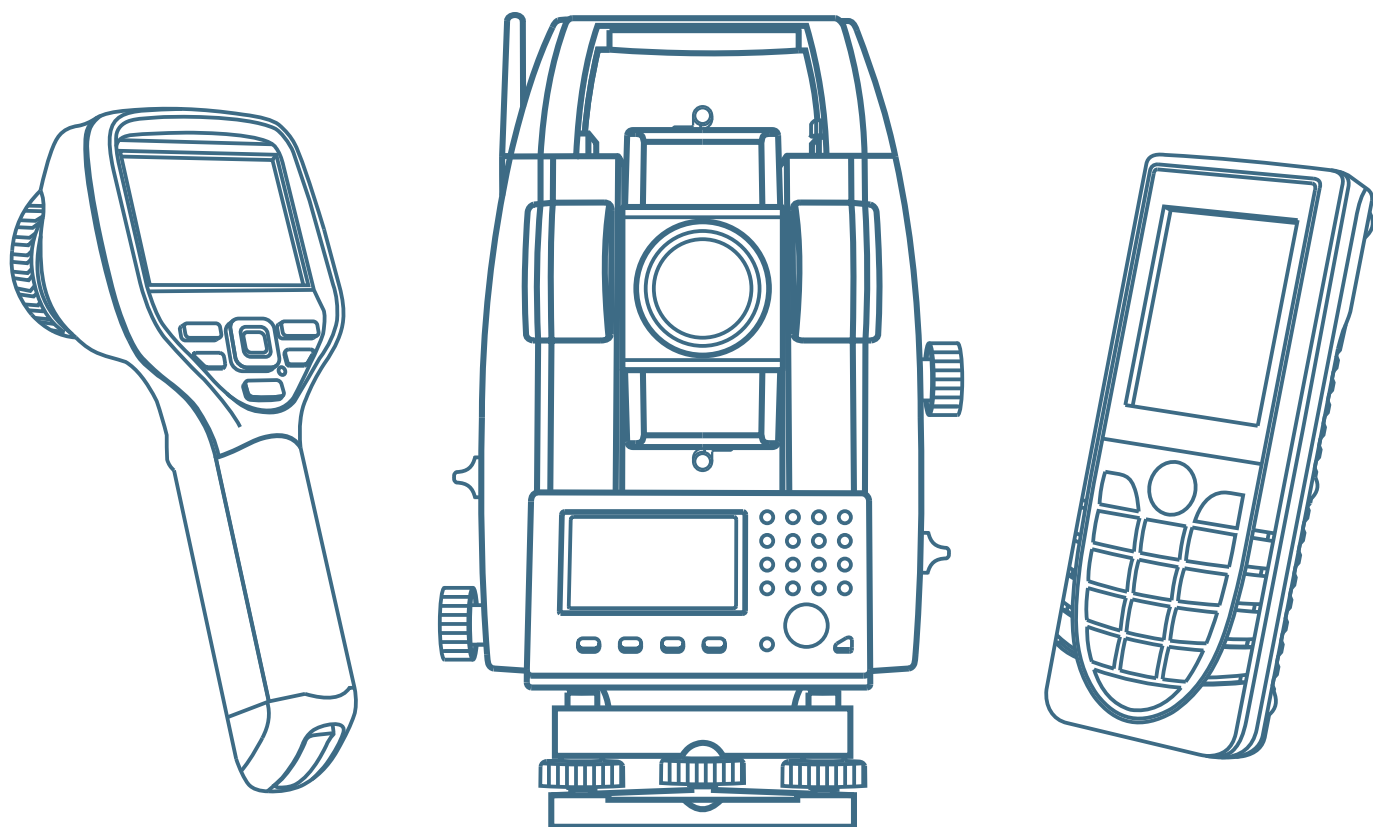


МЫ РАБОТАЕМ БЕЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ

GE**OBRAND**



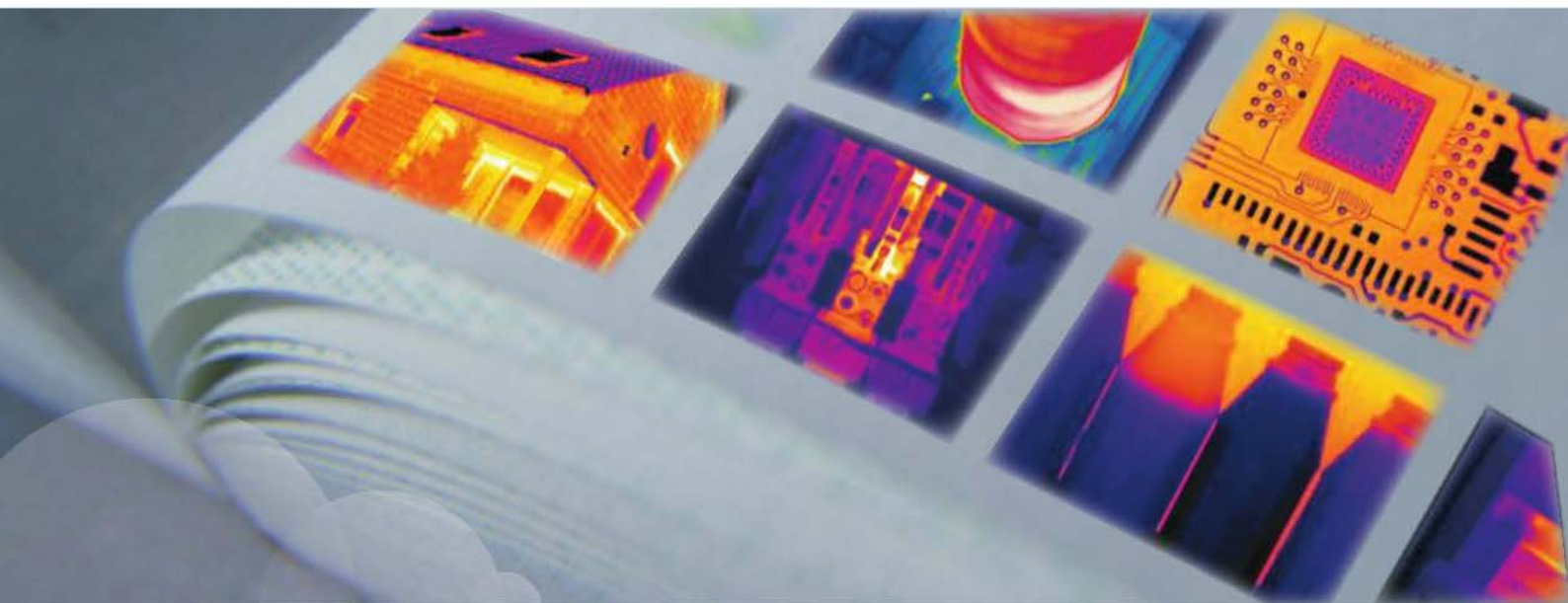
**Геодезическое оборудование
Электроизмерительное оборудование
Трассопоисковое оборудование
Приборы неразрушающего контроля**

(499)707-18-57, (495)649-41-19

**E-mail: shop@geobrand.ru
www.geobrand.ru**



Руководство пользователя



FLIR Exx series

Publ. No.	T559664
Revision	a640
Language	Russian (RU)
Issue date	May 25, 2011

Руководство пользователя



Ограниченная гарантия

На все изделия, изготавливаемые FLIR Systems, действует гарантия в отношении дефектов материалов и изготовления в течение одного (1) года с момента доставки первоначальной покупки при условии, что такие изделия хранились, эксплуатировались и обслуживались в нормальных условиях и в соответствии с инструкциями FLIR Systems.

Изделия, не произведенные FLIR Systems, но включенные в состав систем, поставляемых компанией FLIR Systems первоначальному покупателю, имеют гарантию, если таковая предусматривается, лишь конкретного поставщика. Компания FLIR Systems не несет никакой ответственности за такие изделия.

Настоящая гарантия распространяется лишь на первоначального покупателя и не подлежит передаче. Она не распространяется на любое изделие, которое неправильно эксплуатировалось, подвергалось неправильному обращению, пострадало при происшествии или работало в недопустимом режиме. Данная гарантия не распространяется на расходные материалы и детали разового применения.

В случае возникновения в изделии неисправности, на которую распространяется эта гарантия, изделие не должно дальше эксплуатироваться для предотвращения дополнительного повреждения. Покупатель должен незамедлительно известить компанию FLIR Systems относительно любой неисправности, в противном случае данная гарантия теряет силу.

Компания FLIR Systems по своему усмотрению будет бесплатно ремонтировать или заменять любое такое неисправное изделие, если проверка покажет, что имеет место дефект в материале или некачественное изготовление, и при условии, что изделие возвращается компании FLIR Systems в течение указанного периода в один год.

Компания FLIR Systems не имеет никакого иного обязательства или обязанности, касающихся дефектов, кроме указанного выше.

Никакие другие гарантии не оговариваются и не подразумеваются. Компания FLIR Systems, в частности, не признает подразумеваемую гарантию пригодности для продажи и пригодности для конкретной цели.

Компания FLIR Systems не должна нести ответственности за любые прямые, косвенные, специальные, побочные или последующие убытки, независимо от того, основываются ли они на соглашении, деликтном требовании или на любом ином правовом основании.

Действие настоящей гарантии определяется законодательством Швеции.

Любые споры, разногласия или требования, возникающие из или касающиеся настоящей гарантии, подлежат окончательному разрешению в арбитраже в соответствии с регламентом Арбитражного института Торговой палаты г. Стокгольма. Местом проведения арбитража является г. Стокгольм. Языком арбитражного производства является английский.

Постановления правительства США

- Для экспорта/реэкспорта и передачи описываемых в документации для пользователей изделий может потребоваться разрешение правительства. За дополнительной информацией обращайтесь в компанию FLIR Systems.
- В зависимости от условий вашего лицензионного соглашения и способа экспорта объективы могут быть постоянно зафиксированы на камерах при поставке клиентам за пределы США. Сменные объективы попадают под юрисдикцию министерства иностранных дел США.

Авторское право

© 2011, FLIR Systems. Все права защищены по всему миру. Никакие части программного обеспечения, включая исходную программу, не могут быть воспроизведены, переданы, преобразованы или переведены на любой язык или на язык программирования в любой форме или любым способом – электронным, магнитным, оптическим, ручным или иным путем – без предварительного письменного разрешения со стороны компании FLIR Systems.

Настоящую документацию целиком или по частям запрещается копировать, фотокопировать, воспроизводить, переводить или передавать в любой электронный носитель или преобразовывать в вид, пригодный для машинного считывания, без предварительного письменного разрешения со стороны компании FLIR Systems.

Названия и знаки на изделии являются либо зарегистрированными товарными знаками или торговыми марками компании FLIR Systems и/или ее филиалов. Все прочие торговые марки, торговые названия или названия компаний, на которые здесь имеются ссылки, используются лишь для идентификации и являются собственностью соответствующих владельцев.

Гарантия качества

Данные изделия разработаны и изготовлены в соответствии с требованиями системы управления качеством, аттестованной по стандарту ISO 9001.

Компания FLIR Systems проводит политику постоянного совершенствования; в связи с этим мы оставляем за собой право вносить изменения и усовершенствования в любое из описанных в данной инструкции изделий без предварительного уведомления.

Патенты

Один или несколько из следующих патентов или патентов на промышленный образец относятся к продуктам и/или характеристикам, описанным в настоящем Руководстве:

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1402918; 1404291; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; 7667198; 7809258; 7826736; D540838;

D549758; D579475; D584755; D599,392; DI6702302-9; DI6703574-4; DI6803572-1; DI6803853-4; DI6903617-9; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200480034894.0; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2.

EULA Terms

- You have acquired a device ("INFRARED CAMERA") that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates ("MS"). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE") are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT ("EULA"), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
 - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
 - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
 - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.
 - **No Liability for Certain Damages.** EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.\$250.00).
 - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
 - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
 - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see <http://www.microsoft.com/exporting/>.

Содержание

1	Предупреждения	1
2	Важная информация для пользователей	4
3	Поддержка пользователей	6
4	Обновления документации	7
5	Важное примечание относительно данного руководства	8
6	Списки деталей	9
6.1	Комплект поставки	9
6.2	Список аксессуаров и услуг	10
7	Руководство по немедленному использованию	11
8	Детали камеры	12
8.1	Вид камеры справа	12
8.2	Вид камеры слева	13
8.3	Клавишная панель	14
8.4	Вид снизу	16
8.5	Светодиодный индикатор состояния аккумулятора	17
8.6	Светодиодный индикатор питания	18
8.7	Лазерный целеуказатель	19
9	Элементы дисплея	21
10	Правила пользования системой меню	22
11	Подключение внешних устройств и носителей информации	23
12	Сопряжение устройств Bluetooth	25
13	Настройка WI-FI	26
14	Работа с камерой	28
14.1	Включение камеры	28
14.2	Выключение камеры	28
14.3	Ручная настройка фокуса инфракрасной камеры	29
14.4	Управление лазерным целеуказателем	30
15	Работа с изображениями	31
15.1	Предварительный просмотр изображений	31
15.2	Сохранение изображения	32
15.3	Открытие изображения	33
15.4	Настройка изображения	34
15.5	Изменение палитры	37
15.6	Удаление изображения	38
15.7	Удаление всех изображений	39
15.8	Создание отчета в формате PDF в камере	40
16	Работа с тепловым слианием и в режиме картинки в картинке	41

17	Работа с инструментами измерений	45
17.1	Размещение измерительных инструментов: точки, области и пр.	45
17.2	Размещение измерительного инструмента: изотермы	46
17.3	Перемещение или изменение размера измерительного инструмента	48
17.4	Создание и настройка функции определения различий	49
17.5	Изменение параметров объекта	50
18	Выборка данных из внешних датчиков Extech	52
18.1	Типичная процедура измерения и документирования влажности	54
19	Работа с изотермами	55
19.1	Строительные изотермы	55
20	Добавление аннотаций к изображениям	57
20.1	Получение цифровых фотоснимков	58
20.2	Создание голосовых аннотаций	59
20.3	Создание текстовых аннотаций	60
21	Запись видеоклипов	62
22	Изменение настроек	63
23	Чистка камеры	64
23.1	Корпус камеры, кабели и другие принадлежности	64
23.2	Инфракрасный объектив	65
23.3	Инфракрасный детектор	66
24	Технические данные	67
25	Масштабные чертежи	68
25.1	Размеры камеры, вид спереди (1)	68
25.2	Размеры камеры, вид спереди (2)	69
25.3	Размеры камеры, вид сбоку (1)	70
25.4	Размеры камеры, вид сбоку (2)	71
25.5	Размеры камеры, вид сбоку (3)	72
25.6	Инфракрасный объектив (30 мм/15°)	73
25.7	Инфракрасный объектив (10 мм/45°)	74
25.8	Аккумулятор (1)	75
25.9	Аккумулятор (2)	76
25.10	Аккумулятор (3)	77
25.11	Зарядное устройство (1)	78
25.12	Зарядное устройство (2)	79
25.13	Зарядное устройство (3)	80
25.14	Зарядное устройство (4)	81
26	Примеры использования	82
26.1	Повреждение при действии влажности и воды	82
26.2	Дефектный контакт в розетке	83
26.3	Окисление контактов розетки	84
26.4	Дефекты теплоизоляции	85
26.5	Сквозняк	86
27	Введение в термографию сооружений	87
27.1	Заявление об отказе от ответственности	87

27.1.1	Уведомление об авторских правах	87
27.1.2	Обучение и аттестация	87
27.1.3	Национальные или региональные строительные нормы и правила	87
27.2	Важное примечание	87
27.3	Типовые процедуры полевого термографического обследования	88
27.3.1	Рекомендации	88
27.3.1.1	Общие рекомендации	88
27.3.1.2	Рекомендации по выявлению сырых мест, плесневого грибка и протечек	88
27.3.1.3	Рекомендации по выявлению мест инфильтрации воздуха и дефектов теплоизоляции	89
27.3.2	Выявление сырых мест	90
27.3.3	Выявление сырых мест (1): Кровли промышленных сооружений с малым уклоном	91
27.3.3.1	Общие сведения	91
27.3.3.2	Меры безопасности	92
27.3.3.3	Комментарии к типовым строительным конструкциям	92
27.3.3.4	Комментарии к инфракрасным изображениям	94
27.3.4	Выявление сырых мест (2): Фасады промышленных и жилых зданий	95
27.3.4.1	Общие сведения	95
27.3.4.2	Комментарии к типовым строительным конструкциям	96
27.3.4.3	Комментарии к инфракрасным изображениям	98
27.3.5	Выявление сырых мест (3): Настилы и балконы	98
27.3.5.1	Общие сведения	98
27.3.5.2	Комментарии к типовым строительным конструкциям	99
27.3.5.3	Комментарии к инфракрасным изображениям	101
27.3.6	Выявление сырых мест (4): Разрывы водопроводно-канализационной системы и утечки	101
27.3.6.1	Общие сведения	101
27.3.6.2	Комментарии к инфракрасным изображениям	102
27.3.7	Инфильтрация воздуха	104
27.3.7.1	Общие сведения	104
27.3.7.2	Комментарии к типовым строительным конструкциям	105
27.3.7.3	Комментарии к инфракрасным изображениям	106
27.3.8	Дефекты теплоизоляции	107
27.3.8.1	Общие сведения	107
27.3.8.2	Комментарии к типовым строительным конструкциям	108
27.3.8.3	Комментарии к инфракрасным изображениям	109
27.4	Теоретические основы строительной науки	111
27.4.1	Общие сведения	111
27.4.2	Результаты выполнения испытаний и проверок	112
27.4.3	Источники помех при термографировании	114
27.4.4	Температура поверхности и утечки воздуха	116
27.4.4.1	Перепады давления в здании	116
27.4.5	Условия и время измерений	122
27.4.6	Интерпретация инфракрасных изображений	122
27.4.7	Влажность и точка росы	124
27.4.7.1	Относительная и абсолютная влажность	124
27.4.7.2	Определение точки росы	124
27.4.8	Выдержка из Технической записки 'Анализ тепловых мостиков и нарушений непрерывности теплоизоляции' (пример из Великобритании)	125
27.4.8.1	Авторы	125
27.4.8.2	Вступление	125

27.4.8.3	Для справки	125
27.4.8.4	Количественная оценка тепловых аномалий	127
27.4.8.5	Условия и оборудование	131
27.4.8.6	Съемка и анализ	132
27.4.8.7	Составление отчета	133
28	Введение в термографический контроль электроустановок	135
28.1	Важное примечание	135
28.2	Общие сведения	135
28.2.1	Вступление	135
28.2.2	Общие характеристики оборудования	136
28.2.3	Проверка	137
28.2.4	Классификация дефектов и составление отчета	138
28.2.5	Приоритетность дефектов	139
28.2.6	Ремонт	139
28.2.7	Контроль	140
28.3	Методика измерений при термографическом исследовании электроустановок	142
28.3.1	Настройка оборудования	142
28.3.2	Измерения температуры	142
28.3.3	Сравнительные измерения	144
28.3.4	Нормальная рабочая температура	145
28.3.5	Классификация дефектов	147
28.4	Составление отчета	149
28.5	Обзор различных типов горячих точек в электроустановках	151
28.5.1	Отражения	151
28.5.2	Нагрев солнечными лучами	151
28.5.3	Индукционный нагрев	152
28.5.4	Неравномерность нагрузки	152
28.5.5	Неравномерность условий охлаждения	153
28.5.6	Неравномерность сопротивления	154
28.5.7	Перегрев одного компонента в результате дефекта в другом компоненте	155
28.6	Факторы возмущения в процессе термографической проверки электроустановок	156
28.6.1	Ветер	156
28.6.2	Дождь и снег	157
28.6.3	Расстояние до объекта	157
28.6.4	Размер объекта	158
28.7	Практические рекомендации для операторов ИК-камер	161
28.7.1	С холода в тепло	161
28.7.2	Проливной дождь	161
28.7.3	Коэффициент излучения	161
28.7.4	Видимая отраженная температура	162
28.7.5	Большое расстояние до объекта	162
29	О компании FLIR Systems	163
29.1	Не только камеры	165
29.2	Мы делимся своими знаниями	165
29.3	Техническая поддержка пользователей продукции	165
29.4	Несколько фотографий с наших заводов	166
30	Глоссарий	168
31	Техника термографических измерений	173
31.1	Вступление	173
31.2	Коэффициент излучения	173

31.2.1	Определение значения коэффициента излучения образца	174
31.2.1.1	Шаг 1: определение видимой отраженной температуры	174
31.2.1.2	Шаг 2: определение коэффициента излучения	176
31.3	Видимая отраженная температура	177
31.4	Расстояние	177
31.5	Относительная влажность	178
31.6	Другие параметры	178
32	История инфракрасной технологии	179
33	Теория термографии	184
33.1	Вступление	184
33.2	Спектр электромагнитного излучения	184
33.3	Излучение черного тела	185
33.3.1	Закон Планка	186
33.3.2	Закон смещения Вина	188
33.3.3	Закон Стефана-Больцмана	189
33.3.4	Излучатели, не являющиеся черными телами	190
33.4	Полупрозрачные для инфракрасных лучей материалы	193
34	Формула для обработки результатов измерений	194
35	Таблицы коэффициентов излучения	201
35.1	Список литературы	201
35.2	Важное примечание по таблицам коэффициентов излучения	202
35.3	Таблицы	202

1 Предупреждения

ОСТОРОЖНО

- Данное оборудование генерирует, использует и может излучать энергию в радиодиапазоне и при его установке и применении с нарушениями инструкций, изложенных в руководстве по эксплуатации, может стать источником помех для средств радиосвязи. Согласно результатам испытаний, оборудование соответствует требованиям, предъявляемым к вычислительной технике класса А, изложенным в подразделе J части 15 Правил FCC, которые предусматривают достаточную защиту от указанных помех при применении оборудования в промышленной среде. При использовании данного оборудования в жилой зоне возникновение радиопомех весьма вероятно, и в этом случае пользователь обязан обеспечить за свой счет все необходимые меры защиты от радиопомех.
- (Относится только к камерам с лазерным целеуказателем) Не смотрите прямо в направлении лазерного луча. Луч лазера может привести к раздражению органов зрения.
- Относится только к камерам с аккумулятором:
 - Запрещается разбирать аккумулятор или вносить изменения в его конструкцию. Аккумулятор снабжен устройствами защиты и обеспечения безопасности, при повреждении которых возможен перегрев аккумулятора, что может стать причиной возгорания или взрыва.
 - Если жидкость, вытекшая из аккумулятора, попала в глаза, ни в коем случае не следует тереть глаза. Хорошо промойте их водой и немедленно обратитесь за медицинской помощью. В противном случае аккумуляторная жидкость может стать причиной серьезных травм органов зрения.
 - Не рекомендуется продолжать зарядку аккумулятора, если он полностью не заряжается в течение времени зарядки, указанного в технической документации. Продолжение процесса зарядки может привести к перегреву аккумулятора, что может стать причиной возгорания или взрыва.
 - Используйте только рекомендуемые аппаратные средства для разрядки аккумулятора. Использование других, отличных от рекомендуемых, средств снижает эксплуатационные качества и сокращает срок службы аккумулятора. Если вы не используете предписанную аппаратуру, возможно протекание не соответствующего спецификации тока в цепи аккумулятора. Это может привести к перегреву аккумулятора, что может стать причиной взрыва и травм людей.
- Перед использованием каких-либо жидкостей вы должны внимательно прочесть указания по технике безопасности и предупреждающие надписи на упаковке. Некоторые жидкости опасны для здоровья.

