуса, в зоне расположения лобовых частей обмотки статора, для наблюдения за их состоянием имеются смотровые люки. Внутри корпусов, у его торцов заложены кольцевые перфорированные трубы с выведенными наружу патрубками. Через эти патрубки при пожаре внутрь корпуса подается вода. Сердечник статора, для уменьшения потерь в активной стали собран из стали толщиной 0,5 мм, покрытых изолирующим лаком.

Трехфазная обмотка выполнена двухслойной с сокращенным шагом. В пазах обмотка закреплена гетинаксовыми клиньями. Для предохранения от смещения при к.з. лобовые части обмотки прибандажированы к изолированным стальным бандажным кольцам, собранным на специальных кронштейнах. Изоляция обмотки класса «В» (120), компаундированная.

3. Для надежности эксплуатации и удобства обслуживания турбогенератор выполнен в закрытом исполнении с замкнутой системой вентиляции и охлаждением горячего воздуха посредством воздухоохладителей.

Возбудители соединены непосредственно с валом генератора.

4. Ротор турбогенератора выполнен из цельной стальной поковки с весьма высоким качеством стали. Катушка обмотки возбуждения заложена в пазы, выфрезерованные на внешней поверхности ротора и закреплена в пазах прочными клиньями. Лобовые части обмотки возбуждения закрыты кольцевыми бандажами, выполненными из особо прочной стали.

Изоляция обмотки класса «В» на теплостойких лаках. Контактные кольца расположены на стороне возбuditеля, между статором и подшипниками. Токоотводы от обмотки ротора к контактным кольцам уложены в специальных пазах хвостовой части ротора. Контактные кольца стальные, насажены изолировано на втулку, имеющую глухую насадку на вал ротора.

5. Щеточная траверса для обоих контактных колец крепится на наружном торцевом щите со стороны возбuditеля. Размещенные щеткодержатели снабжены регулируемым устройством, обеспечивающим возможность регулирования давления на щетку.

6. На ТЭС установлены синхронные 3-х фазные турбогенераторы

#### **ТГ № 1, 2 типа Т2-6-2 с паспортными данными:**

Соединение обмоток статора	- звезда
Активная мощность	- 6000 кВт
Кажущая мощность	- 7500 кВА
Напряжение статора	- 6300 В
Ток статора	- 688 А при т-ре 40

С

Косинус «фи»	- 0,8
Скорость вращения	- 3000 об/мин
Частота	- 50 Гц.
Напряжение ротора ТГ-1	- 114 В,
ТГ-2	- 110 В
Ток ротора ТГ-1	- 228 А
ТГ-2	- 287 А

**ТГ № 3 типа Т2-12-2 с паспортными данными:**

Соединение обмоток статора	- звезда
Активная мощность	- 12000 кВА
Кажущая мощность	- 15000 кВа
Напряжение статора	- 6300 В
Ток статора	- 1375 А при т-ре 40 С
Косинус «фи»	- 0,8
Скорость вращения	- 3000 об/мин
Частота	- 50 Гц.
Напряжение ротора	- 200 В
Ток ротора	- 246 А

**ТГ № 4 типа Т2-12-2УЗ с паспортными данными:**

Соединение обмоток статора	- звезда
Активная мощность	- 12000 кВА
Кажущая мощность	- 15000 кВА
Напряжение статора	- 6300 В
Ток статора	- 1376 А
Косинус «фи»	- 0,8
Скорость вращения	- 3000 об/мин
Частота	- 50 Гц.
Напряжение ротора	- 200 В
Ток ротора	- 250 А

Генераторы выполнены 2-х полюсными и с воздушным охлаждением.

**Возбудители:**

	Для ТГ № 1,2	Для ТГ № 3,4
Тип	ВТ-50-3000	ВТ-75-3000
Напряжение	150 В	230 В
Ток	333 А	325 А
Мощность	50 кВт	75 кВт
Скорость вращения	3000 об/мин	3000 об/мин

Возбудитель выполнен 4-х полюсным с добавочными полюсами. Главные полюса имеют дополнительную обмотку для включения коллектора напряжения.

**7. Вентиляция.**

Турбогенератор выполнен в закрытом исполнении, с замкнутой системой вентиляции и охлаждением воздуха посредством воздухоохладителя. Система вентиляции двухструйная, симметричная с двумя вентиляторами на роторе. Вода в воздухоохладитель подается от насосов на воздухоохлаждение.

Вентиляция возбудителя - струя воздуха охлаждает полюса и якорь, коллектор и щеточный аппарат возбудителя.