ВНИМАНИЕ

- Не направляйте инфракрасную камеру (с установленной крышкой объектива или без нее) на мощные источники энергии, например на устройства, испускающие лазерное излучение, или на солнце. Это может привести к нежелательным изменениям точностных характеристик камеры. Возможно также повреждение детектора камеры.
- Не используйте камеру при температурах выше +50°C, если не указано иначе в документации для пользователей. Высокие температуры могут повредить камеру.

1 – Предупреждения

- (Относится только к камерам с лазерным целеуказателем) Если вы не пользуетесь лазерным целеуказателем, закройте его защитной крышкой.
- Относится только к камерам с аккумулятором:
 - Не крепите аккумуляторы непосредственно к автомобильному прикуривателю без специального адаптера для подключения аккумуляторов к прикуривателю компании FLIR Systems.
 - Не соединяйте положительный и отрицательный полюса аккумулятора между собой посредством каких-либо металлических предметов (например, отрезком провода).
 - Не допускайте попадания на аккумулятор пресной или соленой воды и не подвергайте его воздействию влаги.
 - Не протыкайте аккумулятор какими-либо предметами. Не стучите по аккумулятору молотком. Не наступайте на аккумулятор и не подвергайте его сильным ударам и тряске.
 - Не помещайте аккумуляторы в огонь или рядом с ним, а также не подвергайте их воздействию прямых солнечных лучей. При повышении температуры аккумулятора срабатывает встроенное устройство защиты, которое может прекратить процесс его зарядки. Перегрев аккумулятора может привести к выходу из строя встроенного устройства защиты, что чревато дальнейшим повышением температуры, повреждением или возгоранием аккумулятора.
 - Не добивайтесь повышения температуры аккумулятора с помощью огня или других источников тепла.
 - Не помещайте аккумулятор в огонь, на плиту и другие высокотемпературные поверхности или рядом с ними.
 - Не припаивайте ничего непосредственно к аккумулятору.
 - Не используйте аккумулятор при наличии таких признаков, как необычный запах, высокая температура, деформации, изменение цвета и др., во время эксплуатации, зарядки или хранения аккумулятора. Свяжитесь с поставщиком при появлении одного или нескольких из указанных признаков.
 - Для зарядки аккумулятора пользуйтесь только рекомендуемым зарядным устройством.
 - Диапазон допустимых температур для зарядки аккумулятора: от $\pm 0^{\circ}\text{C}$ до $+45^{\circ}\text{C}$, если не указано иначе в документации для пользователей. Проведение зарядки аккумулятора при температурах, выходящих за пределы этого диапазона, может вызвать перегрев или разрушение аккумулятора. Это может привести также к снижению эксплуатационных качеств и сокращению срока службы аккумулятора.
 - Диапазон допустимых температур для разрядки аккумулятора: от -15°C до $+50^{\circ}\text{C}$, если не указано иначе в документации для пользователей. Использование аккумулятора при температурах, выходящих за пределы этого диапазона, может привести к снижению эксплуатационных качеств и сокращению срока службы аккумулятора.
 - Когда аккумулятор выработал свой ресурс, изолируйте его контакты клейкой лентой или подобными материалами перед утилизацией.
 - Прежде, чем устанавливать аккумулятор, удалите с него следы воды и влаги.
- Не используйте растворители и подобные им жидкости для чистки камеры, кабелей или других принадлежностей. Это может привести к повреждениям.

- При чистке инфракрасного объектива соблюдайте особую осторожность. Этот объектив имеет тонкое просветляющее покрытие.
 - Не прилагайте чрезмерных усилий при чистке инфракрасного объектива. Вы можете повредить просветляющее покрытие.
 - При использовании в печах и других высокотемпературных применениях требуется установить на камеру теплозащиту. Использование при высокой температуре без теплозащиты может привести к повреждению камеры.
 - (Относится только к камерам с автоматическим затвором, который можно отключить.) Не допускается отключение автоматического затвора на продолжительный период времени (как правило не более 30 минут). Отключение камеры на более длительный период времени может нарушить работу детектора или необратимо повредить его.
 - Характеристики герметизации действительны только если все отверстия камеры герметично закрыты соответствующими крышками, заслонками и колпачками. Это относится, помимо прочего, к отсекам для хранения данных, аккумуляторам и коннекторам.
-

2 Важная информация для пользователей

Соглашения по полиграфическому оформлению

В настоящем Руководстве использованы следующие соглашения по полиграфическому оформлению

- Полужирный шрифт используется для наименований меню, команд меню, а также для наименований значков и кнопок выбора в диалоговых окнах.
- Курсив используется в тексте для выделения важной информации.
- Моноспасе используется для примеров кода.
- ВЕРХНИЙ РЕГИСТР используется для указания наименований клавиш и кнопок камеры.

Форумы пользователей

На наших форумах пользователей специалисты по термографии могут обмениваться идеями, обсуждать проблемы и их решения с коллегами со всего мира. Чтобы принять участие в работе форумов, посетите сайт:

<http://www.infraredtraining.com/community/boards/>

Калибровка

(Это замечание относится только к камерам со встроенными функциями измерения.)

Настоятельно рекомендуется не реже одного раза в год отправлять камеру на калибровку. Для получения сведений о пунктах технического обслуживания камеры обратитесь в местное торговое представительство.

Точность

(Это замечание относится только к камерам со встроенными функциями измерения.)

Чтобы обеспечить наилучшие результаты по точности, рекомендуется производить измерения температуры не ранее 5 минут после включения камеры.

Для камер с охлаждением детектора механическим охладителем в этот промежуток времени не входит время охлаждения детектора.

2 – Важная информация для пользователей

**Утилизация
электронного
оборудования**

Как и большинство электронных устройств, эта аппаратура должна быть утилизирована без нанесения вреда окружающей среде и в соответствии с существующими правилами по утилизации электронного оборудования.

Для получения дополнительной информации обращайтесь к своему представителю компании FLIR Systems.

**Подготовка
специалистов**

Информацию о курсах обучения специалистов по инфракрасной технологии см. на сайте:

- <http://www.infraredtraining.com>
- <http://www.irtraining.com>
- <http://www.irtraining.eu>

3 Поддержка пользователей

Общее

Для получения поддержки посетите сайт:

<http://support.flir.com>

Задать вопрос

Чтобы задавать вопросы специалистам отдела поддержки пользователей, необходимо быть зарегистрированным пользователем. Регистрация через Интернет занимает всего несколько минут. Для самостоятельного поиска нужной информации в разделе вопросов и ответов регистрация не требуется.

При обращении с вопросом в отдел технической поддержки необходимо быть готовым представить следующую информацию:

- Модель камеры
- Заводской номер камеры
- Протокол или способ связи между камерой и компьютером (например, HDMI, Ethernet, USB™, или FireWire™)
- Операционная система, установленная на ПК
- Версию Microsoft® Office
- Полное наименование, номер публикации и редакцию Руководства пользователя

Загрузки

На сайте помощи клиентам можно загрузить следующее:

- Обновления встроенной программы для Вашей инфракрасной камеры
- Обновления программ для ПО Вашего ПК
- Документация для пользователей
- Истории заявок
- Технические публикации

4 Обновления документации

Общее

Наши руководства обновляются несколько раз в год. Мы также выпускаем на регулярной основе важные уведомления об изменениях в продукции.

Последние руководства и обновления приведены на вкладке Download по адресу:

<http://support.flir.com>

Регистрация через Интернет занимает всего несколько минут. В области загрузки вы также найдете последние выпуски руководств для других видов продукции, а также руководства по нашим историческим и более не выпускаемым видам продукции.

5 Важное примечание относительно данного руководства

Общее

Компания FLIR Systems выпускает общие руководства, посвященные нескольким отдельным моделям камер, входящим в модельный ряд.

Это значит, что данное руководство может содержать описания и пояснения, которые не относятся к конкретной модели камеры.

ПРИМЕЧАНИЕ

Компания FLIR Systems оставляет за собой право в любое время прекращать выпуск моделей, деталей, ПО, дополнительного оборудования и принадлежностей или изменять характеристики без предварительного уведомления.

6 Списки деталей

6.1 Комплект поставки

Содержание

- Инфракрасная камера с объективами
- Жесткий транспортировочный футляр
- Аккумулятор (2*)
- Гарнитура Bluetooth*
- Сертификат калибровки
- Компакт-диск с программными инструментами FLIR для ПК
- Ручной ремень
- Крышка объектива
- Карта памяти
- Блок питания с несколькими вилками
- Печатное Руководство по началу работы
- Печатное руководство с важной информацией
- USB-кабель
- Компакт-диск с документацией для пользователей
- Видеокабель
- Карта расширения гарантии или регистрационная карта

* В зависимости от модели камеры/заказанной конфигурации.

ПРИМЕЧАНИЕ

Компания FLIR Systems оставляет за собой право в любое время прекращать выпуск моделей, деталей, дополнительного оборудования и принадлежностей или изменять характеристики без предварительного уведомления.

6.2 Список аксессуаров и услуг

Общее

В данном разделе приведен список аксессуаров и услуг, которые можно приобрести для камеры.

Аксессуары и услуги

- 1196497 Набор адаптеров для прикуривателя 12 В, 1,2 м
- 1196960 ИК-объектив $f = 10$ мм, 45° с футляром
- 1196961 ИК-объектив $f = 30$ мм, 15° с футляром
- 1910423 Кабель USB, станд. А – Mini-B
- 1910582 Видеокабель
- ITC-ADV-3011 Курс ITC Advanced Building — посещение для одного человека
- ITC-ADV-3019 Курс ITC Advanced Building — посещение для группы из 10 человек
- ITC-ADV-3021 Курс ITC Advanced General Thermography — посещение для одного человека
- ITC-ADV-3029 Курс ITC Advanced General Thermography — посещение для группы из 10 человек
- ITC-CER-5101 Курс ITC Advanced General Thermography (1 уровень) — посещение для одного человека
- ITC-CER-5109 Курс ITC Advanced General Thermography (1 уровень) — посещение для группы из 10 человек
- ITC-CER-5201 Курс ITC Advanced General Thermography (2 уровень) — посещение для одного человека
- ITC-CER-5209 Курс ITC Advanced General Thermography (2 уровень) — посещение для группы из 10 человек
- T197453 FLIR ResearchIR 1.2
- T197453L10 FLIR ResearchIR 1.2, 10 пользовательских лицензий
- T197453L5 FLIR ResearchIR 1.2, 5 пользовательских лицензий
- T197454 FLIR QuickPlot 1.2
- T197454L10 FLIR QuickPlot 1.2, 10 пользовательских лицензий
- T197454L5 FLIR QuickPlot 1.2, 5 пользовательских лицензий
- T197717 Профессиональный FLIR Reporter 8.5 SP2
- T197717L10 Профессиональный FLIR Reporter 8.5 SP2, 10 пользовательских лицензий
- T197717L5 Профессиональный FLIR Reporter 8.5 SP2, 5 пользовательских лицензий
- T197771 Гарнитура Bluetooth
- T197778 FLIR BuildIR 2.1
- T197778L10 FLIR BuildIR 2.1, 10 пользовательских лицензий
- T197778L5 FLIR BuildIR 2.1, 5 пользовательских лицензий
- T910737 Карта памяти микро-SD с адаптерами
- T910972 EX845: Токовые клещи + ИК-терм-ТРМС 1000А пер./пост.ток
- T910973 MO297: Влагометр, бесштифтовый с памятью MO297

ПРИМЕЧАНИЕ

Компания FLIR Systems оставляет за собой право в любое время прекращать выпуск моделей, деталей, дополнительного оборудования и принадлежностей или изменять характеристики без предварительного уведомления.

7

Руководство по немедленному использованию

Процедура

Выполните следующие действия, если вам требуется немедленно начать работу с камерой.

1	Вставьте аккумулятор в аккумуляторный отсек.
2	Перед первым включением камеры заряжайте аккумулятор в течение 4 часов или до тех пор, пока не начнет непрерывно светиться зеленый светодиод-индикатор состояния аккумулятора.
3	Вставьте карту памяти в слот для карты.
4	Включите камеру, нажав кнопку  .
5	Направьте камеру на изучаемый объект.
6	Сфокусируйте камеру, поворачивая кольцо фокусировки.
7	Чтобы немедленно сохранить изображение, вытащите и удерживайте пусковую кнопку более одной секунды.
8	Чтобы перенести изображение на компьютер, выполните одно из следующих действий. ■ Выньте из камеры карту памяти и вставьте ее в считывающее устройство, подключенное к компьютеру. ■ Подключите камеру к компьютеру посредством кабеля USB mini-B.
9	Перенесите изображение с карты памяти или из камеры, перетаскив его при помощи мыши.

ПРИМЕЧАНИЕ

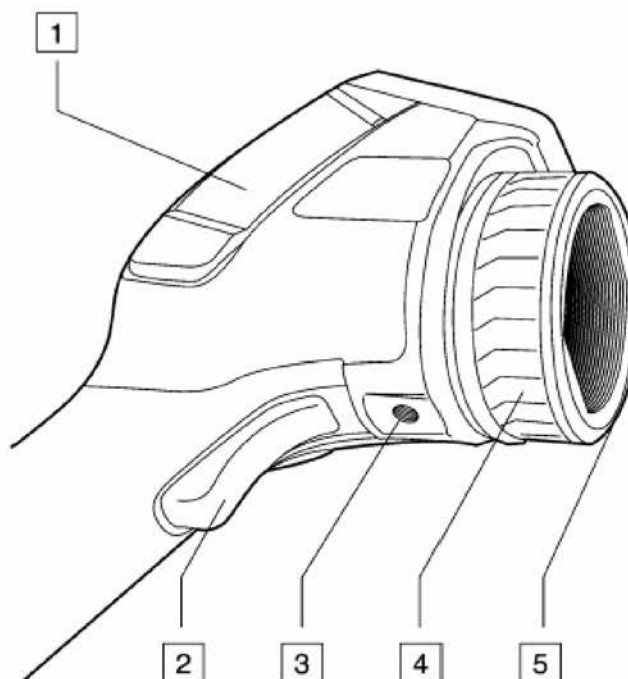
Можно также переместить изображения на компьютер с помощью программы FLIR Tools, которая поставляется вместе с камерой.

8 Детали камеры

8.1 Вид камеры справа

Рисунок

T638796-ж1



Объяснение

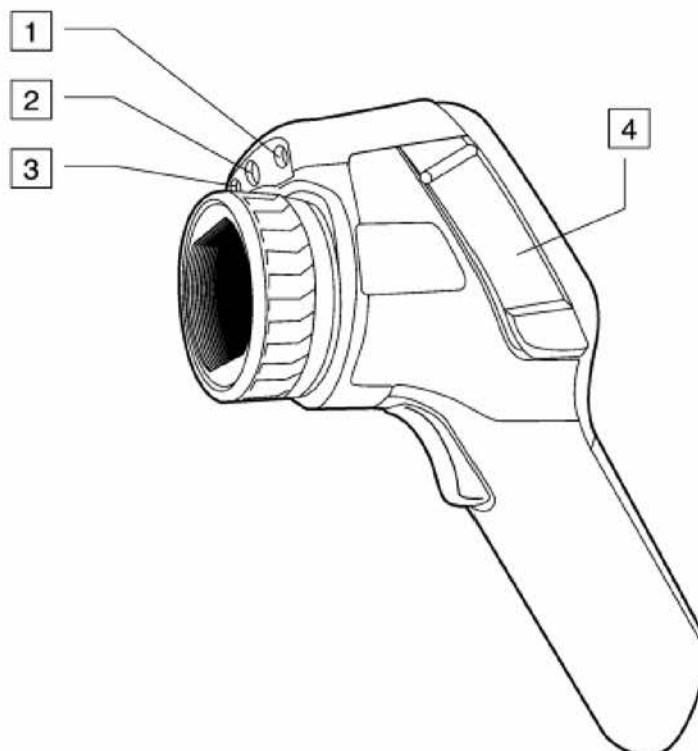
Таблица содержит пояснения к рисунку:

1	Крышка отсека разъемов для правой руки: ■ USB-A ■ USB mini-B ■ Питание
2	Пусковая кнопка для предпросмотра/сохранения изображений
3	Крепление для штатива. Требуется адаптер (дополнительный аксессуар).
4	Кольцо фокусировки
5	Инфракрасный объектив

8.2 Вид камеры слева

Рисунок

T638790-1



Объяснение

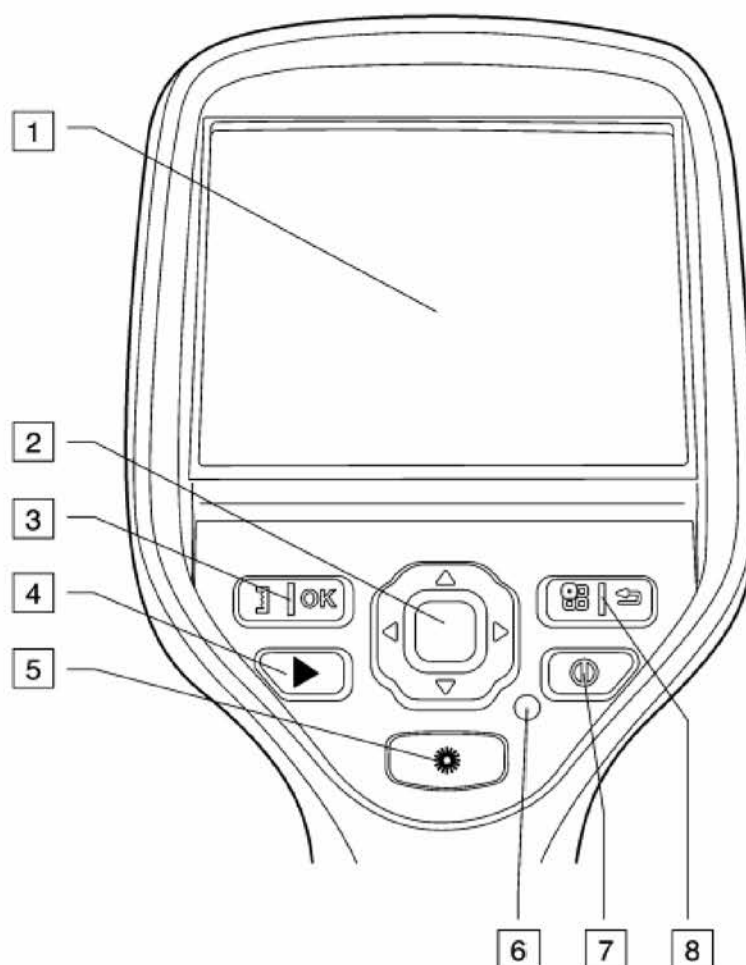
Таблица содержит пояснения к рисунку:

1	Лазерный целеуказатель
2	Лампа для цифровой камеры
3	Цифровая фотокамера
4	Крышка для разъемов и носителя информации: ■ Карта памяти ■ Видеовыход

8.3 Клавишная панель

Рисунок

T638767-2



Объяснение

Пояснения к рисунку:

1	Сенсорный ЖК-дисплей
2	Навигационная панель
3	■ Кнопка подтверждения выбора ■ Кнопка переключения между автоматическим и ручным режимом настройки
4	Архив изображений
5	Кнопка использования лазерного целеуказателя
6	Индикатор питания
7	Кнопка On/Off (Вкл./Выкл.)

8 – Детали камеры

8	■ Кнопка отображения системы меню ■ Кнопка возврата
----------	---

8 – Детали камеры**8.4 Вид снизу****Рисунок**

T638785-03

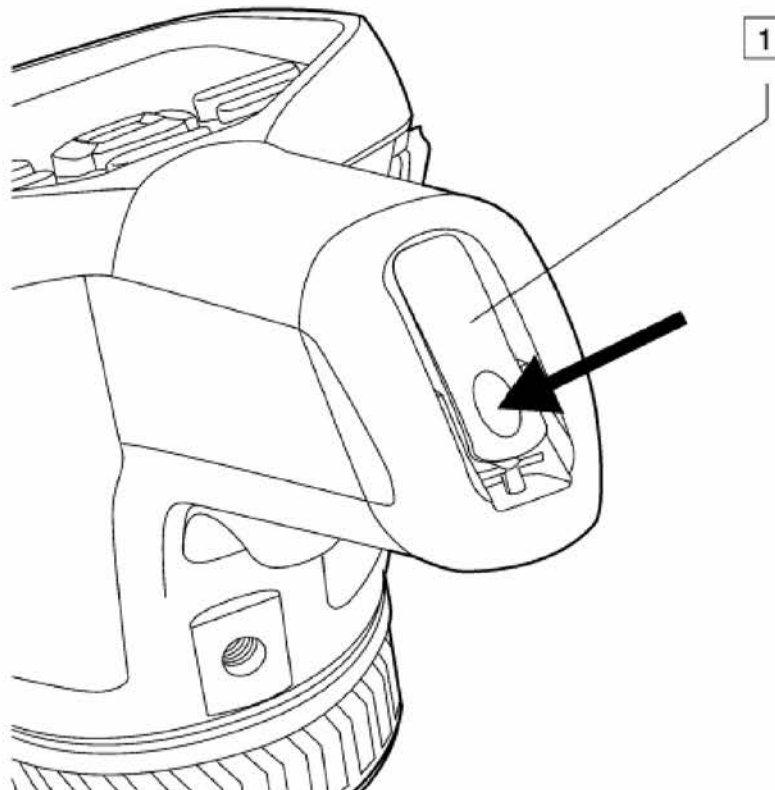
**Объяснение**

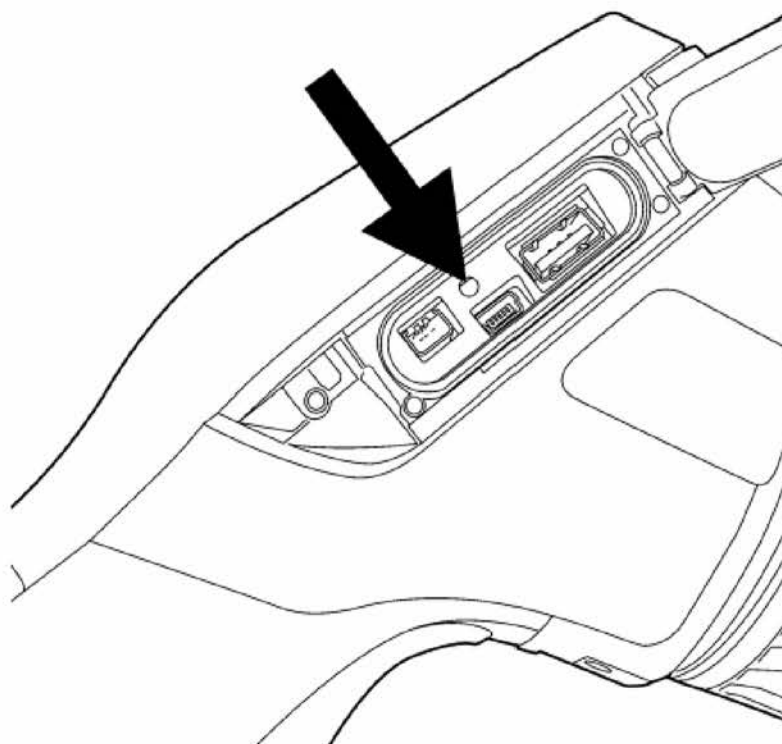
Таблица содержит пояснения к рисунку:

1	Поверните фиксатор, чтобы открыть крышку аккумуляторного отсека. Нажмите, чтобы открыть
---	---

8.5 Светодиодный индикатор состояния аккумулятора

Рисунок

T638791a1



Объяснение

В этой таблице описана работа светодиодного индикатора состояния аккумулятора.

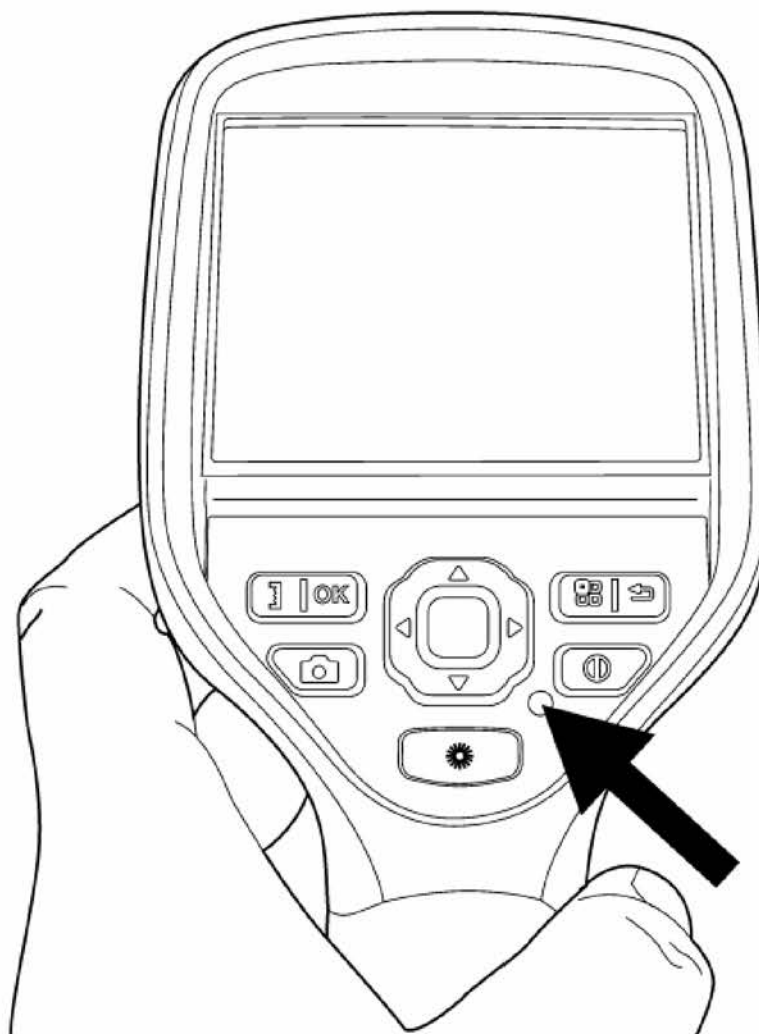
Вид сигнала	Пояснение
Зеленый светодиод мигает с частотой два раза в секунду.	Выполняется зарядка аккумулятора.
Зеленый светодиод горит непрерывно.	Аккумулятор заряжен полностью.

8 – Детали камеры

8.6 Светодиодный индикатор питания

Рисунок

T6387B1.a1



Объяснение

В этой таблице описана работа светодиодного индикатора питания.

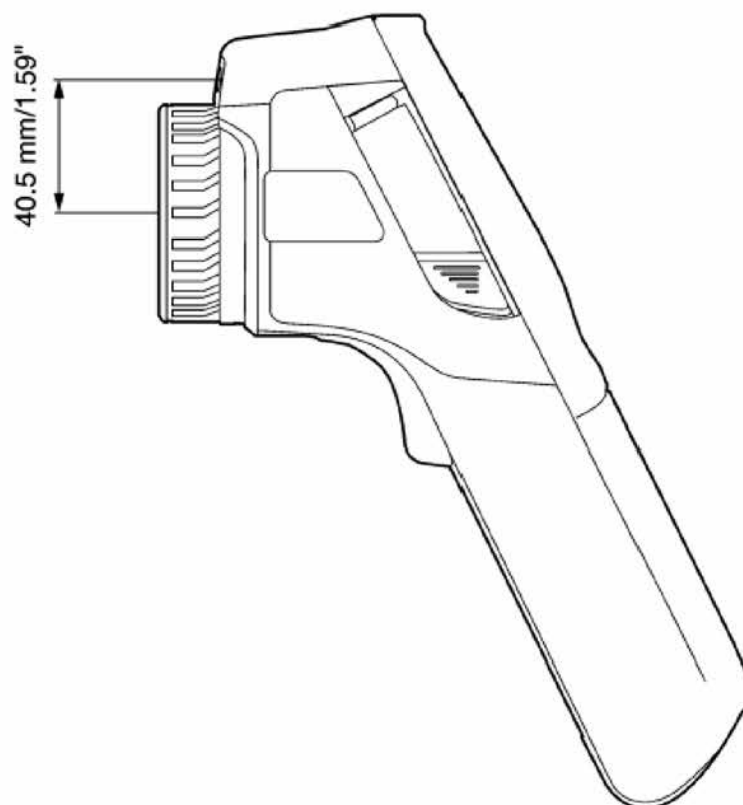
Вид сигнала	Пояснение
Светодиод не горит.	Камера выключена.
Светодиод горит синим цветом.	Камера включена.

8.7 Лазерный целеуказатель

Общее Камера снабжена лазерным целеуказателем. Если лазерный целеуказатель включен, то над целью можно увидеть лазерную точку.

Рисунок На рисунке показано взаимное расположение лазерного целеуказателя и оптического центра инфракрасного объектива.

T638771:af



ОСТОРОЖНО Не смотрите прямо в направлении лазерного луча. Лазерное излучение может привести к раздражению органов зрения.

ПРИМЕЧАНИЕ

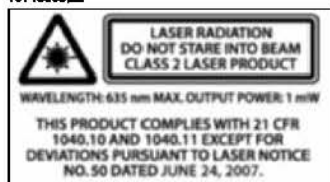
- Когда лазерный целеуказатель включен, на дисплее появляется символ .
- В некоторые страны камера может поставляться с заблокированным лазерным целеуказателем.

8 – Детали камеры

**Предупреждающий
знак лазерного
излучения**

Предупреждающий знак о наличии лазерного излучения на корпусе камеры содержит следующую информацию:

10743803-22

**Правила
использования
источников
лазерного
излучения.**

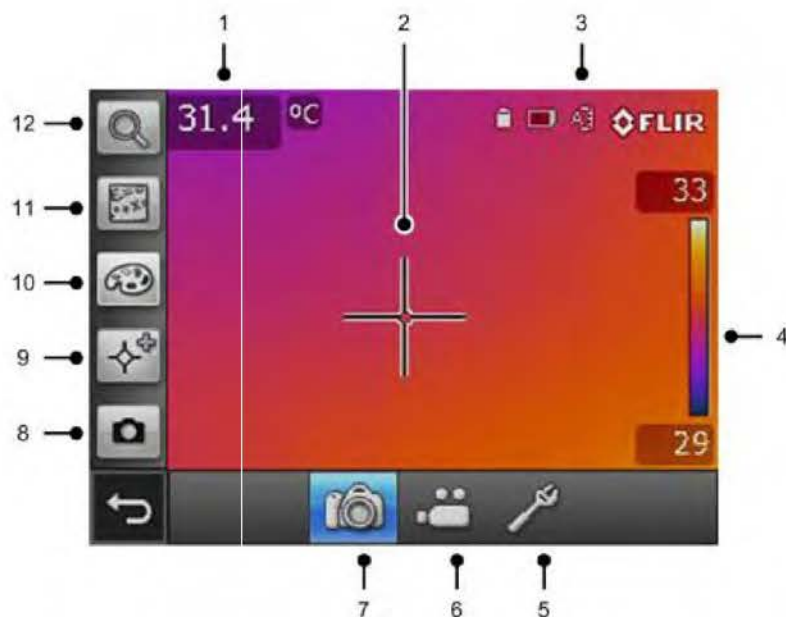
Длина волны: 635 нм. Максимальная выходная мощность: 1 мВт.

Данное изделие соответствует стандартам 21 CFR 1040.10 и 1040.11, за исключением отступлений согласно Laser Notice № 50 от 24 июня 2007 года.

9 Элементы дисплея

Рисунок

T638713/23



Объяснение

В этой таблице даются пояснения к приведенному выше рисунку.

1	Таблица результатов измерения
2	Средства измерения (например, экспозиметр)
3	Значки статуса и режима
4	Шкала температуры
5	Режим настройки
6	Запись в режиме видео
7	Режим камеры/режим реального времени
8	Режим просмотра (ИК-камера, цифровая камера, тепловое слияние, картинка в картинке)
9	Инструменты измерения
10	Цветовые палитры
11	Параметры измерения
12	Масштабирование

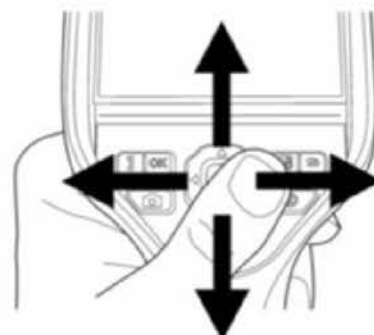
10 Правила пользования системой меню

Рисунок

T636777a1



T636780a1



Объяснение

На приведенном выше рисунке изображены два способа навигации по системе меню камеры:

- Использование указательного пальца для навигации по системе меню (слева).
- Использование навигационной панели для навигации по меню (справа).

11 Подключение внешних устройств и носителей информации

Рисунок

T838789-24

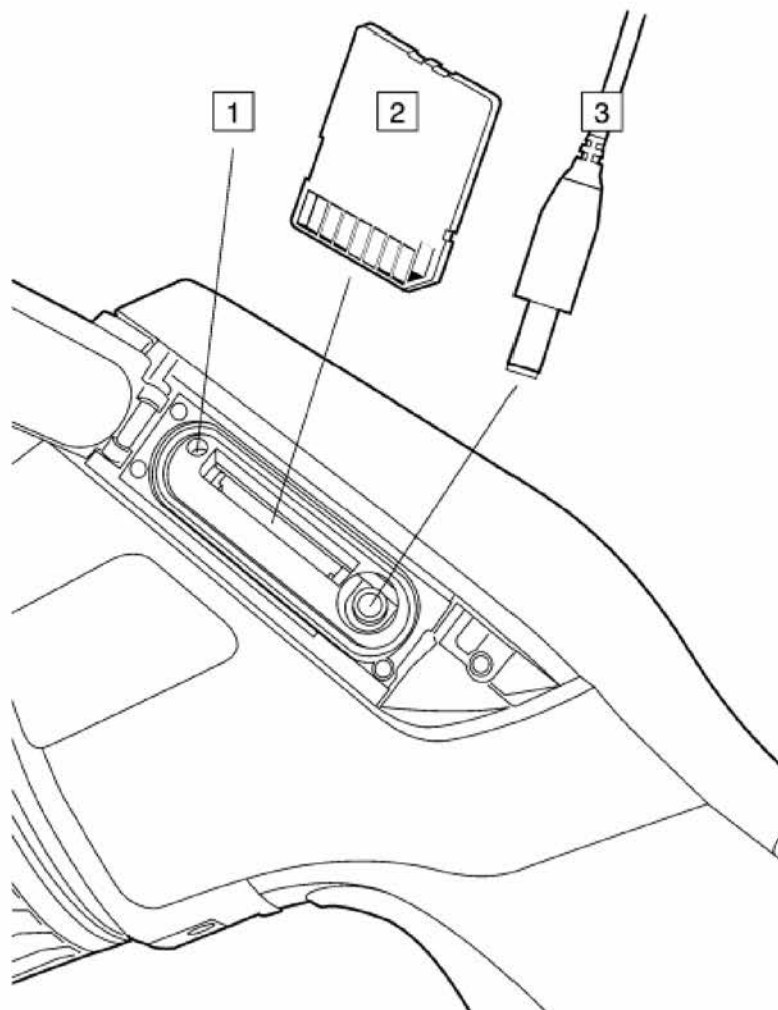
**Объяснение**

Таблица содержит пояснения к рисунку:

1	Индикатор занятости карты памяти. Примечание. Не вынимайте карту памяти, когда светится этот индикатор.
2	Карта памяти
3	Кабель головного телефона

11 – Подключение внешних устройств и носителей информации**Рисунок**

T638768.r1

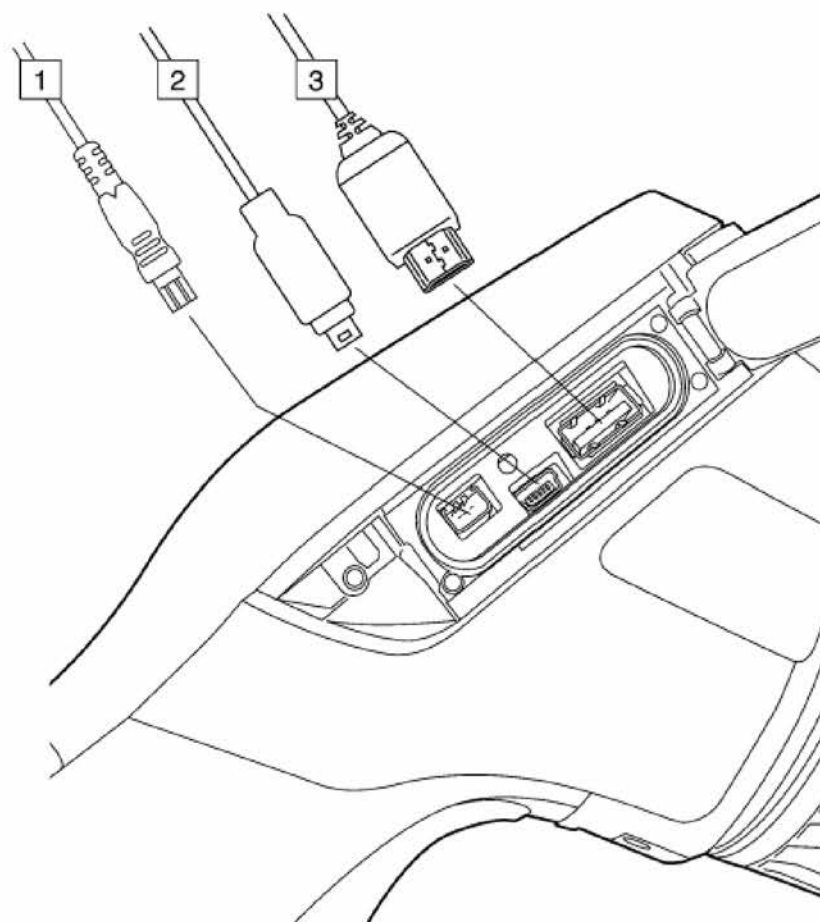
**Объяснение**

Таблица содержит пояснения к рисунку:

1	Шнур питания
2	Кабель USB Mini-B (для подключения камеры к компьютеру)
3	Кабель USB-A (предназначен для подключения камеры к внешним устройствам, например карте памяти USB)

12 Сопряжение устройств Bluetooth

Общее

Прежде, чем использовать устройство Bluetooth с камерой, необходимо соединить устройства попарно.

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Откройте раздел  (Настройки).
2	Откройте вкладку Подключение.
3	Активируйте Bluetooth. Примечание. Также необходимо активировать возможность подключения Bluetooth на внешнем устройстве.
4	Выберите Добавить устройство Bluetooth .
5	Выберите Начать поиск устройств Bluetooth и дождитесь отображения списка доступных устройств. Для этого потребуется приблизительно 15 секунд.
6	Выберите найденное устройство Bluetooth, чтобы добавить его. После этого устройство будет готово к использованию.

ПРИМЕЧАНИЕ

- Добавлять можно несколько устройств.
- Чтобы удалить добавленное устройство, выберите его, а затем выберите **Удалить**.
- После добавления устройства MeterLink, например Extech MO297 или EX845, результат датчика будет отображен в таблице результатов измерения.
- После добавления гарнитуры Bluetooth ее можно использовать в режиме предварительного просмотра камеры.
- В режиме предварительного просмотра также возможно добавление значений моментальных снимков в реальном времени.

13 Настройка Wi-Fi

Общее

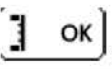
В зависимости от конфигурации камеры, можно подключить камеру к беспроводной локальной сети (WLAN) с помощью технологии Wi-Fi либо позволить камере предоставить доступ Wi-Fi другому устройству.

Камеру можно подключить следующими двумя способами.

- **Самый распространенный способ:** установка однорангового соединения (также называемый сетью *компьютер-компьютер* или *P2P*). Данный метод преимущественно используется с другими устройствами, такими как iPhone, iPad и т. д.
- **Реже используемый способ:** подключение камеры к беспроводной локальной сети.

Настройка однорангового соединения (самый распространенный способ)

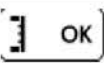
Выполните следующие действия:

1	Откройте раздел  (Настройки).
2	Откройте вкладку Подключение.
3	В разделе Wi-Fi выберите Подключить устройство.
4	Выберите Настройки Wi-Fi.
5	Введите значения для следующих параметров. ■ SSID (имя сети) ■ Канал (канал, на который настроено другое устройство) ■ Шифрование (алгоритм шифрования, например TKIP, AES и т. д.) ■ Ключ (ключ доступа к сети) ■ Адрес (IP-адрес сети) ■ Шлюз (IP-адрес шлюза сети) Примечание. Данные параметры устанавливаются для сети камеры. Внешнее устройство будет использовать их для подключения к сети.
6	Нажмите  для подтверждения выбора.

Подключение камеры к беспроводной локальной сети (реже используемый способ)

Выполните следующие действия:

1	Откройте раздел  (Настройки).
2	Откройте вкладку Подключение.
3	В разделе Wi-Fi выберите Подключить к беспроводной сети.
4	Выберите Настройки Wi-Fi.

5	Выберите одну из доступных сетей. Для подключения к сетям, защищенным паролем, (обозначены значком замка) потребуется ввести ключ доступа.
6	Нажмите  для подтверждения выбора.