## Конструкция турбогенератора

На рис. 1 показан продольный разрез турбогенератора Т2-12-2, конструкция которого является типичной для машин с воздушным охлаждением. Сварной корпус статора 1, имеющий опорные лапы, болтами прикреплен к фундаментной плите, которая анкерными болтами соединена с фундаментом. Сердечник статора 2 набран из штампованных сегментов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сегменты сердечника спрессованы в сварном корпусе и стянуты с помощью стяжных шпилек 3, нажимных колец 4 и нажимных пальцев 5. Лобовые части обмотки статора 7 притянуты к бандажным кольцам 6 для предохранения обмотки от деформации из-за динамических усилий при коротких замыканиях. Начала фаз обмотки соединены с выводными шинами 17. Сердечник состоит из отдельных пакетов, между которыми имеются вентиляционные каналы. С торцов корпус статора закрыт внутренними 9 и наружными 8 щитами, которые в центральной части имеют отверстия для прохода вала ротора. К внутреннему щиту прикреплен диффузор 10 с радиально расположенными перегородками, необходимый для превращения скоростного динамического напора воздушной струи, идущей от вентилятора 11, в статический напор. В роторе 19, изготовленном из цельной стальной поковки, профрезерованы пазы, в которые уложена обмотка возбуждения. Выводы обмотки возбуждения соединены с контактными кольцами 13. Ток к обмотке ротора подводится с помощью щеточного устройства 12 от возбuditеля 15. Обмотка ротора в пазах удерживается металлическими клиньями, а лобовые части — стальными бандажными кольцами 18.

Турбогенератор имеет два подшипника 14 скользящего трения с принудительной подачей масла от масляного насоса. Для разрыва цепи подшипниковых токов подшипник со стороны возбuditеля и подшипники самого возбuditеля электрически изолированы от фундаментной плиты прокладками, с тем чтобы электрокоррозия от этих токов не повредила поверхности вкладышей и шейки вала. В корпусе статора укреплены трубопроводы системы пожаротушения 16 для подачи внутрь машины углекислого газа или пара. В машинах типов Т2-6-2 и Т2-12-2 оба контактных кольца располагаются со стороны возбuditеля между торцевым щитом и подшипником. В машинах типов Т2-25-2, Т2-50-2 и Т2-100-2 для сокращения расстояния между подшипниками контактные кольца вынесены за подшипник. Щеточное устройство (траверза) в этих машинах устанавливается на плите возбuditеля. В турбогенераторе мощностью до 4 МВт контактные кольца разнесены по обе стороны машины и расположены между статором и подшипниками. Все генераторы, начиная с генератора типа Т2-6-2, не имеют цельных фундаментных плит и устанавливаются на отдельных плитах.

**Система вентиляции.** Для предупреждения чрезмерных нагревов отдельных частей генератора из-за превращения в теплоту магнитных, электрических и механических потерь его необходимо искусственно охлаждать. Система вентиляции турбогенераторов с воздушным охлаждением замкнутая, т.е. в машине циркулирует одно и то же количество воздуха, охлаждаемого в воздухоохладителе. Применение замкнутой системы вентиляции определяется прежде всего необходимостью использовать очищенный воздух. По направлению движения холодного воздуха вентиляция является нагнетательной. Преимуществом нагнетательной схемы является то, что в машине поддерживается избыток давления над окружающей атмосферой и в генератор через неплотности в обшивке не может попасть неотфильтрованный воздух. Однако при нагнетательной схеме холодный воздух уже в самом вентиляторе подогревается на 5-7 °С. Это приводит к необходимости повышать на 10-15 % количество продуваемого воздуха. Схема вентиляции генератора Т2-12-2 показана на рис. 2.