ПРИМЕЧАНИЕ

Некоторые сети не обнаруживают своего существования для других устройств. Для подключения к таким сетям выберите **Добавить вручную** и установите все параметры вручную в соответствии с настройками этой сети.

14 Работа с камерой

14.1 Включение камеры

Процедура

Чтобы включить камеру, нажмите и отпустите кнопку .

14.2 Выключение камеры

Процедура

Для выключения камеры нажмите и удерживайте кнопку  более 0,2 секунды.

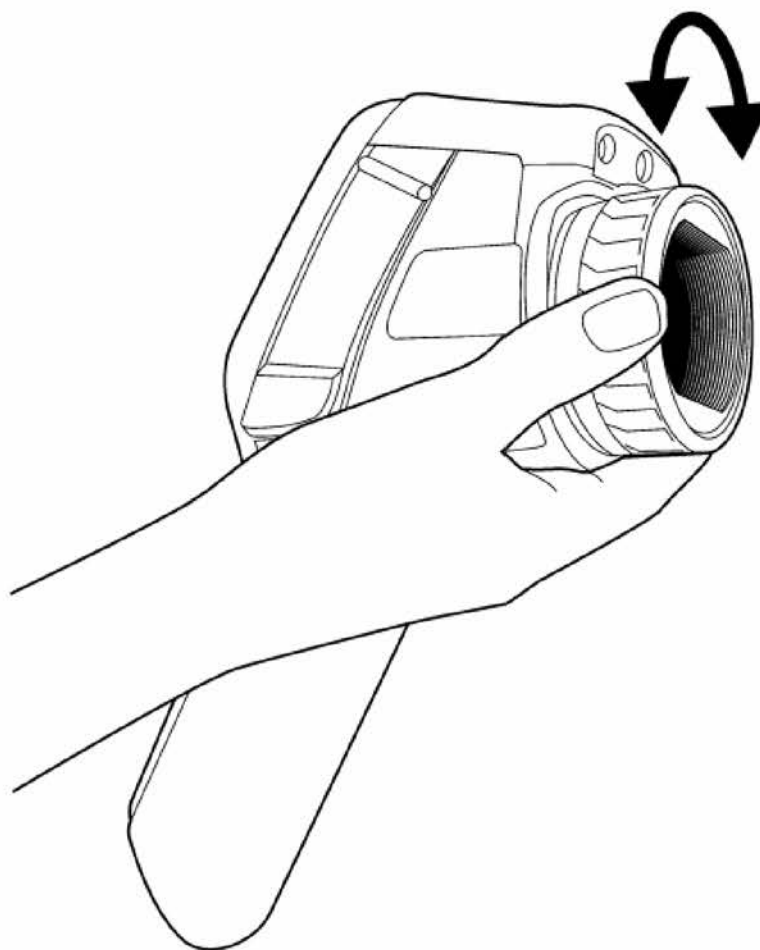
14.3 Ручная настройка фокуса инфракрасной камеры

ПРИМЕЧАНИЕ

- Не прикасайтесь к поверхности линз при ручной фокусировке инфракрасной камеры. Если это случится, выполните очистку линзы в соответствии с инструкциями Раздел 23.2 – Инфракрасный объектив на стр. 65.
- Кольцо фокусировки можно вращать без ограничений, однако при фокусировке требуется лишь определенное количество вращений.

Рисунок

T638779»1



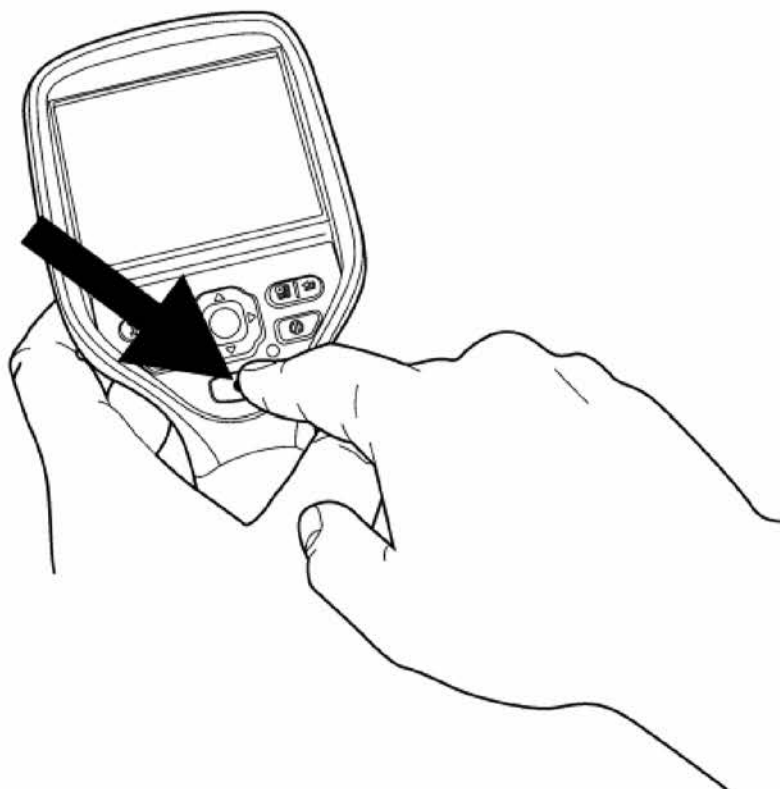
Процедура

Выполните одно из следующих действий:

- Чтобы сфокусировать инфракрасную камеру на далекий объект, вращайте кольцо фокусировки против часовой стрелки (со стороны сенсорного ЖК-дисплея).
- Чтобы сфокусировать инфракрасную камеру на ближний объект, вращайте кольцо фокусировки по часовой стрелке (со стороны сенсорного ЖК-дисплея).

14 – Работа с камерой**14.4 Управление лазерным целеуказателем****Рисунок**

T638778a1

**Процедура**

Для управления лазерным целеуказателем необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажатие на кнопку и ее удержание включает лазерный целеуказатель.
2	Отпускание кнопки выключает лазерный целеуказатель.

ПРИМЕЧАНИЕ

- При включенном лазерном целеуказателе отображается предупреждающий индикатор.
- Положение лазерной точки обозначается на инфракрасном изображении (в зависимости от модели камеры).

15 Работа с изображениями

15.1 Предварительный просмотр изображений

Общее

Вы можете предварительно просматривать цифровые фотоснимки и инфракрасные изображения перед сохранением их на карте памяти. Такая возможность позволяет проверять перед сохранением фотографических и инфракрасных изображений, содержится ли в них нужная информация.

Режим предварительного просмотра позволяет также обрабатывать изображения перед их сохранением и добавлять к ним примечания.

Процедура

Для предварительного просмотра изображения вытащите на короткое время и отпустите пусковую кнопку.

ПРИМЕЧАНИЕ

Функцию пусковой кнопки можно изменить в разделе  (Настройки). Эту функцию можно настроить для выполнения следующих действий.

- Предпросмотр/сохранение
- Сохранить сразу
- Всегда выполнять предпросмотр

15.2 Сохранение изображения

Общее

Изображение можно сохранять без предварительного просмотра.

Емкость карт памяти

В этой таблице указывается *приблизительное* количество инфракрасных (ИК) изображений и изображений цифровой камеры (ЦК), которое можно сохранить на картах памяти.

Объем карты памяти	Только ИК-изображения	ИК + ЦК	ИК + ЦК + 30 секундная голо- совая аннота- ция
1 Гб	5500	850	600
2 Гб	11 000	1700	1200

Соглашение о названиях изображений

По соглашению, названия изображений имеют вид IR_XXXX.jpg, где XXXX — один счетчик.

Процедура

Чтобы немедленно сохранить изображение, вытащите и удерживайте пусковую кнопку более одной секунды.

ПРИМЕЧАНИЕ

Функцию пусковой кнопки можно изменить в меню Настройки. Эту функцию можно настроить для выполнения следующих действий.

- Предпросмотр/сохранение
- Сохранить сразу
- Всегда выполнять предпросмотр

15.3 Открытие изображения

Общее

При сохранении изображения оно записывается на карту памяти. Чтобы вновь вывести изображение на экран, откройте его из карты памяти.

Процедура

Для открытия изображения необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  .
2	Выберите изображение, которое хотите просмотреть, нажимая кнопки влево/вправо и вверх/вниз на навигационной панели.
3	Нажмите  OK. Изображение отобразится в полном размере.
4	Для редактирования открытого изображения отобразите меню, нажав кнопку  .

15 – Работа с изображениями

15.4 Настройка изображения

Общее

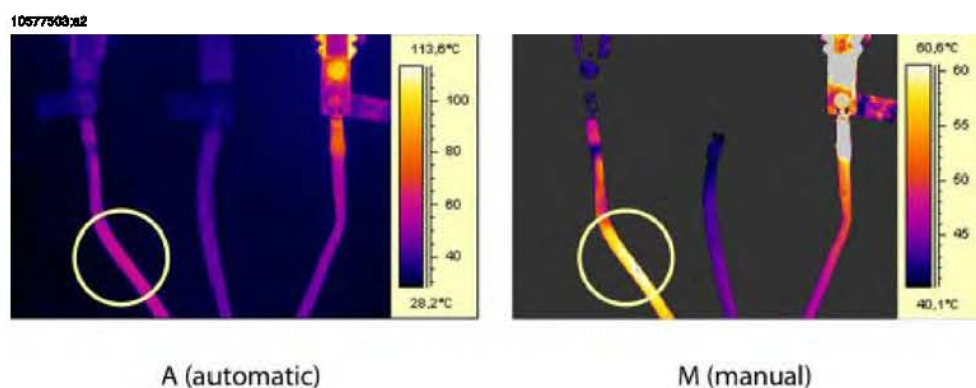
Изображение можно настроить *автоматически* или *вручную*. Для переключения между этими режимами используйте кнопку . Обратите внимание, что этот способ работает только в режиме реального времени и не работает в режиме предварительного просмотра/архива.

Пример 1

Ниже приводятся два инфракрасных изображения, на которых показаны точки соединения кабелей. При рассмотрении левого изображения, очевидно, что использование одной только автоматической настройки изображения вряд ли позволит правильно выполнить температурный анализ левого кабеля. Состояние левого кабеля можно оценить более точно, если:

- изменить уровень температурной шкалы;
- изменить диапазон температурной шкалы.

Левое изображение настроено в автоматическом режиме. На изображении справа уровни максимальной и минимальной температуры были изменены на уровни температуры вблизи объекта. По температурным шкалам справа от каждого изображения можно увидеть, насколько были изменены уровни температуры.

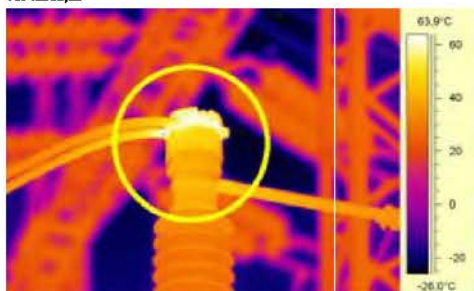


Пример 2

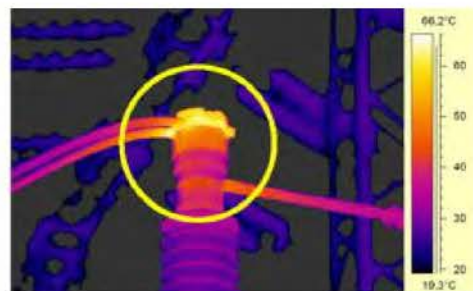
В этом примере приводятся два инфракрасных изображения изолятора высоковольтной линии электропередачи.

На изображении слева холодное небо и высоковольтная линия электропередачи были записаны при минимальной температуре $-26,0^{\circ}\text{C}$. На изображении справа уровни максимальной и минимальной температуры были изменены на уровни температуры вблизи изолятора. Это упрощает анализ отклонений температуры в изоляторе.

10742503;43



A (automatic)



M (manual)

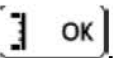
15 – Работа с изображениями**Изменение
уровня шкалы
температуры**

Чтобы изменить уровень температурной шкалы, необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  .
2	Используйте навигационную панель для выбора  (Руководство).
3	Чтобы изменить заданный уровень шкалы, нажимайте кнопку вверх/вниз на навигационной панели.

**Изменение
диапазона
температурной
шкалы**

Чтобы изменить диапазон температурной шкалы, необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  .
2	Используйте навигационную панель для выбора  (Руководство).
3	Чтобы изменить диапазон шкалы, нажимайте кнопки влево/вправо на навигационной панели.

ПРИМЕЧАНИЕ

Данные процедуры применимы только в режиме реального времени.

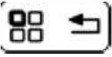
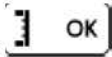
15.5 Изменение палитры

Общее

Вы можете изменить цветовую палитру, используемую для отображения различных температур. Правильно подобранная палитра может облегчить анализ изображения.

Процедура

Для изменения палитры необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  .
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	Используйте навигационную панель для выбора другой палитры.
5	Нажмите  .

15.6 Удаление изображения

Общее

Вы можете удалить из папки одно или несколько изображений.

Процедура

Для удаления изображения необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  .
2	Выберите изображение, которое вы хотите удалить, нажимая кнопки влево/вправо и вверх/вниз на навигационной панели.
3	Нажмите кнопку  OK, чтобы отобразить изображение.
4	Нажмите кнопку  OK для отображения меню.
5	В меню выберите Удалить, затем подтвердите выбор.

ПРИМЕЧАНИЕ

Обратите внимание, что все изображения, принадлежащие одной группе, например цифровые фотографии, будут также удалены.

15.7 Удаление всех изображений

Общее

Можно удалить все изображения в папке.

Процедура

Для удаления изображения необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  .
2	Выберите какое-либо изображение, нажимая кнопки влево/вправо и вверх/вниз на навигационной панели.
3	Нажмите кнопку  ОК, чтобы отобразить изображение.
4	Нажмите кнопку  ОК для отображения меню.
5	В меню выберите Удалить все, затем подтвердите выбор.

15.8 Создание отчета в формате PDF в камере

Общее

В камере можно создавать отчеты в формате PDF. После этого отчет можно перенести на компьютер, iPhone или iPad с помощью приложения FLIR Viewer и переслать его заказчику.

Процедура

Для создания отчета в формате PDF необходимо выполнить следующие действия.

1	Нажмите  .
2	Выберите изображение, нажимая кнопки влево/вправо и вверх/вниз на навигационной панели.
3	Нажмите кнопку  OK, чтобы отобразить изображение.
4	Нажмите кнопку  OK для отображения меню.
5	В меню выберите Создать страницу отчета. Отобразится меню, в котором можно изменить следующие элементы. ■ Верхний колонтитул ■ Нижний колонтитул ■ Логотип (должен храниться в папке /report/logo/ в формате *.jpg).
6	В меню выберите Создать страницу отчета.

16 Работа с тепловым слиянием и в режиме картинки в картинке

Что такое тепловое слияние?

Тепловое слияние — это функция, позволяющая отобразить часть цифровой фотографии как инфракрасное изображение.

Например, можно настроить камеру для отображения всех областей изображения с определенной температурой в инфракрасном режиме, а всех остальных областей — в режиме цифровой фотографии.

Что такое картинка в картинке?

Картинка в картинке — это функция, сходная с функцией теплового слияния, которая позволяет отобразить часть цифровой фотографии как инфракрасное изображение.

Однако, при использовании режима картинки в картинке инфракрасный кадр отображается поверх цифровой фотографии.

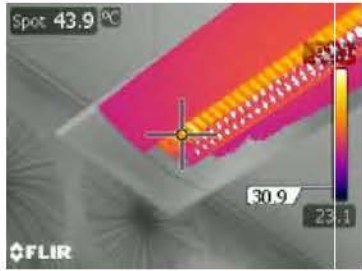
Типы

В зависимости от модели камеры различают до четырех перечисленных ниже типов.

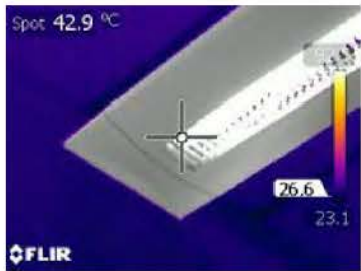
- **Выше:** Все области цифровой фотографии с температурой выше указанного уровня отображаются в виде термографических.
- **Ниже:** Все области цифровой фотографии с температурой ниже указанного уровня отображаются в виде термографических.
- **Интервал:** Все области цифровой фотографии с температурой между указанными уровнями отображаются в виде термографических.
- **Картинка в картинке:** Термографический кадр отображается поверх цифровой фотографии.

Примеры изображений

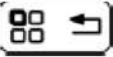
В данной таблице поясняется разница между четырьмя типами.

Тип слияния	Изображение
Выше	

16 – Работа с тепловым спlicing и в режиме картинки в картинке

Тип спlicing	Изображение
Ниже	
Интервал	
Картинка в картинке	

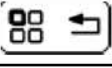
16 – Работа с тепловым спянием и в режиме картинки в картинке**Настройка типа
теплового
спяния****Выполните следующие действия:**

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	В системе меню выберите  . Откроется подменю.
3	В подменю выберите Тепловое спяние
4	Нажмите  .
5	Для изменения части изображения, отображаемого в инфракрасном режиме, выполните одно из следующих действий. ■ Нажмите джойстик влево/вправо для выбора , затем нажмите джойстик вверх/вниз, чтобы изменить нижний уровень температуры. ■ Нажмите джойстик влево/вправо для выбора , затем нажмите джойстик вверх/вниз, чтобы изменить верхний уровень температуры. ■ Нажмите джойстик влево/вправо для выбора , затем нажмите джойстик вверх/вниз, чтобы одновременно изменить верхний и нижний уровни температуры, а также влево/вправо для изменения диапазона температур.

16 – Работа с тепловым спянием и в режиме картинки в картинке

**Настройка
режима картинки
в картинке**

Выполните следующие действия:

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	В системе меню выберите  . Откроется подменю.
3	В подменю выберите Картинка в картинке Отобразится инфракрасный кадр поверх цифровой фотографии.

17 Работа с инструментами измерений

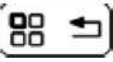
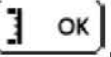
17.1 *Размещение измерительных инструментов: точки, области и пр.*

Общее

Для измерения температуры используются несколько измерительных инструментов, например, экспозиметр, рамка и др.

Процедура

Для размещения измерительного инструмента необходимо выполнить следующие действия.

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  .
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	С помощью навигационной панели выберите инструмент измерения.
5	Нажмите  . На экране отобразится инструмент измерения.

17.2 Размещение измерительного инструмента: изотермы

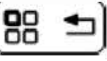
Общее

Функция изотермы окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой выше или ниже одного или нескольких заданных уровней температуры или с температурой, которая лежит между этими уровнями.

Изотермы упрощают процесс обнаружения аномалий на инфракрасном изображении.

Процедура

Для размещения изотермы необходимо выполнить следующие действия.

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  .
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	С помощью навигационной панели перейдите к  .
5	Нажмите кнопку  . Отобразится подменю.

6

В подменю выберите один из следующих элементов.

- **Выше.** Этот элемент окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой выше одного или нескольких заданных уровней температуры.
- **Ниже.** Этот элемент окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой ниже одного или нескольких заданных уровней температуры.
- **Интервал.** Этот элемент окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой, находящейся между двумя или несколькими заданными уровнями температуры.
- **Влажность.** Этот элемент окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой ниже порога, определяемого параметрами влажности.
- **Изоляция.** Этот элемент окрашивает контрастным цветом все пиксели с температурой ниже порога, определяемого параметрами теплоизоляции.

При этом на температурной шкале появится символ флага. Для изменения уровня температуры, прикоснитесь и перетащите флаг вверх или вниз. См. рисунок ниже.



17 – Работа с инструментами измерений

17.3 Перемещение или изменение размера измерительного инструмента

Общее

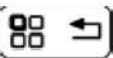
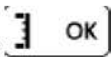
Вы можете передвинуть измерительный инструмент или изменить его размер.

ПРИМЕЧАНИЕ

- Данное действие предполагает, что измерительный инструмент уже размещен на экране.
- Кроме того, измерительный инструмент можно передвинуть или изменить его размер пальцем.

Процедура

Для перемещения или изменения размера измерительного инструмента необходимо выполнить следующие действия:

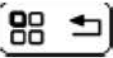
1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  (Инструменты).
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	С помощью навигационной панели перейдите к  (Настроить инструменты).
5	Нажмите  и выберите измерительный инструмент, который требуется передвинуть или размер которого необходимо изменить.
6	С помощью навигационной панели переместите инструмент измерения или измените его размер.

17.4 Создание и настройка функции определения различий

Общее Функция определения различий возвращает разность значений двух известных результатов измерений или разность результата измерения и контрольной температуры.

ПРИМЕЧАНИЕ Данное действие предполагает, что по крайней мере два измерительных инструмента размещены на экране.

Процедура Для создания и настройки функции определения различий необходимо выполнить следующие действия:

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  (Инструменты).
3	Нажмите кнопку  OK для отображения подменю.
4	Используйте навигационную панель для выбора  (Добавить различие).
5	Нажмите  OK. Отобразится диалоговое окно, в котором можно выбрать инструменты измерения, используемые при определении различий.
6	Нажмите  OK. Результат определения различий отображается в таблице результатов.

17.5 Изменение параметров объекта

Общее Для выполнения особо точных измерений необходимо задать параметры объекта.