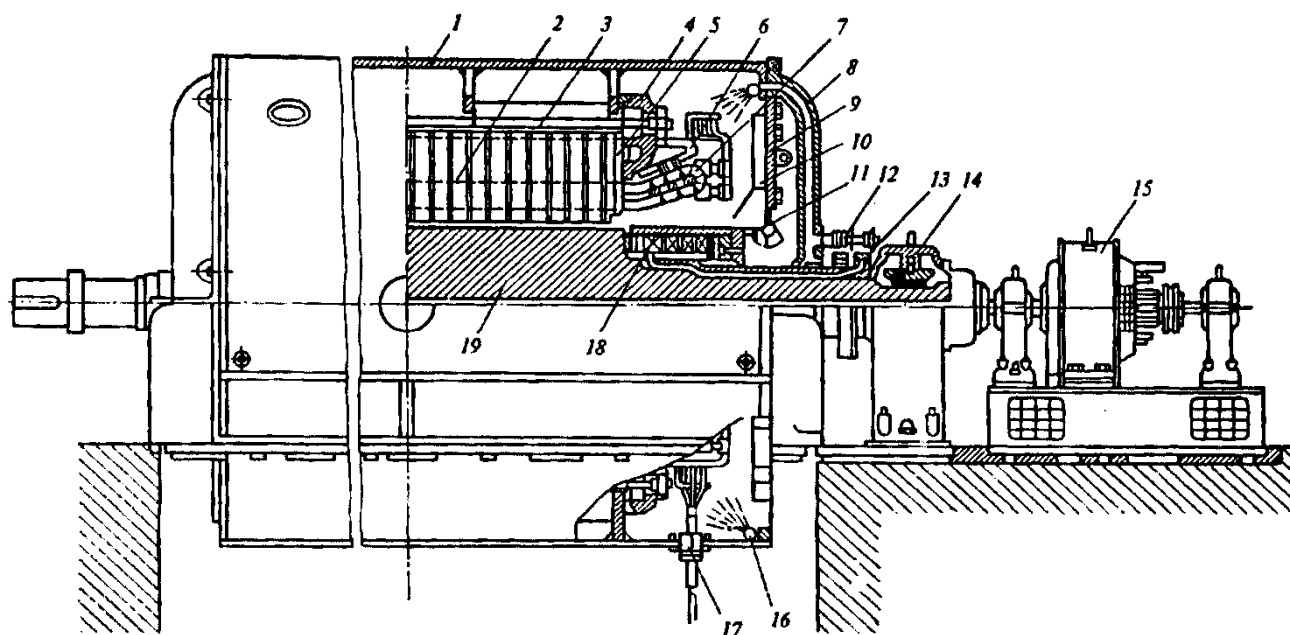


Рис. 1. Продольный разрез турбогенератора Т2-12-2 с воздушным охлаждением.

Горячий воздух из машины поступает в камеру, расположенную в фундаменте под машиной. В камере установлены воздухоохладители 5, по трубкам которых циркулирует охлаждающая вода. Пройдя воздухоохладители, холодный воздух засасывается центробежным вентилятором 2 под торцевые щиты генератора и затем поступает в корпус статора. Корпус разделен перегородками на отдельные отсеки (камеры) холодного и горячего воздуха. По числу камер горячего воздуха различают двух-, трех- и четырехструйную схемы вентиляции турбогенераторов; Т2-12-2 имеет две камеры 8 горячего воздуха и соответственно двухструйную вентиляцию. Из камеры холодного воздуха 9 последний проходит в радиальном направлении через каналы между пакетами сердечника статора в зазор и затем через каналы между другими пакетами, двигаясь в обратном направлении, уже нагретым поступает в камеру горячего воздуха, откуда направляется к воздухоохладителям. Часть холодного воздуха используется для охлаждения лобовых частей обмоток статора и ротора.

Зоны повышенного и пониженного давления воздуха в генераторе разделены внутренним щитом 7. К внутреннему щиту болтами крепят щит вентилятора 3, который направляет воздух к вентилятору. Применение вентиляторного щита более чем вдвое уменьшает потери напора на вход в вентилятор. При движении воздуха через вентилятор создается статический напор и, кроме того, появляется составляющая давления, определяемая кинетической энергией движущегося воздуха. Эта динамическая составляющая давления является величиной того же порядка, что и статическая составляющая, поэтому ее необходимо использовать для получения общего высокого давления и повышения КПД вентиляционной системы.

С этой целью к внутреннему щиту турбогенератора приваривают диффузор 1. Сечение диффузора постепенно увеличивается с увеличением его радиуса, что приводит к уменьшению скорости воздуха и переходу его кинетической энергии в статический напор.

Торцевые щиты защищают внутренний объем машины от проникновения запыленного воздуха из атмосферы и паров масла, просачивающихся из подшипника и смешивающихся с угольной пылью щеток. Наибольшие зазоры имеют место между щитами и валом ротора, а также между щитами и фундаментной плитой. Предотвращение проникновения воздуха извне осуществляется воздушным уплотнением. Для этого в наружном щите выполнены каналы 6,

которые проходят вдоль всех стыков щитов, между щитом и фундаментом, а также окружают отверстие для выхода вала. Каналы сообщаются с зоной повышенного давления воздуха в верхней части щита и двумя отверстиями в нижней его части. Из-за повышенного давления в каналах воздух может только выходить из генератора, препятствуя проникновению воздуха из атмосферы. Воздушное уплотнение сопровождается утечкой воздуха из системы охлаждения, что приводит к необходимости забора и очистки дополнительного количества воздуха из атмосферы через фильтр 4.

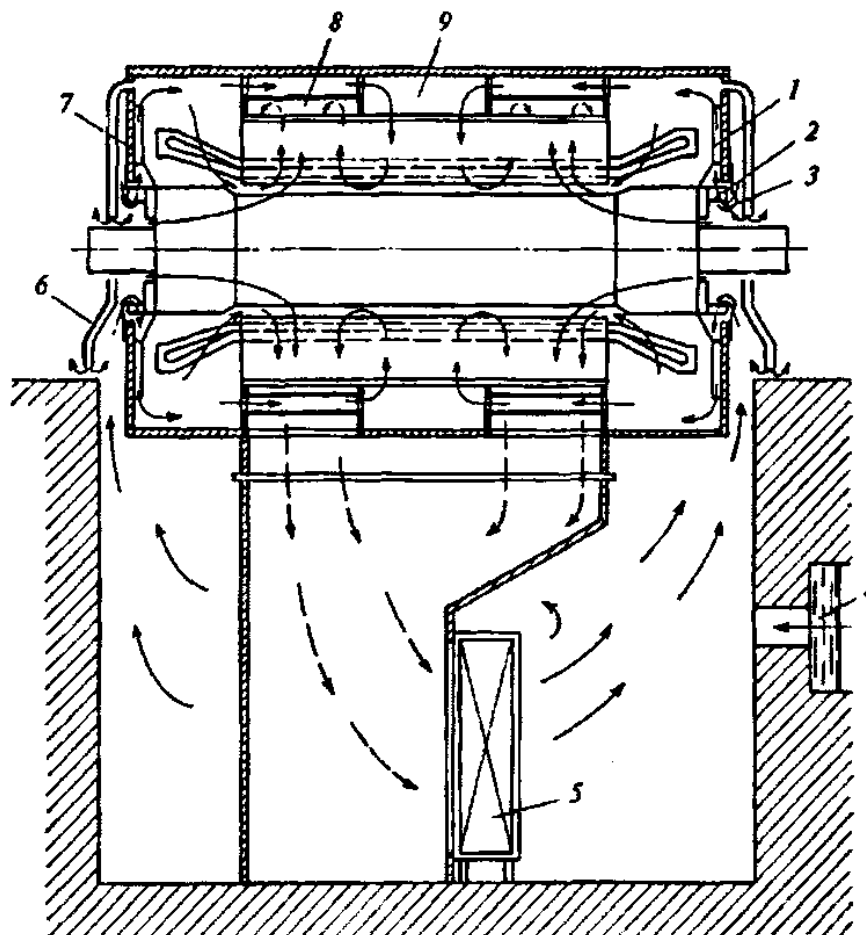


Рис. 2. Схема воздушного охлаждения турбогенератора Т2-12-2.

Все соединения воздуховодов системы вентиляции тщательно уплотняются. Стенки воздуховодов горячего воздуха, соприкасающиеся с охлажденным воздухом, теплоизолируются, так как в противном случае температура холодного воздуха повысится на 3-5 °С.

**Противопожарное устройство.** Для тушения возникшего в генераторе пожара в зоне лобовых частей установлены перфорированные трубы (см. рис. 1), предназначенные для подачи распыленной воды или углекислого газа. После тушения пожара водой вся обмотка должна быть просушена и испытана. Тушение пожара углекислым газом является более совершенным способом, так как этот газ не оказывает вредного воздействия на обмотку. Система пожаротушения состоит из двух групп баллонов. При пожаре автоматически

срабатывают сначала баллоны мгновенного действия, количество газа в которых достаточно для заполнения внутреннего объема генератора и камеры под ним. После этого включают баллоны замедленного действия, которые поддерживают в течение определенного времени необходимую концентрацию углекислого газа, компенсируя утечку.

При изготовлении изоляции обмотки статора из материалов, не поддерживающих горение, систему пожаротушения в генераторе не устанавливают.

## **2. Проведение тепловизионного обследования электрооборудования.**

Тепловизионное обследование электрооборудования ТЭС ОАО "Вххххх" было проведено 4 февраля 2010 г. Все объекты обследования расположены в специальных закрытых помещениях с искусственным освещением, что исключает влияние мешающих внешних факторов окружающей среды на результаты термографирования. До проведения термографирования электроустановки были осмотрены на предмет выявления следов грязи, пыли, масла, ржавчины и наличие др. дефектов на поверхностях для исключения ошибочных результатов при проведении анализа. В результате осмотра данные факторы обнаружены не были, **все электрооборудование содержится в нормальном состоянии.**

ИК-приемная камера при термографировании оборудования располагалась по нормали к обследуемой поверхности. Съемка велась со штатива, в отдельных случаях с руки. При невозможности охвата устройства контролем одним кадром термографирование проводилось в режиме покадровой регистрации термоизображений с наложением кадров друг на друга не менее 20 % размера кадра. При этом расстояние до объекта не изменялось, а угол обзора не превышал 30 градусов от нормали. Размеры помещений позволяли проводить термографирование на расстоянии от 1 до 20 метров от обследуемых устройств.

Для исключения влияния внутреннего освещения на результаты термографирования обследование проводилось при дежурном освещении, либо с разных точек.

При обследовании оборудования секций КРУ собственных нужд существенных отклонений в их работе выявлено не было. Трансформаторы сухого типа №№ 1, 2, 27, 28 и масляные №№ 51, 52, 53, 54 работают в штатном режиме, без особенностей. Температурных аномалий на сердечниках магнитопровода, обмотках, вводах ВН и НН, поверхностях баков не выявлено. В связи с этим термограммы данных устройств в отчет не включены, но содержатся на прилагаемом к отчету компакт-диске.

У турбогенераторов типа Т2 №№ 1, 2, 3 были обследованы кабельные вводы, выводы и ошиновка, поверхности корпуса, возбудитель и щеточный аппарат. Термограммы приведены в отчете.

В процессе основной работы было снято **120** термограмм. Все полученные термограммы были обработаны с помощью программного комплекса в палитре 25 цветов (RGB), позволяющей наиболее наглядно представить распределение температурного поля поверхности объекта.

В правой части термограмм приведена температурная шкала, соответствующая цветовой палитре.

## **3. Анализ состояния оборудования по результатам тепловизионного обследования.**

### **5.1. Турбогенератор ТГ1 типа Т2-6-2.**

Термограммы приведены на рис. 1.

- **Кабельный ввод, вывода и ошиновка.**

Термограммы 1, 3. При пофазном сравнении отклонений не выявлено.

- **Корпус**

Термограммы 2 А, Б, В. Температура на поверхности в пределах нормы. Система охлаждения работает нормально.