Типы параметров Камера может использовать следующие параметры объекта:

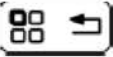
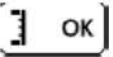
- Параметр Коэффициент излучения отображает количество излучения, испускаемое объектом, в сравнении излучением теоретического эталонного объекта (называемого “абсолютно черным телом”) при той же температуре. Коэффициент отражения является величиной, обратной коэффициенту излучения. Коэффициент излучения характеризует ту часть излучения, которая исходит из самого объекта, а не отражается им.
- Отраженная температура используется для компенсации излучения окружающих объектов, которое отражается от объекта в направлении камеры. Это свойство объекта называется коэффициентом отражения.
- Параметр Расстояние до объекта соответствует расстоянию между камерой и исследуемым объектом.
- Параметр Температура воздуха соответствует температуре воздуха между камерой и исследуемым объектом.
- Относительная влажность соответствует относительной влажности воздуха между камерой и исследуемым объектом.
- Параметр Компенсация внешнего ИК-окна соответствует температуре внешней оптической системы, т.е. любых защитных окон и т.д., помещенных между камерой и исследуемым объектом. Если при проведении измерений внешняя оптическая система не используется, этот параметр является лишним и должен оставаться неактивным.

Рекомендуемые значения Если точные значения параметров неизвестны, рекомендуется использовать следующие значения:

Видимая отраженная температура	+20°C
Коэффициент излучения	0,95
Относительная влажность	50%
Расстояние до объекта	1,0 м
Температура воздуха	+20°C

Процедура

Для изменения параметров объекта необходимо выполнить следующие действия.

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  .
3	Нажмите  для отображения диалогового окна.
4	Для выбора и изменения параметра объекта используйте навигационную панель.
5	Нажмите  . Диалоговое окно будет закрыто.

ПРИМЕЧАНИЕ

Из перечисленных выше параметров *коэффициент излучения* и *видимая отраженная температура* являются наиболее важными и должны быть установлены с максимальной точностью.

Связанные темы

Подробную информацию о параметрах и процедуре задания коэффициента излучения и видимой отраженной температуры см. в разделе 31 – Техника термографических измерений на стр. 173.

18 Выборка данных из внешних датчиков Extech

Общее

Можно выбрать данные из внешнего датчика Extech и сплить их в таблицу результатов в термографическом изображении.

Рисунок

T636370a1



Поддерживаемые датчики Extech

- Extech Moisture Meter MO297
- Extech Clamp Meter EX845

Техническая поддержка датчиков Extech

support@extech.com

Данная поддержка осуществляется только для датчиков Extech. Техническая поддержка инфракрасных камер доступна на сайте <http://support.flir.com>.

ПРИМЕЧАНИЕ

- Данное действие предполагает, что устройства Bluetooth сопряжены.
- Дополнительная информация о продуктах компании Extech Instruments приведена на сайте <http://www.extech.com/instruments/>.

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Включите камеру.
2	Включите датчик Extech.

18 – Выборка данных из внешних датчиков Exttech

3	В датчике активируйте режим Bluetooth. Соответствующая информация приведена в документации для пользователей датчика.
4	В датчике выберите нужную величину (напряжение, ток, сопротивление и т.д.). Соответствующая информация приведена в документации для пользователей датчика. Теперь результаты датчика автоматически отобразятся в таблице результатов в левом верхнем углу экрана инфракрасной камеры.
5	Выполните одно из следующих действий: ■ Для предварительного просмотра изображения нажмите кнопку предпросмотра/сохранения. На этом этапе можно добавлять дополнительные значения. Для этого проведите датчиком новое измерение и выберите Добавить на экране инфракрасной камеры. ■ Для сохранения изображения без предварительного просмотра нажмите и удерживайте кнопку предпросмотра/сохранения. ■ (В зависимости от модели камеры) Чтобы добавить значение в выведенное изображение, включите датчик после вызова изображения, а затем выберите Добавить на экране инфракрасной камеры. Можно добавить не более восьми значений, но помните, что некоторые значения разбиваются на две линии.

18.1 Типичная процедура измерения и документирования влажности

Общее

Следующая процедура образует основу других процедур с использованием датчиков Exttech и инфракрасных камер.

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Инфракрасная камера используется для определения зон потенциальной сырости в стенах и потолках.
2	Влагомер используется для измерения уровня влаги в различных подозрительных местах, которые были обнаружены.
3	При обнаружении особо подозрительного места сохраните значение влажности в памяти влагомера и отметьте место измерения рукой или другим термоопределителем.
4	Откройте значение из памяти влагомера. Теперь влагомер будет постоянно передавать это значение в инфракрасную камеру.
5	С помощью камеры получается термоизображение зоны, отмеченной термоопределителем. Сохраненные данные из влагомера также будут сохранены на изображении.

19 Работа с изотермами

19.1 Строительные изотермы

Общее

В камере предусмотрены специальные типы изотерм для использования при обследовании строительных конструкций. Можно настроить камеру на включение следующих типов изотерм.

- **Влажность:** срабатывает, когда средство измерения обнаруживает поверхность, на которой относительная влажность превышает предварительно заданное значение.
- **Изоляция:** срабатывает при обнаружении в стене дефекта теплоизоляции.

Об изотерме Влажность

Чтобы обнаруживать области с относительной влажностью ниже 100%, можно воспользоваться изотермой Влажность, которая позволяет задавать конкретное значение относительной влажности, при превышении которого изображение будет окрашиваться изотермой.

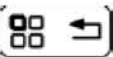
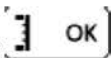
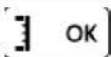
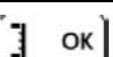
Об изотерме Изоляция

Изотерма Изоляция позволяет обнаруживать области с возможными нарушениями теплоизоляции здания. Изотерма срабатывает, когда уровень теплоизоляции падает ниже предварительно заданного значения для просачивания энергии сквозь стены здания.

Различные строительные нормы предлагают разные значения уровня теплоизоляции, но типовые значения находятся в пределах 0,6–0,8 для новых зданий. Рекомендации относительно данного параметра можно найти в строительных нормах и правилах конкретных стран.

Процедура

Для настройки изотермы необходимо выполнить следующие действия.

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  .
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	С помощью навигационной панели перейдите к  .
5	Нажмите кнопку  . Отобразится подменю.
6	В подменю выберите пункт Влажность или Изоляция. Отобразится диалоговое окно, в котором можно настроить нужные параметры.
7	Нажмите  . Настройка завершена, и теперь при соблюдении соответствующих параметров изотерма будет отображаться.

19 – Работа с изотермами

ПРИМЕЧАНИЕ

Чтобы отображение изотерм было содержательным, параметры необходимо задавать с особой тщательностью.

20

Добавление аннотаций к изображениям

Общее

В этом разделе описывается добавление к инфракрасным изображениям дополнительной информации с помощью аннотаций.

Использование аннотаций облегчает ведение отчетности и повышает эффективность последующей обработки изображений, поскольку в аннотациях содержится важная информация об изображениях, включая фотографии, сведения о месте, времени и условиях получения каждого изображения и т.п.

Камеру можно настроить для автоматического добавления примечаний к изображениям.

20.1 Получение цифровых фотоснимков

Общее

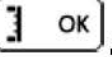
При сохранении инфракрасного изображения можно сделать цифровую фотографию наблюдаемого объекта. Она будет автоматически сгруппирована с инфракрасным изображением с целью упрощения ведения отчетности и последующей обработки изображений.

ПРИМЕЧАНИЕ

Эта процедура предполагает, что камера не была настроена для автоматического добавления цифровых фотографий.

Процедура

Для получения цифрового фотоснимка необходимо выполнить следующие действия:

1	Для предварительного просмотра инфракрасного изображения вытаскивайте на краткое время и отпустите пусковую кнопку.
2	Используйте навигационную панель для выбора  .
3	Нажмите кнопку  для отображения подменю.
4	Используйте навигационную панель для выбора Снимок цифровой камерой.
	Нажмите  , чтобы сделать цифровой снимок. Цифровая фотография будет добавлена на ИК-изображение в так называемую "группу инфракрасного обследования" и сгруппирована в архиве изображений, а также будет добавлена при перенесении файлов из камеры в программу ведения отчетности на компьютере.

20.2 Создание голосовых аннотаций

Общее

Голосовая аннотация – это звуковое сопровождение инфракрасного изображения, которое записывается в файл этого изображения.

Запись голосовой аннотации выполняется с помощью микрофона гарнитуры Bluetooth®. Голосовая аннотация воспроизводится камерой или с помощью программы по ведению отчетности и анализа изображений компании FLIR Systems.

Процедура

Чтобы создать голосовую аннотацию, необходимо выполнить следующие действия:

1	Для предварительного просмотра изображения вытащите пусковую кнопку.
2	Используйте навигационную панель для выбора  .
3	Выполните одно из следующих действий и нажмите джойстик для подтверждения каждого выбора. Некоторые кнопки служат для выполнения нескольких функций. ■ Чтобы начать запись, выберите . ■ Пауза/возобновление записи осуществляется выбором . ■ Чтобы остановить запись, выберите . ■ Для прослушивания записи выберите . ■ Чтобы приостановить воспроизведение голосовой аннотации во время ее прослушивания, выберите . ■ Чтобы вернуться в начало записи, выберите . ■ Чтобы удалить запись голосовой аннотации, выберите , передвинув джойстик вправо/влево или вверх/вниз. ■ Чтобы сохранить запись, выберите Сохранить.

20.3 Создание текстовых аннотаций

Общее

Текстовые аннотации группируются с файлом изображения. С помощью этой функции можно вставлять добавлять к изображениям аннотации. Этот текст можно впоследствии изменять.

Эта функция позволяет сохранять пояснительную информацию с изображениями и очень эффективна при исследовании большого числа одинаковых объектов. Идея применения текстовых аннотаций с изображениями возникла из желания упростить ведение отчетности, которую чаще всего приходится вести вручную, заполняя большое количество формуляров и протоколов.

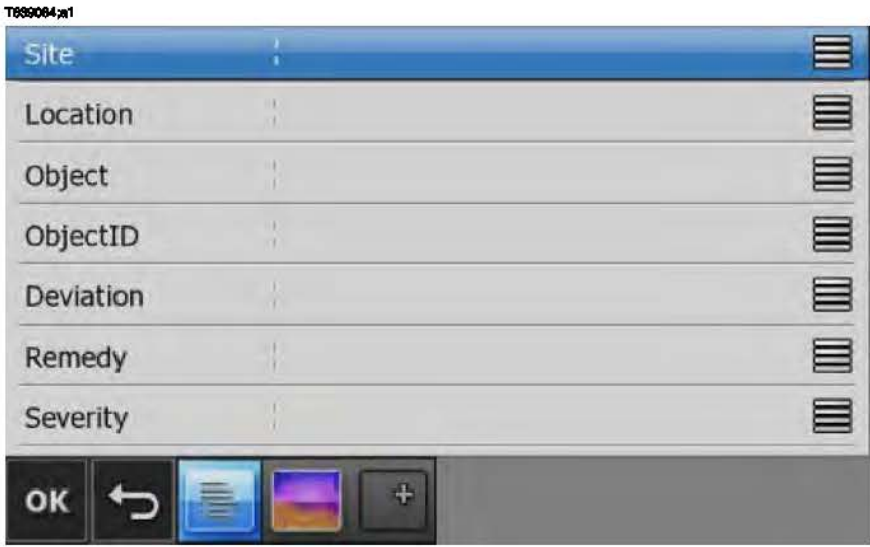
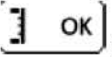
ПРИМЕЧАНИЕ

Эта процедура предполагает, что камера не была настроена для автоматического добавления текстовых аннотаций.

Процедура

Чтобы создать текстовую аннотацию, необходимо выполнить следующие действия:

1	Для предварительного просмотра изображения вытащите пусковую кнопку.
2	Используйте навигационную панель для выбора  .
3	Нажмите  для отображения диалогового окна.

4	 В данном диалоговом окне можно выполнить одно из следующих действий. ■ Использовать существующий шаблон текстовой аннотации или создать новый шаблон. ■ Создавать новые поля. ■ Вводить новые текстовые значения в поля. Текстовая аннотация будет добавлена на ИК-изображение в так называемую <i>группу</i> и сгруппирована в архиве изображений, а также будет добавлена при перенесении файлов из камеры в программу ведения отчетности на компьютере.
5	(Процедура добавления значений к существующим меткам описана в шагах 5–8). Для выбора метки из списка, например расположения, объекта и т. д., используйте навигационную панель.
6	Нажмите  для отображения диалогового окна.
7	В этом диалоговом окне можно выполнить одно из следующих действий. ■ Выбрать один из предварительно заданных текстов, например двигатель, вентилятор и пр. ■ Щелкните Клавиатура и введите новый текст.
8	Нажмите кнопку OK.

21 Запись видеоклипов

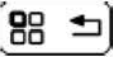
Общее

Можно записывать инфракрасные или видимые нерадиометрические видеоклипы. В этом режиме камеру можно рассматривать как обычную цифровую видеокамеру.

Видеоклипы можно воспроизводить на ПК с помощью Windows® Media Player, но получить радиометрическую информацию из видеоклипа будет невозможно.

Процедура

Порядок записи инфракрасных или видимых нерадиометрических видеороликов:

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	Используйте джойстик для перехода к  .
3	Выполните следующие действия. ■ Чтобы начать запись, коротко нажмите и отпустите кнопку предварительного просмотра/сохранения. ■ Чтобы остановить запись, коротко нажмите и отпустите кнопку предварительного просмотра/сохранения.
4	После окончания записи откроется панель инструментов, на которой можно выполнить одно из следующих действий. ■ Сохранить запись. ■ Отменить запись. ■ Воспроизвести запись. ■ Добавить текстовую аннотацию. ■ Добавить эскиз.

22

Изменение настроек

Общее

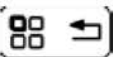
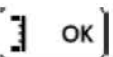
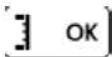
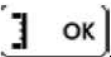
Вы можете изменять различные настройки камеры:

- Настройки камеры, такие как яркость дисплея, управление питанием, калибровка сенсорного экрана, настройки по умолчанию и т. д.
- Настройки, такие как параметры аннотаций, наложения и т. д.
- Подключение, в частности настройки для Wi-Fi, Bluetooth и т. д.
- Региональные настройки, такие как язык, дата и время, формат даты и времени, единицы измерения температуры и расстояния и т. д.

В данной области также содержатся неизменяемые сведения о камере, такие как серийный номер, версия встроенной программы, уровень заряда аккумулятора и т. д.

Процедура

Изменение настроек выполняется следующим образом.

1	Нажмите  для отображения системы меню.
2	С помощью навигационной панели перейдите к  (Настройки).
3	Нажмите  . Отобразится диалоговое окно.
4	Выполните следующие действия. ■ Для перехода между вкладками используйте навигационную панель, а на самих вкладках используйте кнопки вверх/вниз. ■ Для изменения выбранной настройки воспользуйтесь кнопкой . ■ Для подтверждения выбора используйте кнопку .

23

Чистка камеры

23.1

Корпус камеры, кабели и другие принадлежности

Чистящие жидкости

Рекомендуется использовать одну из следующих жидкостей:

- Теплая вода
 - Слабый раствор моющего средства
-

Технические средства

Кусок мягкой ткани

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Намочите ткань моющим раствором.
2	Выжмите ткань для удаления излишка жидкости.
3	Вытрите детали влажной тканью.

ВНИМАНИЕ

Не используйте растворители и подобные им жидкости для чистки камеры, кабелей или других принадлежностей. Это может привести к повреждениям.

23.2 Инфракрасный объектив

Чистящие жидкости

Рекомендуется использовать одну из следующих жидкостей:

- Изопропиловый спирт 96%.
- Имеющиеся в продаже жидкости для чистки оптики, содержащие более 30% изопропилового спирта.

Технические средства

Вата

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Намочите вату чистящей жидкостью.
2	Выжмите вату для удаления излишка жидкости.
3	Вытрите объектив одним движением и выбросьте вату.

ОСТОРОЖНО

Перед использованием каких-либо жидкостей вы должны внимательно прочесть указания по технике безопасности и предупреждающие надписи на упаковке. Некоторые жидкости опасны для здоровья.

ВНИМАНИЕ

- При чистке инфракрасного объектива соблюдайте особую осторожность. Этот объектив имеет тонкое просветляющее покрытие.
- Не прилагайте чрезмерных усилий при чистке инфракрасного объектива. Вы можете повредить просветляющее покрытие.

23.3 Инфракрасный детектор

Общее

Даже небольшое количество пыли на инфракрасном детекторе может привести к серьезным дефектам изображения. Для удаления пыли с детектора необходимо выполнить следующие действия.

ПРИМЕЧАНИЕ

- Данный раздел относится только к камерам, в которых снятие объектива оставляет инфракрасный детектор незащищенным.
- В некоторых случаях подобным образом удалить пыль невозможно; инфракрасный детектор необходимо очищать механически. Такая механическая очистка производится уполномоченными сервисными центрами.

ВНИМАНИЕ

В описываемом ниже шаге 2 не допускается использование воздуха под давлением из пневматических воздушных контуров в мастерских и т.п., поскольку этот воздух обычно содержит масляный туман для смазки пневматического инструмента.

Процедура

Выполните следующие действия:

1	Снимите объектив с камеры.
2	Чтобы сдуть пыль, используйте воздух под давлением из канистры для сжатого воздуха.

24 Технические данные

Технические данные приведены в таблицах в документации для пользователей на CD-ROM, поставляемой вместе с камерой.

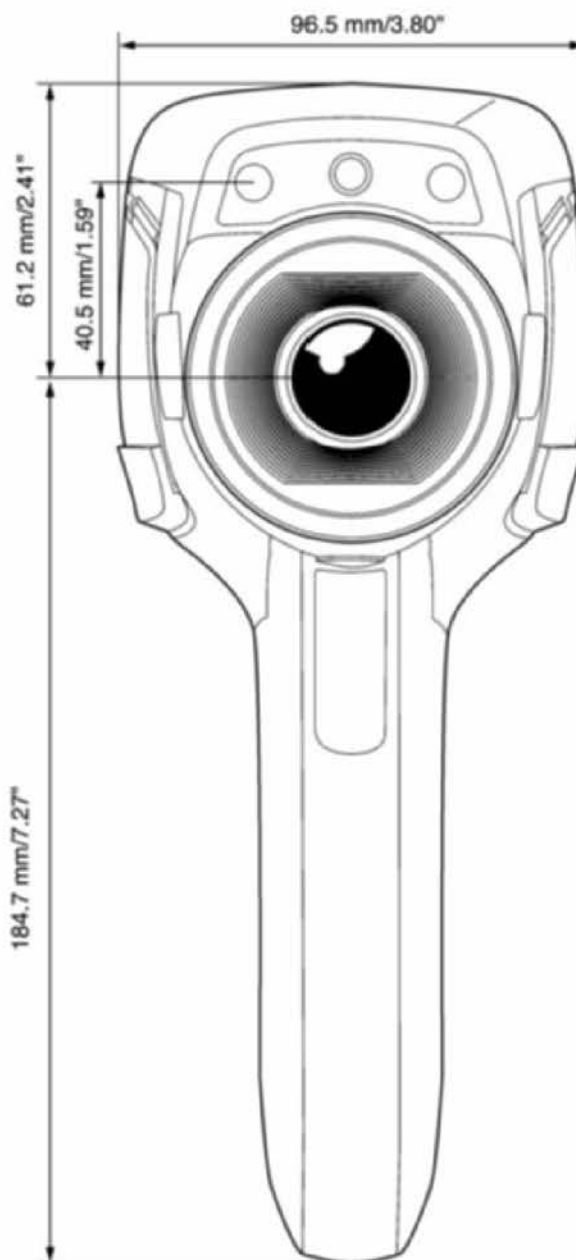
Технические данные также приведены на сайте <http://support.flir.com>.