- **Возбудитель и щеточный аппарат**

Термограммы 4 А, Б. Температур, превышающих допустимую, не зафиксировано.

### 5.2. Турбогенератор ТГ2 типа Т2-6-2.

Термограммы приведены на рис. 2.

- **Кабельный ввод, вывода и ошиновка.**

Термограммы 1А, Б, 2. При пофазном сравнении отклонений не выявлено. Зафиксирован дефектный контакт на выводе трансформатора тока с температурой 53 °С (термограмма № 2).

- **Корпус**

Термограммы 4 А, Б, В. Температура на поверхности в пределах нормы. Система охлаждения работает нормально.

- **Возбудитель и щеточный аппарат**

Термограммы 3 А, Б. Температур, превышающих допустимую, не зафиксировано.

### 5.3. Турбогенератор ТГ3 типа Т2-12-2.

Термограммы приведены на рис. 3, 4.

- **Кабельный ввод, вывода и ошиновка.**

Термограммы 1, 2А, Б, В, Г (рис. 3). При пофазном сравнении отклонений не выявлено.

- **Корпус**

Термограммы А, Б, В, Г (рис.4). Температура на поверхности в пределах нормы. Система охлаждения работает нормально.

- **Возбудитель и щеточный аппарат**

Термограммы 3А, Б. Температур, превышающих допустимую, не зафиксировано.

### Заключение

В результате выполнения тепловизионного обследования электрооборудования ТЭС ОАО «Вхххх» были получены объективные данные о состоянии и условиях его эксплуатации, выявлены особенности режимов их работы. В ходе обследования с обнаруженными немногочисленными дефектами сразу были ознакомлены ответственные за эксплуатацию лица. В целом оборудование содержится в хорошем рабочем состоянии, проводится регулярный температурный контроль обслуживающим персоналом с помощью пирометра.

В перспективе предприятие может организовать непрерывный мониторинг всего электрохозяйства с помощью системы ИК-диагностики.

эксперт 2 уровня, уд. № 1-10033-2008 от 22.04.08 г.