25 Масштабные чертежи

25.1 Размеры камеры, вид спереди (1)

Рисунок

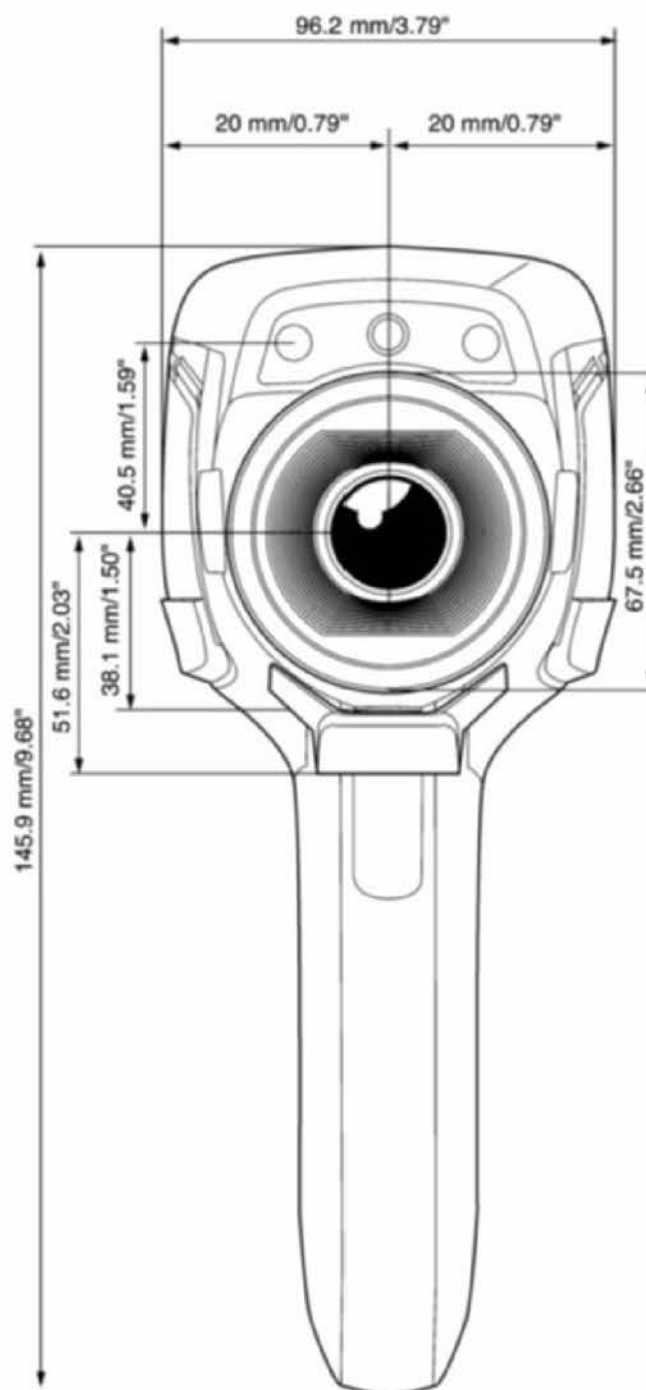
T638785.a1



25.2 Размеры камеры, вид спереди (2)

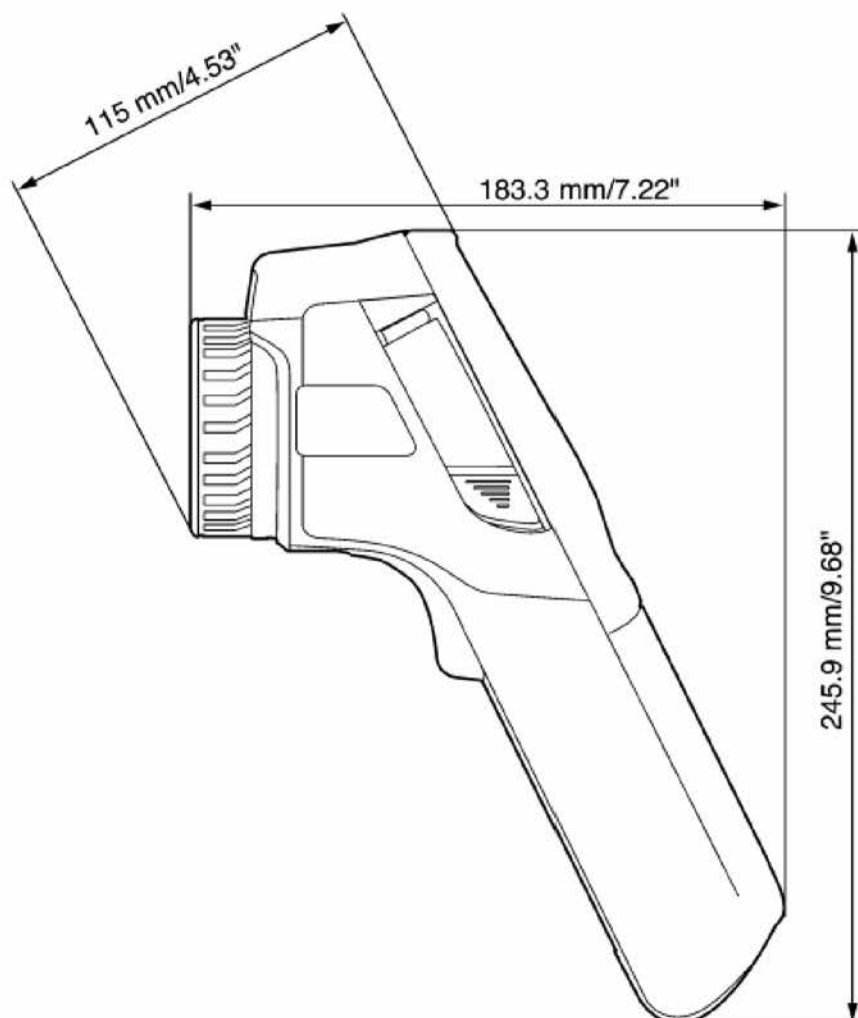
Рисунок

T638786.a1



25 – Масштабные чертежи**25.3 Размеры камеры, вид сбоку (1)****Рисунок**

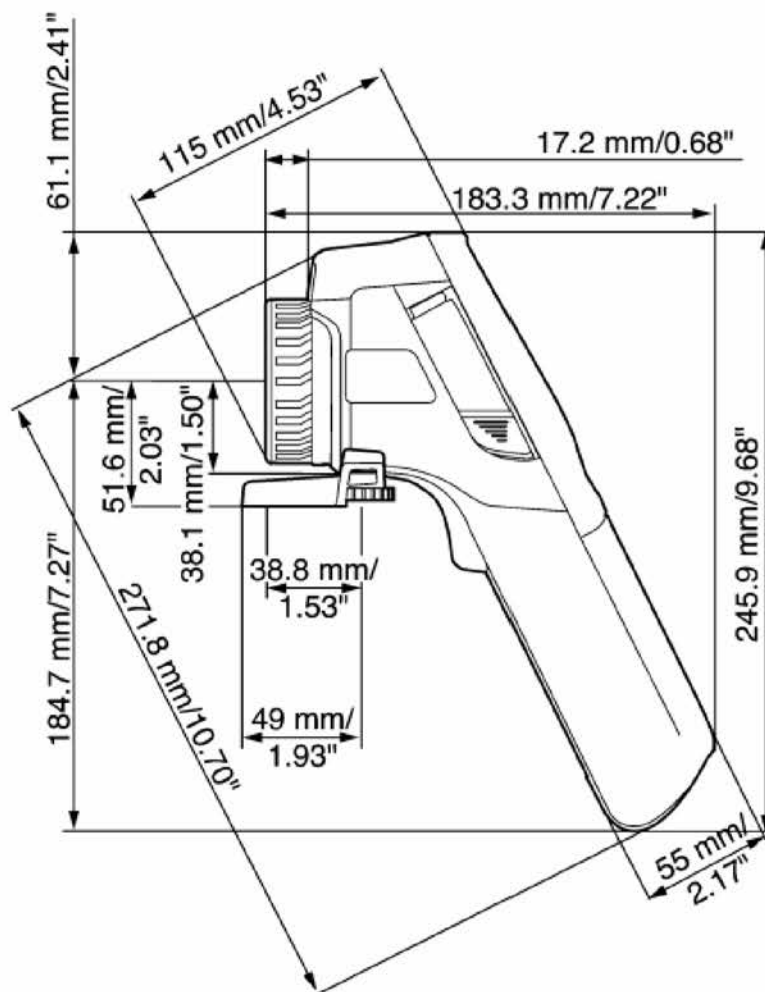
T638772»1



25.4 Размеры камеры, вид сбоку (2)

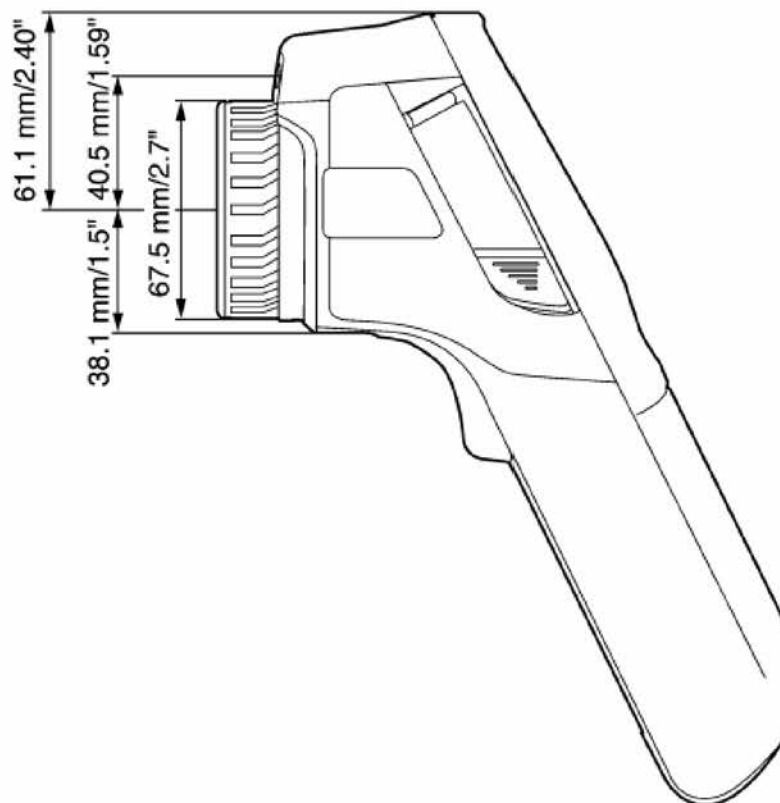
Рисунок

T638773a1



25 – Масштабные чертежи**25.5 Размеры камеры, вид сбоку (3)****Рисунок**

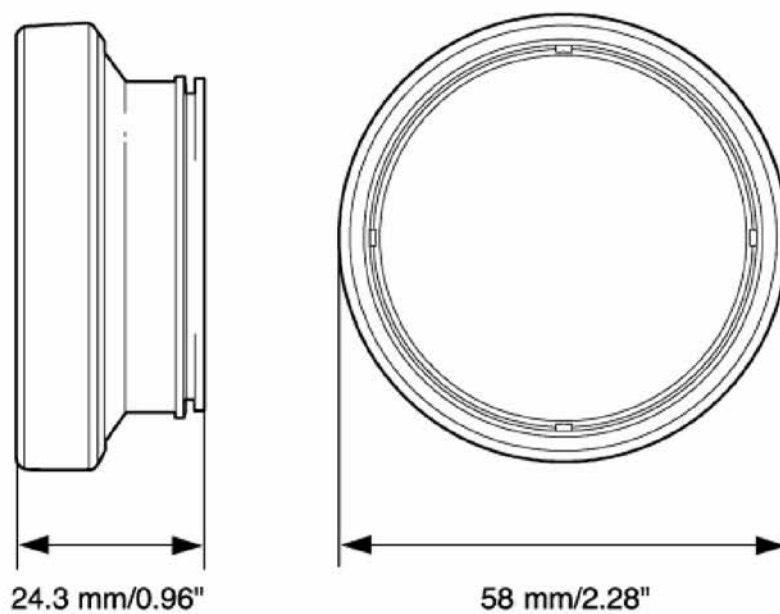
T638774-1



25.6 Инфракрасный объектив (30 мм/15°)

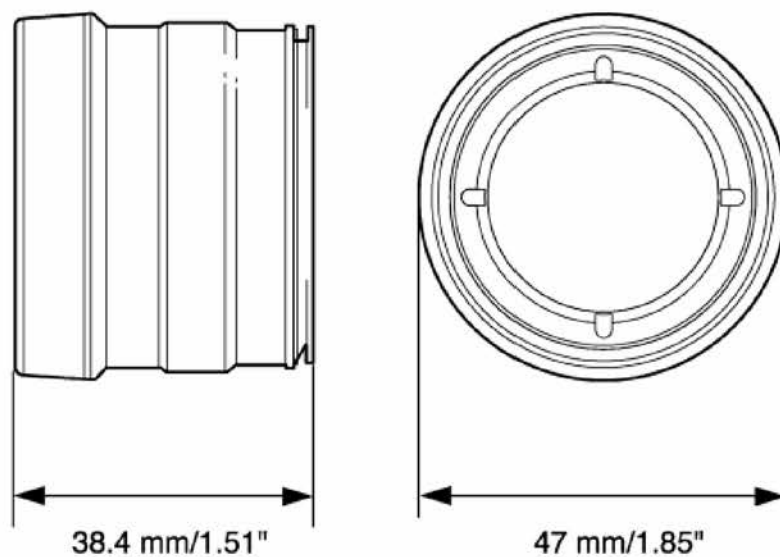
Рисунок

10782503;а1



25 – Масштабные чертежи**25.7 Инфракрасный объектив (10 мм/45°)****Рисунок**

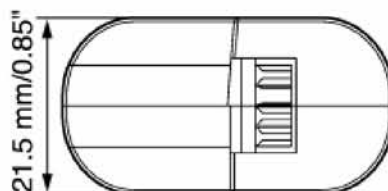
10782403;а1



25.8 Аккумулятор (1)

Рисунок

T638762»1

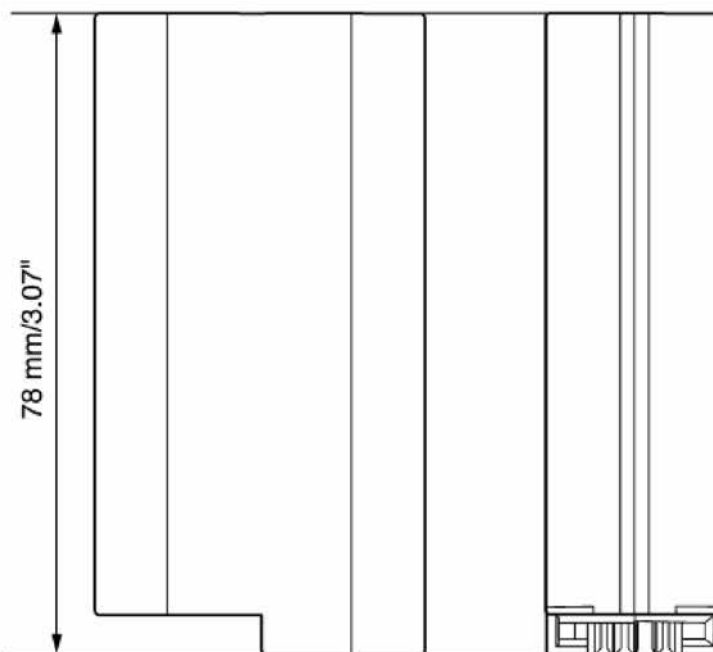


ПРИМЕЧАНИЕ

Перед установкой аккумулятора в камеру удалите с него следы воды и влаги с помощью чистой, сухой ткани.

25 – Масштабные чертежи**25.9 Аккумулятор (2)****Рисунок**

T6387632.a1

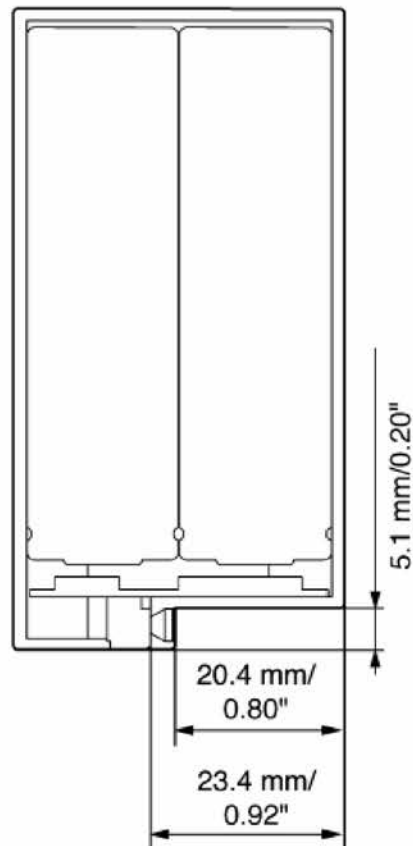
**ПРИМЕЧАНИЕ**

Перед установкой аккумулятора в камеру удалите с него следы воды и влаги с помощью чистой, сухой ткани.

25.10 Аккумулятор (3)

Рисунок

T638784.a1

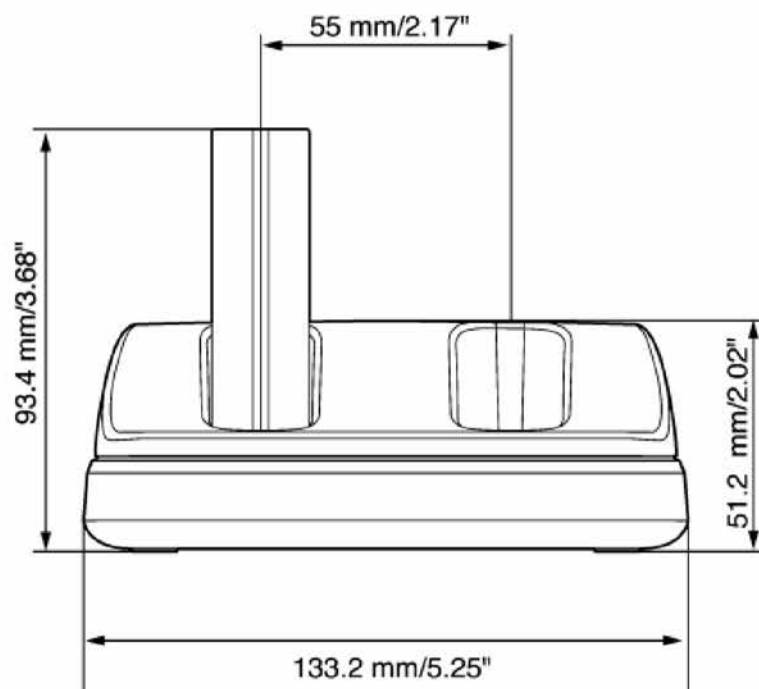


ПРИМЕЧАНИЕ

Перед установкой аккумулятора в камеру удалите с него следы воды и влаги с помощью чистой, сухой ткани.

25 – Масштабные чертежи**25.11 Зарядное устройство (1)****Рисунок**

T638767-1

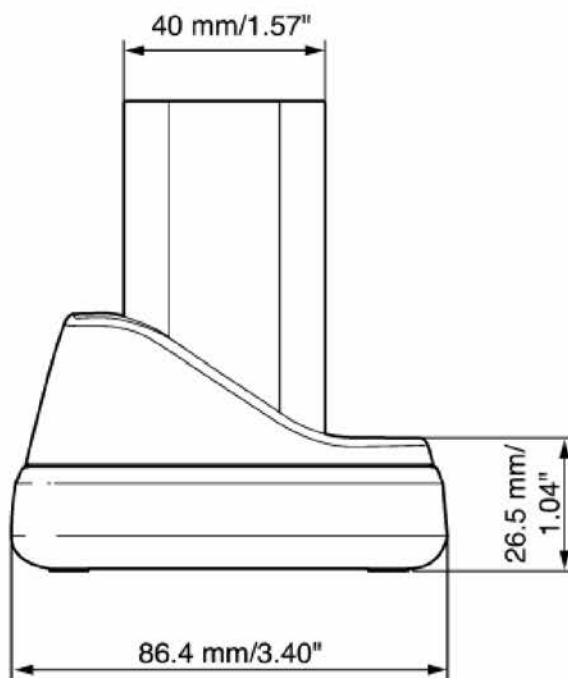
**ПРИМЕЧАНИЕ**

Перед установкой аккумулятора в зарядное устройство удалите с него следы воды и влаги с помощью куска чистой, сухой ткани.

25.12 Зарядное устройство (2)

Рисунок

T638788-21

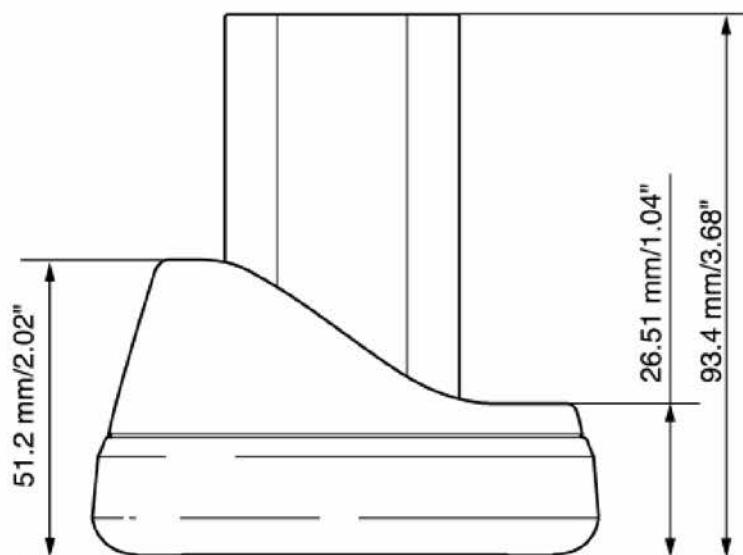


ПРИМЕЧАНИЕ

Перед установкой аккумулятора в зарядное устройство удалите с него следы воды и влаги с помощью куска чистой, сухой ткани.

25 – Масштабные чертежи**25.13 Зарядное устройство (3)****Рисунок**

T638789-а1

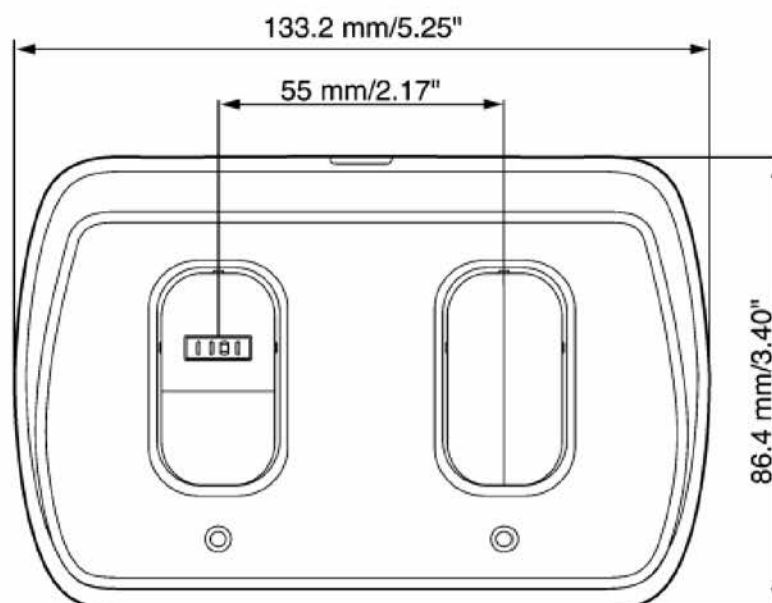
**ПРИМЕЧАНИЕ**

Перед установкой аккумулятора в зарядное устройство удалите с него следы воды и влаги с помощью куска чистой, сухой ткани.

25.14 Зарядное устройство (4)

Рисунок

T638770-1



ПРИМЕЧАНИЕ

Перед установкой аккумулятора в зарядное устройство удалите с него следы воды и влаги с помощью куска чистой, сухой ткани.

26 Примеры использования

26.1 Повреждение при действии влажности и воды

Общее

Часто с помощью инфракрасной камеры можно обнаружить просачивание влаги в доме. Отчасти это вызвано тем, что поврежденная область имеет иную теплопроводность, и отчасти из-за иной теплоемкости по сравнению с окружающим материалом.

ПРИМЕЧАНИЕ

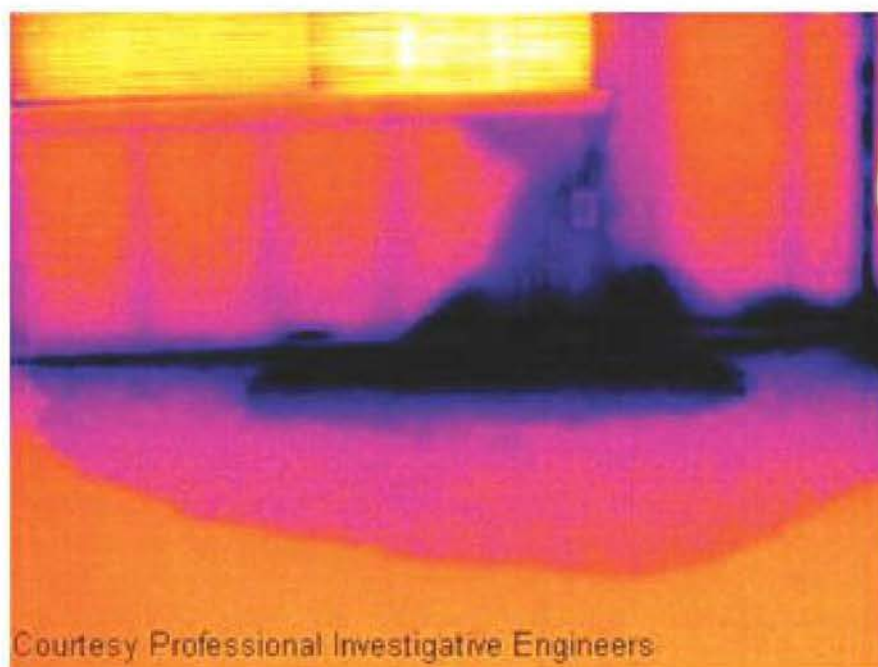
Множество факторов влияют на то, как повреждения и-за действия влажности и воды будут выглядеть на инфракрасном изображении.

Например, нагрев и охлаждение таких участков происходит с различной скоростью в зависимости от материала и времени дня. Поэтому важно использовать и другие методы для проверки на повреждение из-за влажности и воды.

Рисунок

На изображении ниже показана обширная протечка на наружной стене, где вода проникла во внешнюю обшивку из-за неправильно установленного наружного подоконника.

10739503.ai



26.2 Дефектный контакт в розетке

Общее

В зависимости от типа соединения в розетке неправильно присоединенный провод может привести к локальному повышению температуры. Такое повышение температуры вызывается уменьшением поверхности контакта между точкой соединения входящего провода и розеткой и может привести к пожару.

ПРИМЕЧАНИЕ

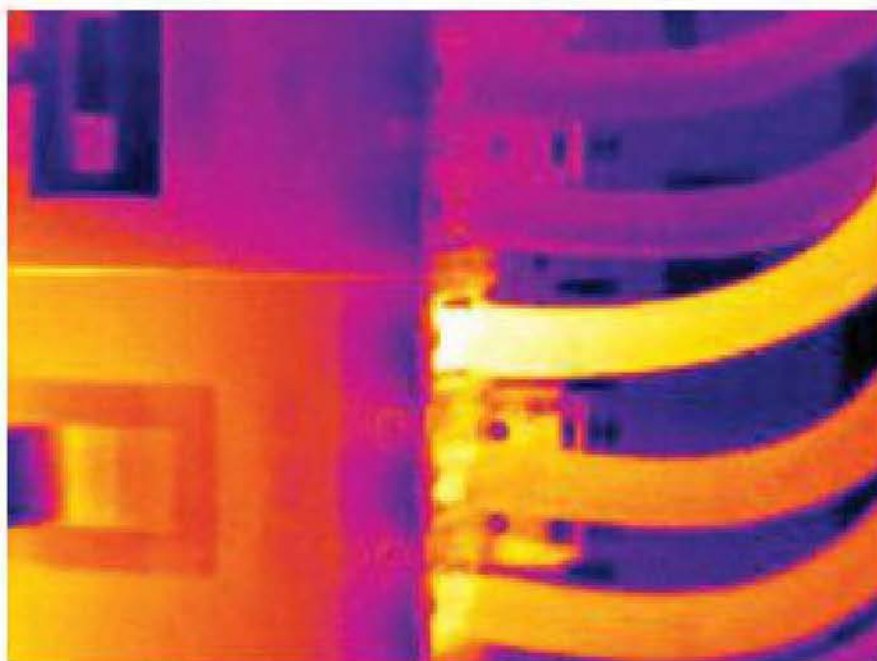
Конструкции розеток разных производителей могут иметь значительные различия. Поэтому различные дефекты в розетке могут одинаково выглядеть на инфракрасном изображении.

Локальное повышение температуры может также возникнуть из-за неправильного контакта между проводом и розеткой или из-за разницы нагрузок.

Рисунок

На изображении ниже показано присоединение кабеля к розетке, при котором неправильный контакт в соединении привел к локальному повышению температуры.

10799008;а1



26.3 Окисление контактов розетки

Общее

В зависимости от типа розетки и условий окружающей среды контактные поверхности розетки могут окисляться. Окислы могут привести к локальному повышению сопротивления при подключении к розетке нагрузки, что можно увидеть по локальному повышению температуры на инфракрасном изображении.

ПРИМЕЧАНИЕ

Конструкции розеток разных производителей могут иметь значительные различия. Поэтому различные дефекты в розетке могут одинаково выглядеть на инфракрасном изображении.

Локальное повышение температуры может также возникнуть из-за неправильного контакта между проводом и розеткой или из-за разницы нагрузок.

Рисунок

На изображении ниже показан ряд плавких предохранителей, один из которых имеет повышенную температуру на контактных поверхностях по отношению к зажиму. Повышение температуры незаметно на оголенном металле держателя предохранителя, но видно на керамическом материале предохранителя.

10720703;а1



26.4 Дефекты теплоизоляции

Общее

Дефекты изоляции могут возникнуть из-за потери объема изоляции с течением времени, вследствие чего полость в каркасной стене оказывается заполненной не полностью.

Инфракрасная камера позволяет увидеть такие дефекты теплоизоляции, так как у них иные характеристики теплопроводности, по сравнению с участками с правильно установленной изоляцией, а также увидеть область, где воздух проникает в каркас здания.

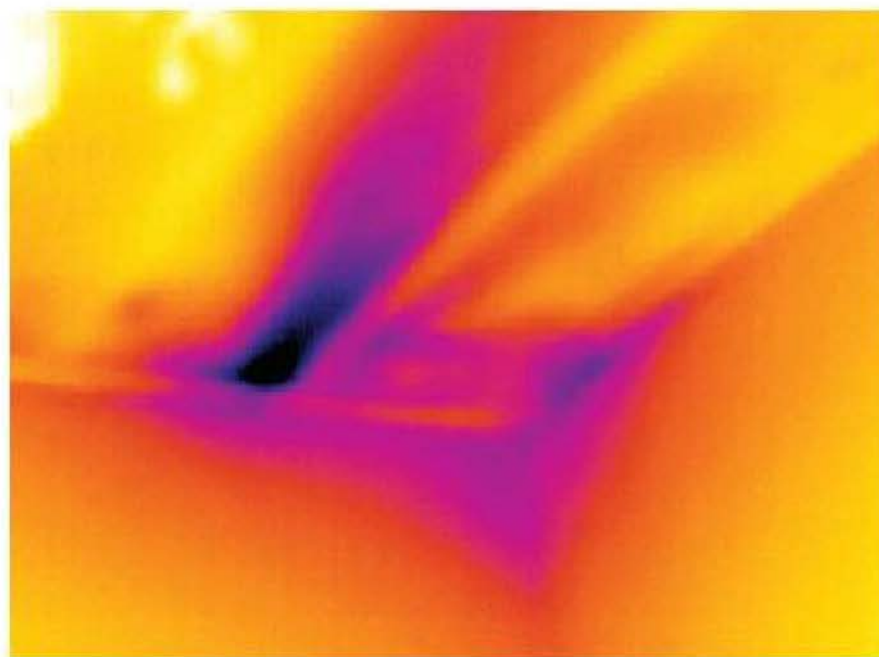
ПРИМЕЧАНИЕ

При осмотре здания разность температур между внутренней и наружной частью должна быть не менее 10°C. Стойки, водопроводные трубы, бетонные колонны и тому подобные компоненты могут выглядеть на инфракрасном изображении как дефекты теплоизоляции. Незначительные различия также могут возникать естественным путем.

Рисунок

На изображении ниже изоляция в несущей конструкции крыши отсутствует. Из-за отсутствия изоляции воздух проник в конструкцию крыши, что видно по характерному отличию на инфракрасном изображении.

10700003.ai



26.5 Сквозняк

Общее

Сквозняки можно обнаружить под плинтусами, вокруг дверных и оконных коробок и за потолочным плинтусом. Такой тип сквозняков часто можно увидеть с помощью инфракрасной камеры, так как поток более холодного воздуха охлаждает окружающую поверхность.

ПРИМЕЧАНИЕ

При выявлении сквозняков в доме необходимо создать давление ниже атмосферного. Перед созданием инфракрасных снимков закройте все двери, окна и вентиляционные отверстия и включите на некоторое время вытяжной вентилятор на кухне.

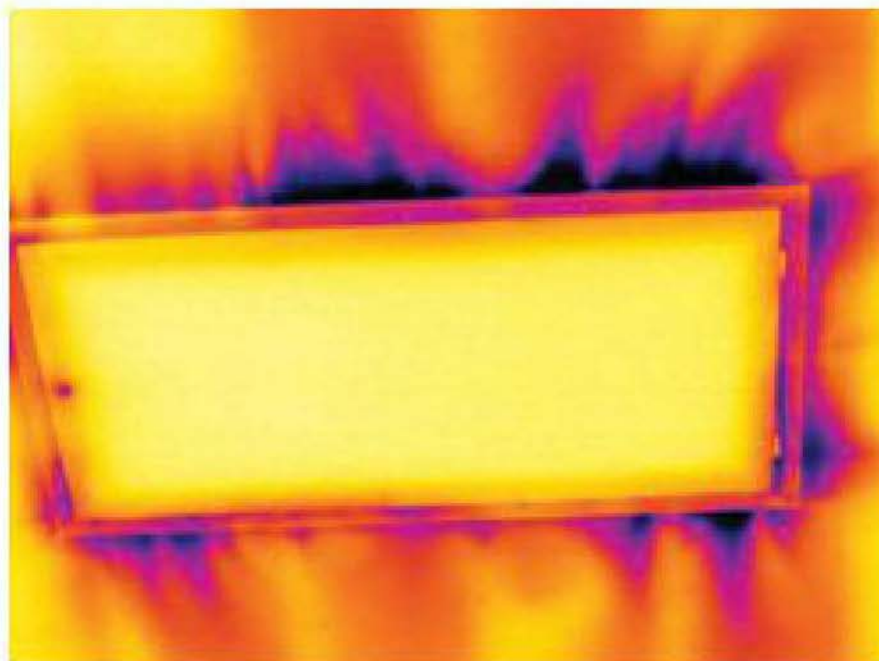
На инфракрасном изображении сквозняка часто видна форма потока, характерная для пара. На рисунке ниже ясно видно эту форму потока.

Следует также иметь в виду, что сквозняки могут скрываться теплом от систем обогрева пола.

Рисунок

На изображении ниже показан потолочный люк, неправильная установка которого привела к сильному сквозняку.

10728903;а1



27 Введение в термографию сооружений

27.1 *Заявление об отказе от ответственности*

27.1.1 Уведомление об авторских правах

Авторские права на некоторые разделы и изображения, приведенные в настоящей главе, принадлежат следующим организациям и компаниям:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

27.1.2 Обучение и аттестация

Выполнение работ по термографическому обследованию сооружений требует наличия основательной подготовки, опыта и, в некоторых случаях, лицензирования в национальной или региональной организации по стандартизации. Материал данного раздела следует рассматривать только как введение в термографическое обследование зданий. Всем пользователям настоятельно рекомендуется пройти соответствующий курс обучения.

Дополнительную информацию о курсах обучения можно найти на сайте:

<http://www.infraredtraining.com>

27.1.3 Национальные или региональные строительные нормы и правила

Конструкции зданий, рассматриваемые в настоящем разделе, могут не соответствовать принятым в конкретной стране. Для получения дополнительной информации об элементах конструкций и стандартном порядке выполнения процедур используйте сборники национальных или региональных строительных норм и правил.

27.2 *Важное примечание*

Некоторые функции и характеристики, описанные в данном разделе, могут не поддерживаться конкретной конфигурацией вашей камеры.

27.3 Типовые процедуры полевого термографического обследования

27.3.1 Рекомендации

В последующих разделах рассмотрен ряд общих рекомендаций, которые необходимо учитывать при проведении термографического обследования сооружений. В этом разделе содержится краткий перечень всех рекомендаций.

27.3.1.1 Общие рекомендации

- Величина коэффициента излучения для большинства строительных материалов лежит в диапазоне от 0,85 до 0,95. Поэтому на начальном этапе целесообразно установить в ИК-камере коэффициент излучения равным 0,90.
- Не следует принимать решение о выполнении каких-либо мероприятий, основываясь только на результатах термографического обследования. Полученные данные необходимо перепроверить с помощью других методов, таких как анализ строительных чертежей, выполнение измерений с помощью влагомеров, регистраторов температуры и влажности, проверка герметичности с использованием пробного газа и т. п.
- Варьируйте настройки уровня и диапазона в камере, чтобы добиться наибольшей детализации на инфракрасном изображении объекта. Следующий рисунок иллюстрирует различия в качестве инфракрасных изображений, полученных при оптимальных и неоптимальных настройках тепловых параметров.

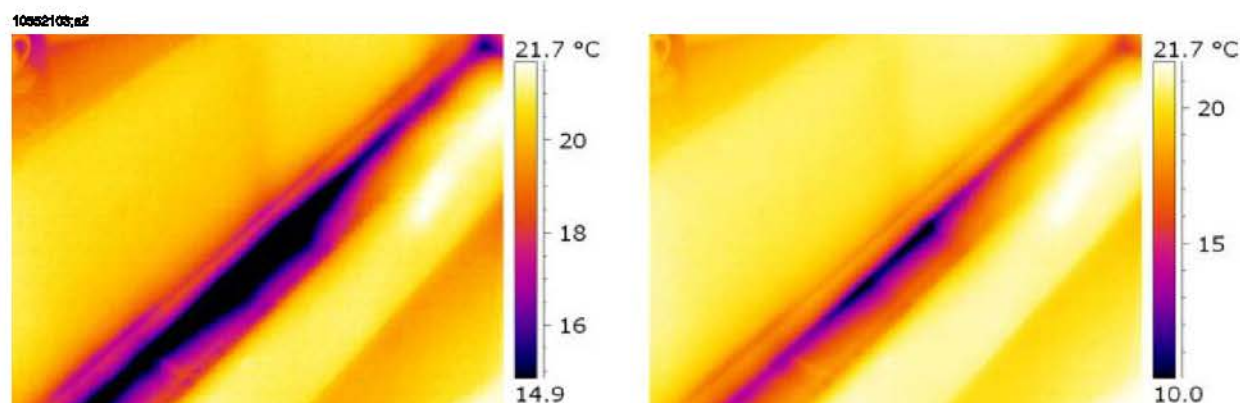


Рисунок 27.1 СЛЕВА: Термически ненастроенное инфракрасное изображение; СПРАВА: Термически настроенное инфракрасное изображение после изменения уровня и диапазона.

27.3.1.2 Рекомендации по выявлению сырых мест, плесневого грибка и протечек

- Дефекты сооружений, обусловленные сыростью и протечками, можно выявить только в том случае, если соответствующие поверхности нагреты, например солнечными лучами.

- Наличие воды изменяет характеристики теплопроводности и теплоемкости строительных материалов. Кроме того, температура поверхности строительного материала может измениться вследствие эффекта охлаждения при испарении воды. Теплопроводность материала характеризует его способность проводить, а теплоемкость — способность накапливать тепло.
- Термографическое обследование не способно обнаружить наличие плесневого грибка непосредственно, но помогает выявлять сырые места, где грибок может образоваться или уже образовался. Плесневый грибок развивается при температурах $+4$ — $+38^{\circ}\text{C}$, наличии влаги и питательных веществ. Благоприятные для развития плесневого грибка условия могут образоваться при относительной влажности свыше 50%.

10658003; a1

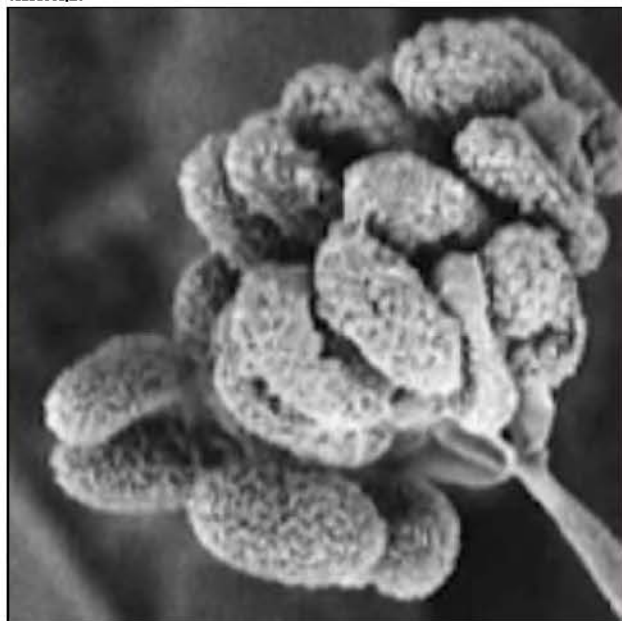


Рисунок 27.2 Споры плесневого грибка под микроскопом

27.3.1.3 Рекомендации по выявлению мест инфильтрации воздуха и дефектов теплоизоляции

- Для повышения точности измерений, выполняемых с помощью ИК-камеры, измерьте температуру окружающей среды и введите полученное значение в камеру.
- Рекомендуется создать перепад давления между внутренним объемом сооружения и окружающей средой. Это упростит анализ инфракрасных изображений и позволит выявить дефекты, которые в противном случае не были бы видны. Рекомендуемая величина отрицательного перепада давления лежит в диапазоне от 10 до 50 Па, но можно проводить обследование и при меньших значениях отрицательного перепада давления. Для того чтобы создать отри-

27 – Введение в термографию сооружений

цательный перепад давления в 5–10 Па, закройте все окна, двери и вентиляционные каналы, затем на некоторое время включите кухонный вытяжной вентилятор (это относится только к жилым домам).

- Термографическое обследование рекомендуется выполнять при разности температур на улице и в помещении в 10–15°C. Можно проводить обследование и при меньшем перепаде температур, но это затруднит анализ инфракрасных изображений.
- На те части здания, которые обследуются изнутри, например фасад, не должны попадать прямые солнечные лучи. Нагрев фасада под воздействием солнечных лучей приведет к выравниванию температурных различий на внутренней поверхности стены и скроет дефекты строительных конструкций. Особенно нежелательно проводить обследование весной, из-за низких ночных ($\pm 0^\circ\text{C}$) и высоких дневных ($+14^\circ\text{C}$) температур.

27.3.2 Выявление сырых мест

Образование сырых мест в строительных конструкциях может происходить по различным причинам, например:

- Внешние утечки, например протечка с верхних этажей, утечки в пожарных гидрантах и т. п.
- Внутренние утечки, например из водопроводных или канализационных труб и т. п.
- Конденсация, т.е. выпадение атмосферной влаги в виде воды на холодных поверхностях.
- Содержание влаги в строительных материалах, из которых возведено сооружение.
- Вода, оставшаяся после тушения пожара.

Использование инфракрасной камеры в качестве средства неразрушающего контроля имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими методами.

Преимущества	Недостатки
■ Быстрота получения данных. ■ Бесконтактный способ получения данных. ■ Не требует эвакуации людей из обследуемого здания. ■ Обеспечивает наглядное представление полученных данных. ■ Позволяет выявить дефекты в строительных конструкциях и пути распространения сырости.	■ Метод позволяет выявлять только поверхностные температурные градиенты и не обеспечивает обнаружение внутрестеновых дефектов. ■ Не позволяет обнаруживать подповерхностные повреждения, например скопления плесневого грибка или разрушение строительных конструкций.

27.3.3 Выявление сырых мест (1): Кровли промышленных сооружений с малым уклоном

27.3.3.1 Общие сведения

Кровли с малым уклоном наиболее часто встречаются в промышленных сооружениях, таких как склады, промышленные предприятия, станочные цеха и т. п. Основное их преимущество перед скатным типом кровли — это меньшие затраты на материалы и возведение. Однако такая конструкция — в отличие от скатной — не обеспечивает освобождение кровли ото льда и снега под действием силы тяжести, что требует применения более прочных несущих конструкций, способных выдержать суммарный вес самой кровли, дождевой воды, снега и льда.