Р.С. Ахметов

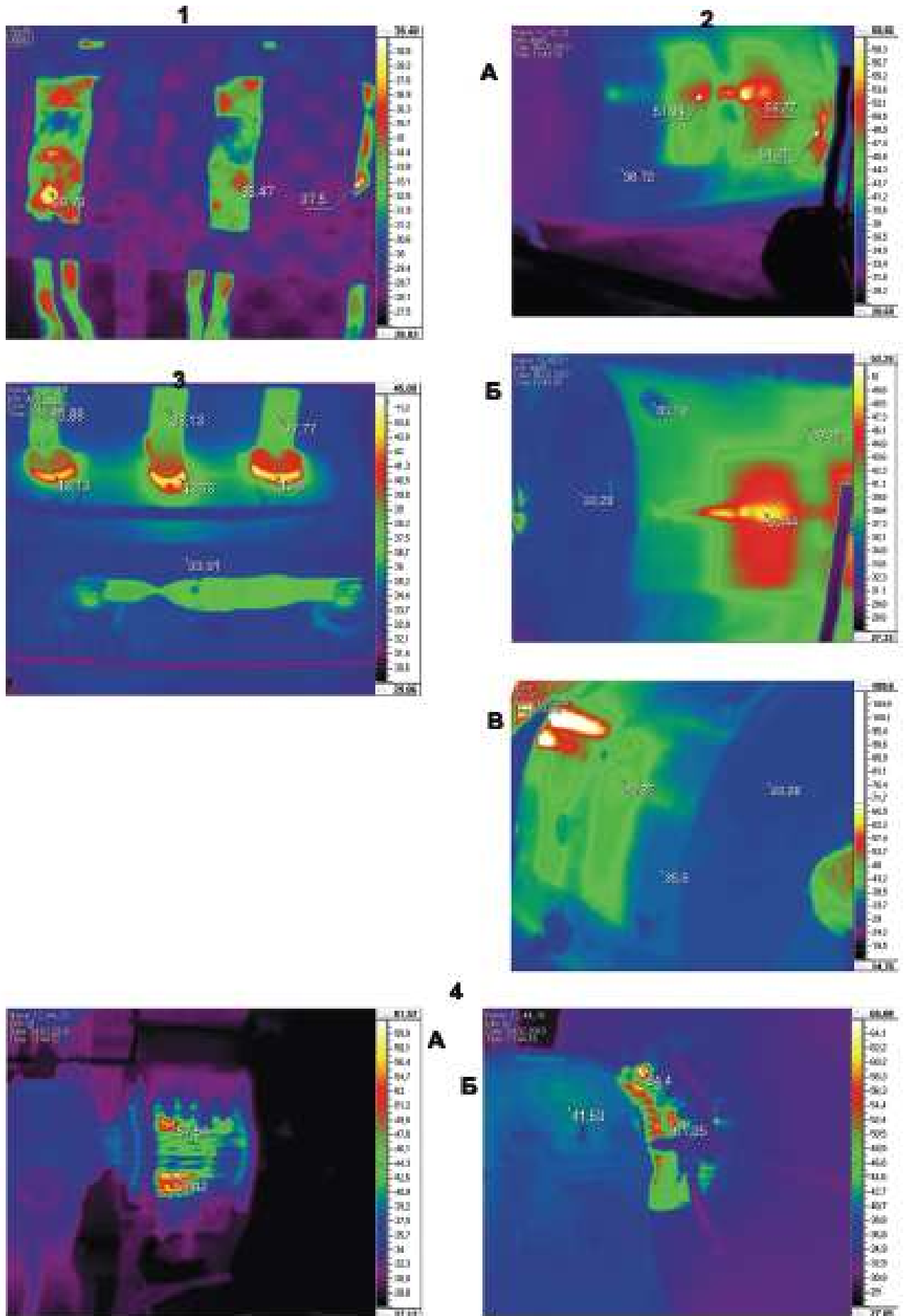


Рис.1. Термограммы фрагментов электрооборудования ТЭС. ТГ1 типа Т2-6-2.



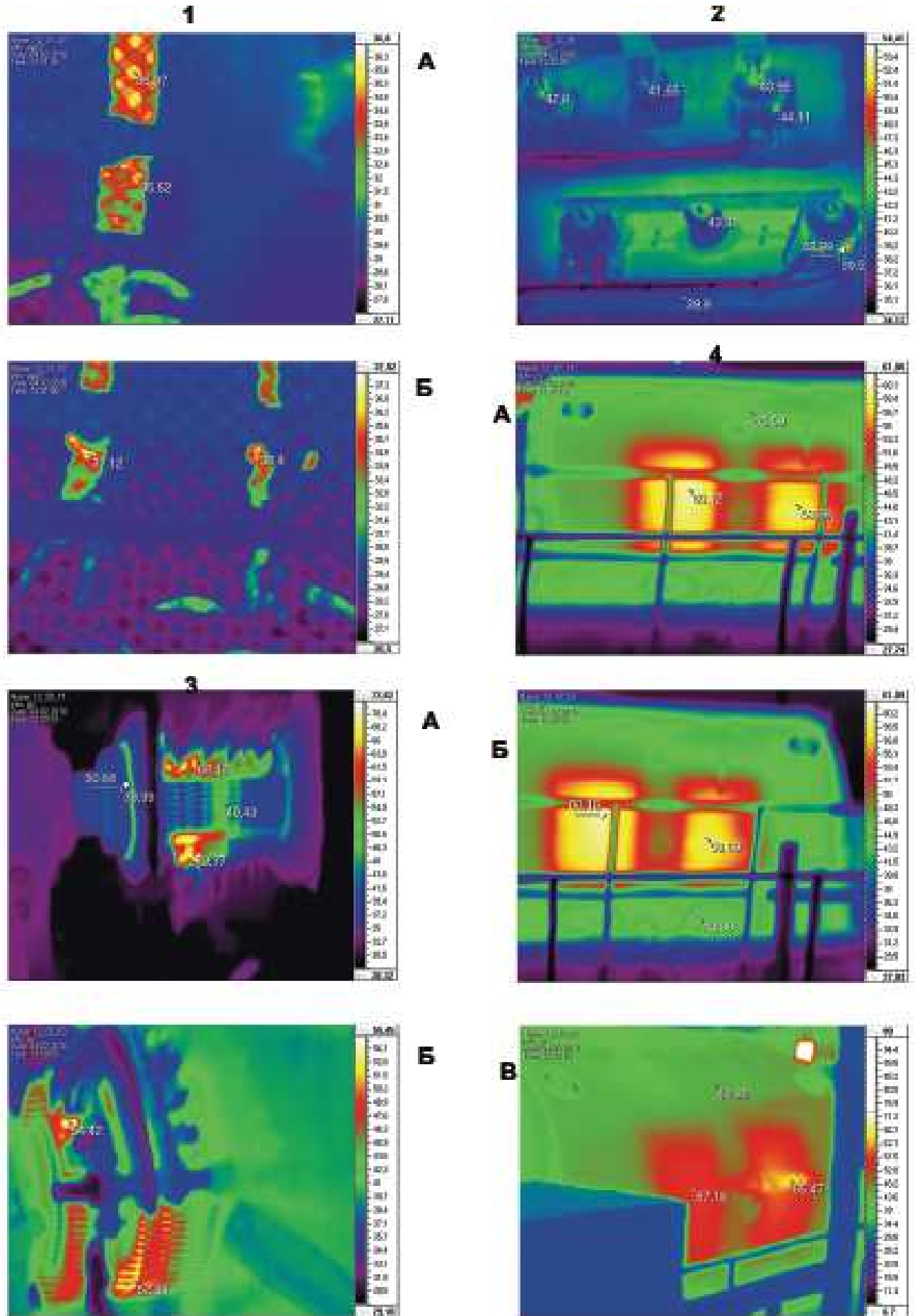


Рис. 2. Термограммы фрагментов электрооборудования ТЭС. ТГ2 типа Т2-6-2.

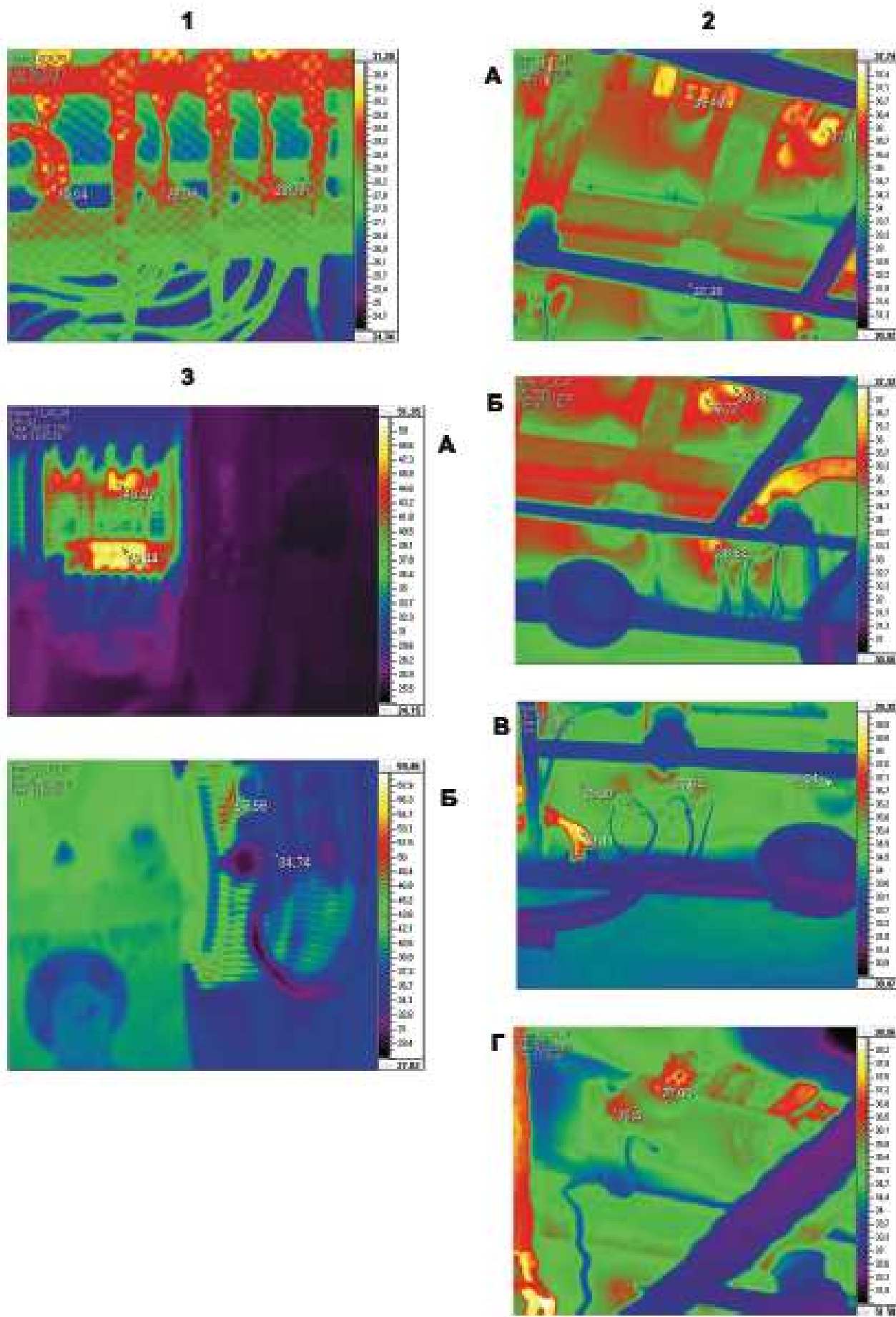


Рис. 3. Термограммы фрагментов электрооборудования ТЭС. ТГЗ типа Т2-12-2.

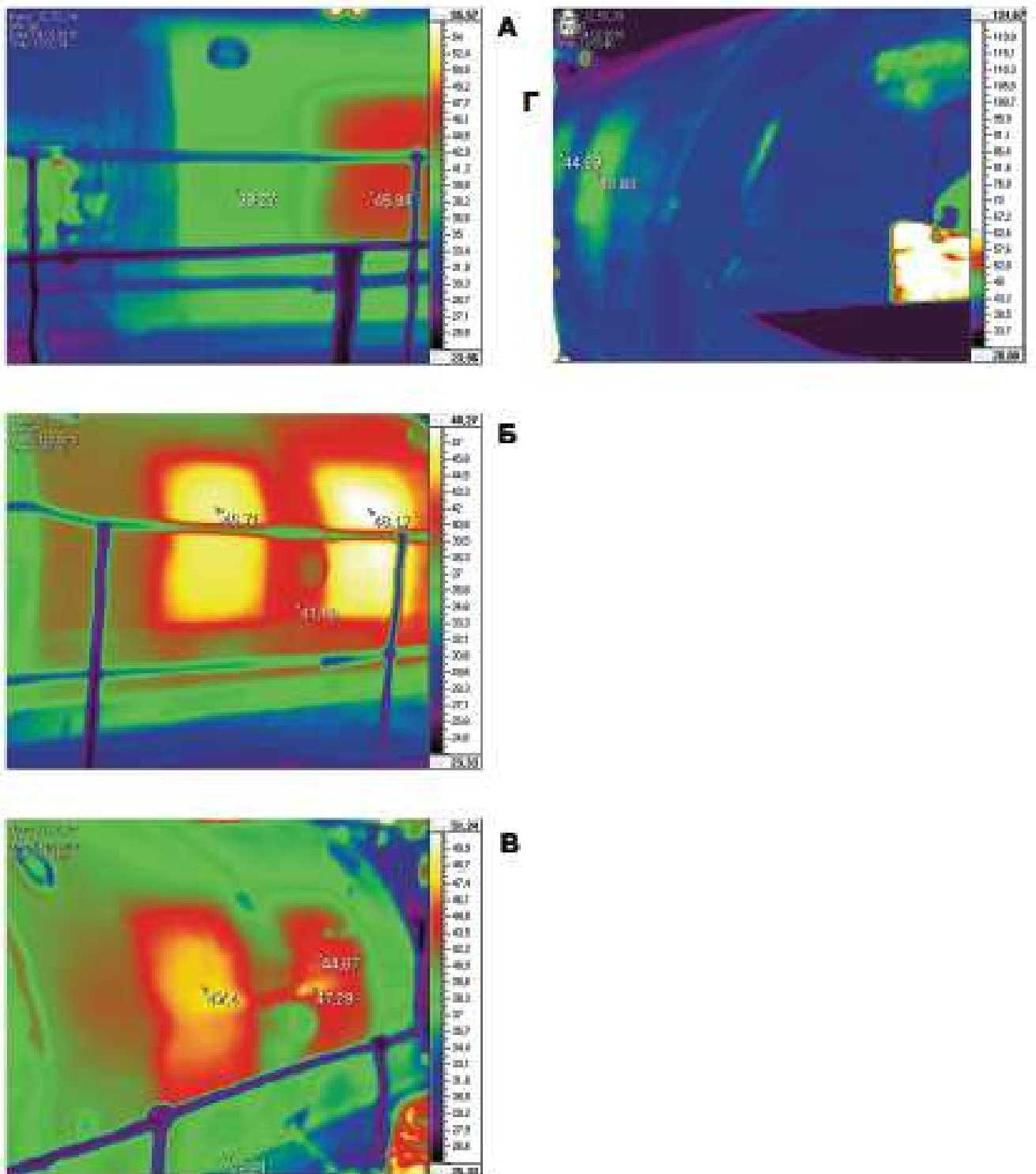


Рис. 4. Термограммы фрагментов в электрооборудовании ТЭС. ТГЗ типа Т2-12-2.

## Список литературы

1. РД34.45-51.300-97. Объём и нормы испытаний электрооборудования. РАО "ЕЭС России".
2. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики ИК-диагностики электрооборудования и высоковольтных линий. РАО "ЕЭС России".
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. - 15-е издание. М.: СПО ОРГРЭС, 1996.
4. Рекомендации по проведению тепловых испытаний силовых масляных трансформаторов (и автотрансформаторов) на месте их установки. М.: Энергия, 1972.
5. Бойченко В. И., Дзекцер Н. Н. Контактные соединения токоведущих шин. М.: Энергия, 1988.
6. Объём и нормы испытаний электрооборудования. М.: ЭНАС, 1998.
7. Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств, М. «Энергопрогресс», «Энергетик», 2000.
8. Алексеенко Г. В., Ашрятов А. К., Фрид Е. С. Испытания высоковольтных и мощных трансформаторов и автотрансформаторов. М.: Госэнергоиздат, 1962.
9. Трансформаторы силовые масляные мощностью от 25 до 2500 кВА на напряжение до 10 кВ. ОВП.460.020. Техническое описание. Инструкция по монтажу и эксплуатации.
10. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М: Стандарты. 1979.
11. ГОСТ 23483-79. Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. М.: Стандарты. 1979.
12. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворённых в масле силовых трансформаторов», М. СПО ОРГРЭС, 1989г.
13. Анализ повреждений силовых трансформаторов за 1989-1991 г.г., М. СПО ОРГРЭС, 1993г.
14. Порудоминский В.В. Трансформаторы с переключением под нагрузкой, М. «Энергия», 1965г.
15. ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний.
16. Анализ причин технологических нарушений в работе электроустановок». Выпуск 1/93, М. СПО «ОРГРЭС», 1994 г.
17. Анализ причин технологических нарушений в работе электроустановок за 1993 г., М. СПО ОРГРЭС, 1995г.
18. Козёлкин В.В, Усольцев И.Ф. Основы инфракрасной техники, М. Машиностроение, 1985г.
19. Стороженко В.А., Вавилов В.П., Волчек А.Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции, Киев, Техника, 1988 г.
20. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества, М. «Высшая школа», 1988 г.
21. Бажанов С.А. О выборе приборов инфракрасной техники, М. Энергетик №7, 1997 г.
22. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. М.: Мир, 1988.