При выполнении термографического обследования желательно иметь общее представление о конструкции плоской кровли промышленных сооружений, глубокие познания не потребуются. Существует множество разновидностей плоских кровель промышленных сооружений — как по конструкции, так и по используемым материалам — и лицо, выполняющее термографическое обследование, просто не в состоянии изучить их все. Кроме того, при необходимости получения дополнительных данных о какой-либо конкретной кровле можно обратиться в организацию, осуществившую проектирование или строительство сооружения.

Наиболее распространенные причины возникновения дефектов кровли приведены в следующей таблице (по материалам конференции SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982), с. 177).

Причина	%
Плохое качество выполнения работ	47,6
Перемещения по кровле	2,6
Недостатки конструкции	16,7
Скопление влаги	7,8
Некачественные материалы	8,0
Старение материалов и разрушение в результате атмосферных воздействий	8,4

Потенциально опасные с точки зрения возникновения протечек места включают:

- гидроизоляцию стыков;
- водостоки;
- примыкания элементов, проходящих сквозь кровлю;
- швы;

27 – Введение в термографию сооружений

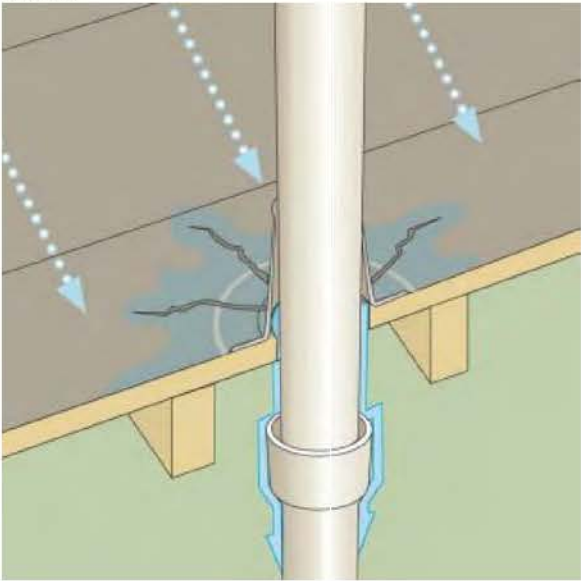
- вздутия.

27.3.3.2 Меры безопасности

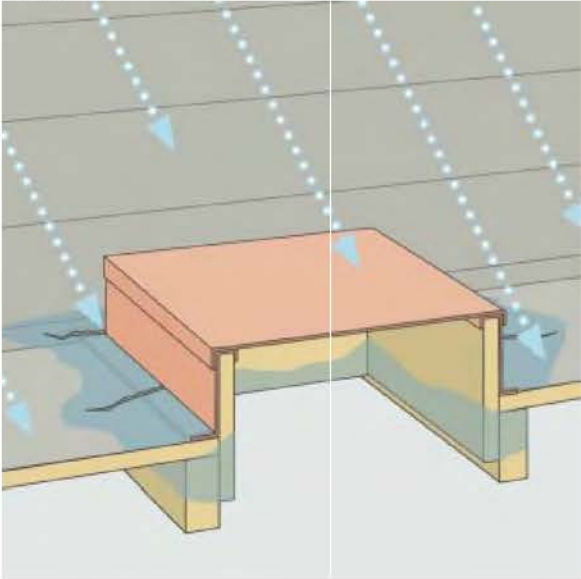
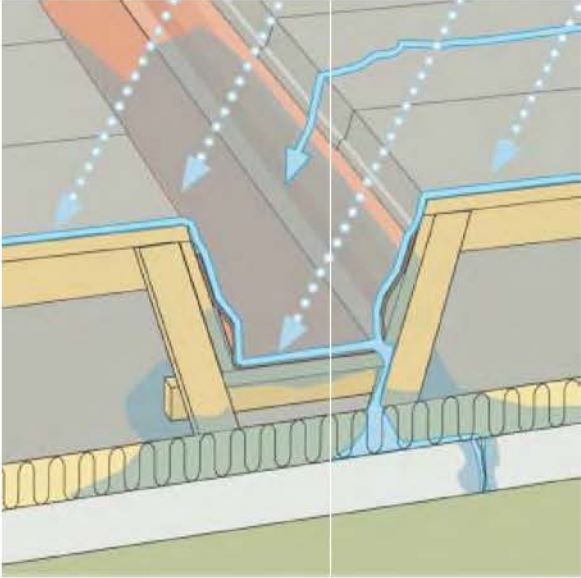
- Работы на кровле должны выполняться бригадой в составе не менее двух человек (желательно трое или больше).
- Перед выходом на кровлю необходимо проверить прочность несущих конструкций.
- Не наступайте на вздутия, часто встречающиеся на кровлях с битумным покрытием и с гравийной обсыпкой.
- Для экстренной связи необходимо иметь при себе мобильный телефон или портативную радиостанцию.
- При обследовании кровли в ночное время поставьте в известность местные правоохранительные органы и охрану предприятия.

27.3.3.3 Комментарии к типовым строительным конструкциям

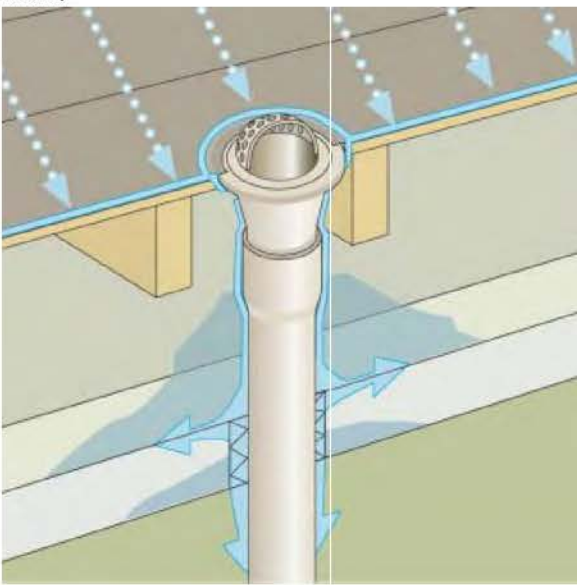
В этом разделе рассматриваются несколько типичных примеров, связанных с проблемами гидроизоляции плоских кровель промышленных сооружений.

Конструктивный чертёж	Комментарий
10653608;v2 	Неудовлетворительная герметизация кровельного ковра вокруг труб и вентиляционных каналов, ведущая к образованию местных протечек в примыканиях труб или вентиляционных каналов.

27 – Введение в термографию сооружений

Конструктивный чертёж	Комментарий
10663703;w2 	Неудовлетворительная герметизация кровельного ковра вокруг люка для выхода на кровлю.
10663803;w2 	Дренажные каналы располагаются слишком высоко и имеют недостаточный уклон. Часть дождевой воды будет оставаться в дренажном канале, что может привести к образованию местных протечек вокруг канала.

27 – Введение в термографию сооружений

Конструктивный чертеж	Комментарий
	Неудовлетворительная герметизация стыка кровельного ковра с водосточной воронкой может привести к образованию местных протечек вокруг водосточной воронки.

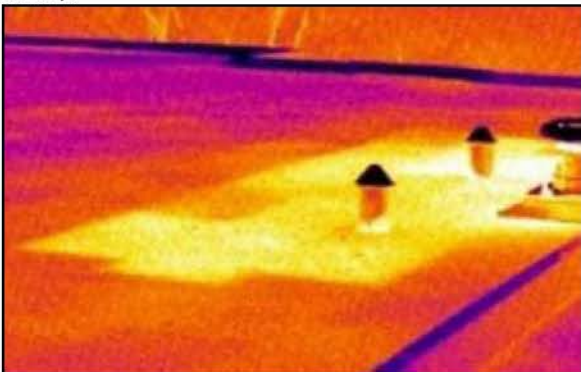
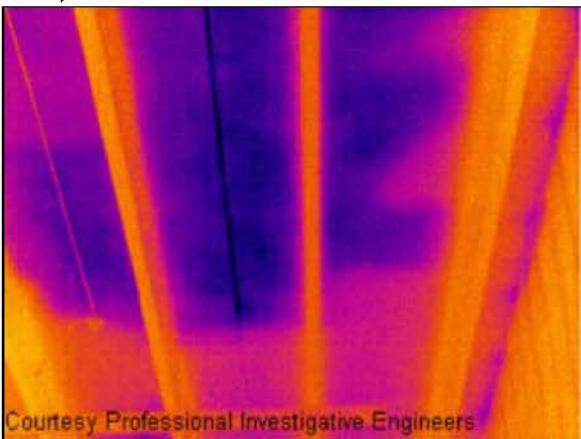
27.3.3.4 Комментарии к инфракрасным изображениям

Как можно обнаружить влажную теплоизоляцию под поверхностью кровли? Если сама по себе кровля, включая гравийную обсыпку или подушку, сухая, в солнечный день она прогреется целиком. С наступлением вечера, если на небе нет облачности, кровля начнет отдавать тепло за счет излучения. Поскольку влажная теплоизоляция имеет более высокую теплоемкость, чем сухая, она остывает медленнее, и поэтому хорошо видна на инфракрасной камере (см. снимки ниже). Эта методика особенно эффективна при обследовании кровель с водопоглощающей—например, древесноволокнистой, стекловолокнуистой или изготовленной из перлита—теплоизоляцией; в этом случае границы тепловых зон на изображении практически идеально совпадают с сырыми участками.

Результаты инфракрасного обследования кровли с изоляцией, не впитывающей влагу, которая часто используется в однослойных системах, труднее поддаются диагностированию, поскольку границы тепловых зон на изображении оказываются более размытыми.

В этом разделе приведены несколько типичных инфракрасных изображений, иллюстрирующих проблемы гидроизоляции плоских кровель промышленных сооружений.

27 – Введение в термографию сооружений

Термографическое изображение	Комментарий
10854003;a1 	Изображение влажного участка кровли, полученное в вечернее время. Поскольку влажные строительные материалы имеют более высокую теплоемкость, они остывают медленнее, чем соседние участки.
10854103;a1  Courtesy Professional Investigative Engineers	Пораженные сыростью элементы кровли и теплоизоляции, выявленные в результате инфракрасного сканирования нижней стороны составной кровли плоской крыши из конструкционного бетона. Из-за эффектов теплопроводности или теплоемкости пораженные участки имеют более низкую температуру по сравнению с соседними сухими участками.
10854203;a1 	Обследование плоской составной кровли промышленного сооружения в дневное время. Из-за эффектов теплопроводности или теплоемкости пораженные участки имеют более низкую температуру по сравнению с соседними сухими участками.

27.3.4 Выявление сырых мест (2): Фасады промышленных и жилых зданий

27.3.4.1 Общие сведения

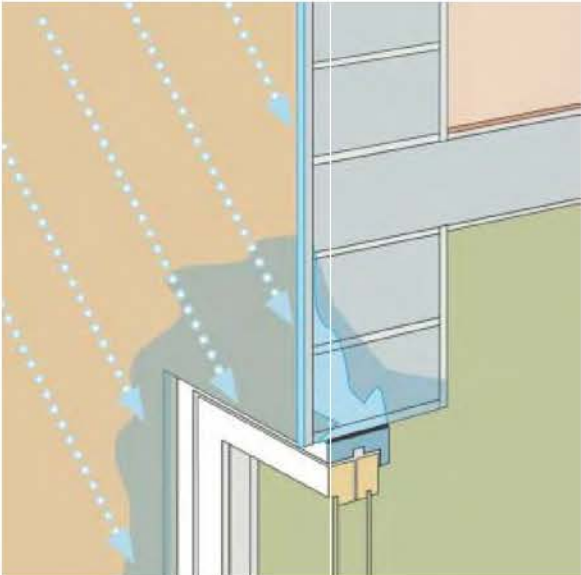
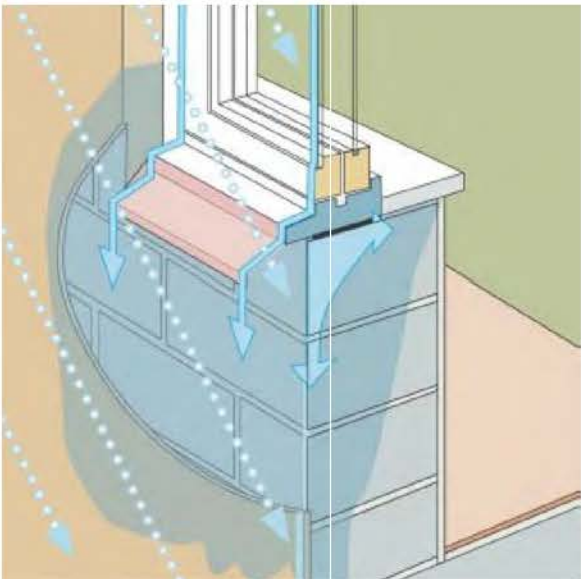
Повсеместно признаны неопределимые достоинства метода термографии при выявлении мест инфильтрации влаги на фасадах промышленных и жилых зданий. Этот метод, обеспечивающий наглядное представление путей проникновения

27 – Введение в термографию сооружений

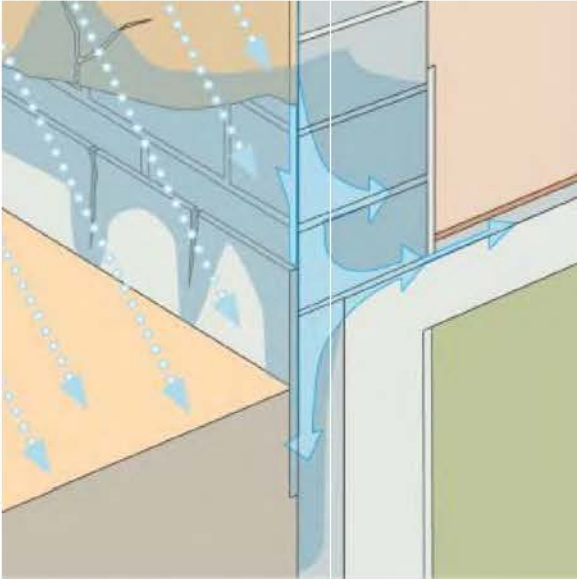
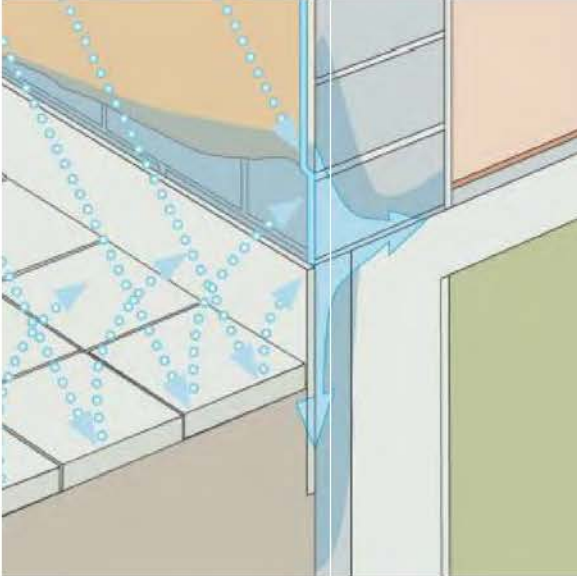
влаги, намного убедительнее, чем экстраполированные данные о точках размещения датчика влагомера, и намного экономичнее разрушающих методов контроля.

27.3.4.2 Комментарии к типовым строительным конструкциям

В этом разделе рассматриваются несколько типичных примеров, связанных с проблемами влагозащиты фасадов жилых и промышленных зданий.

Конструктивный чертёж	Комментарий
10554903; a2 	Проникновение влаги в некачественно выполненные горизонтальные швы кладки фасада во время проливного дождя. Влага накапливается в кладке над оконным проемом.
10554403; a2 	Дождевые капли попадают в оконный проем под углом. Основная часть дождевой воды стекает с гидроизоляции оконного проема, но некоторое количество попадает в кладку в месте прилегания гидроизоляции к штукатурке.

27 – Введение в термографию сооружений

Конструктивный чертёж	Комментарий
10654803; a2 	Дождевые капли попадают на фасад под углом и проникают в трещины в штукатурке. В результате вода проникает под штукатурку, что приводит к ее разрушению при промерзании.
10654803; a2 	Капли дождя попадают на фасад и проникают в штукатурку и кладку, что со временем приводит к их разрушению при промерзании.

27 – Введение в термографию сооружений

27.3.4.3 Комментарии к инфракрасным изображениям

В этом разделе приведены несколько типичных инфракрасных изображений, иллюстрирующих проблемы влагозащиты фасадов промышленных и жилых зданий.

Термографическое изображение	Комментарий
10864703; a1  Courtesy Professional Investigative Engineers	Неправильная заделка и герметизация облицовки каменной кладки в оконном проеме, а также отсутствие гидроизоляции привели к проникновению влаги в каверну в стене и попаданию ее внутрь помещения.
10864803; a1  Courtesy Professional Investigative Engineers	Капиллярная миграция влаги в гипсокартонные стенки и элементы внутренней отделки из-за неправильно выбранных зазоров и уклона при установке винилового сайдинга в жилом многоквартирном комплексе.

27.3.5 Выявление сырых мест (3): Настилы и балконы

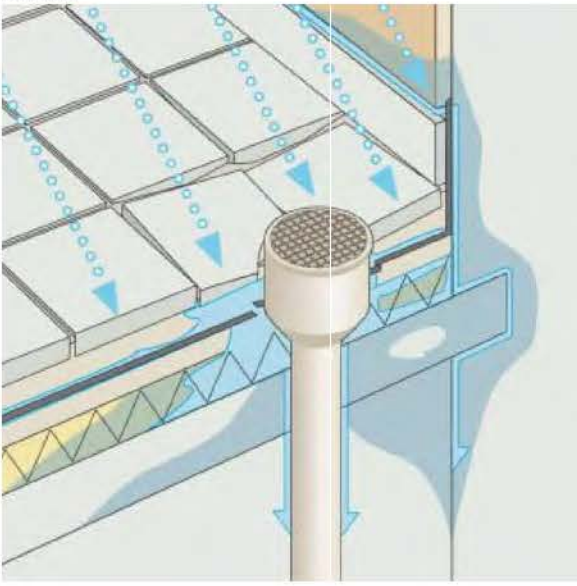
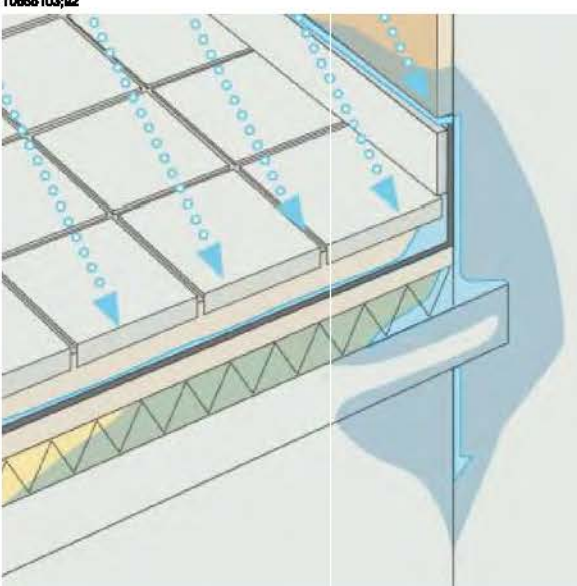
27.3.5.1 Общие сведения

Несмотря на различия в назначении, конструкции и используемых материалах, покрытия — площадок, дворов и т.п. — испытывают те же проблемы, связанные с сыростью и протечками воды, что и плоские кровли промышленных сооружений. Неправильная гидроизоляция, некачественная герметизация изолирующего покрытия и недостаточно эффективная дренажная система могут стать причиной серьезного повреждения находящихся ниже конструктивных элементов сооружений.

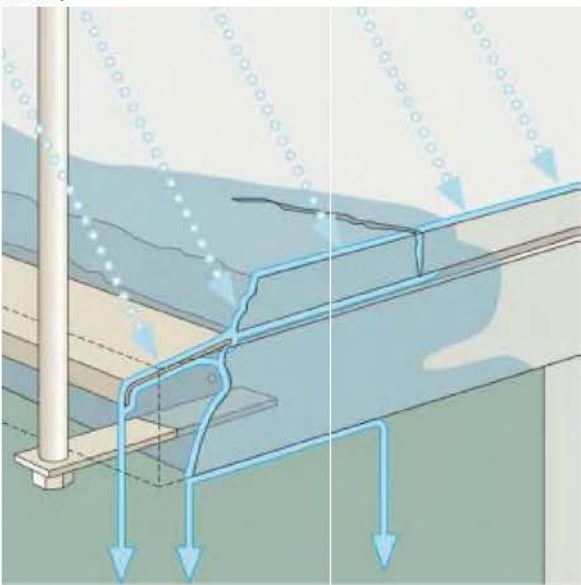
Балконы, несмотря на свои относительно небольшие размеры, требуют такого же внимания в отношении проектирования, выбора материалов и качества изготовления, как и любые другие конструктивные элементы сооружений. Балконы, как правило, имеют консольную конструкцию, поэтому сырость, вызывающая коррозию подкосов и арматуры железобетона, может стать серьезной проблемой и привести к возникновению опасных ситуаций.

27.3.5.2 Комментарии к типовым строительным конструкциям

В этом разделе рассматриваются несколько типичных примеров, связанных с проблемами влагозащиты настилов и балконов.

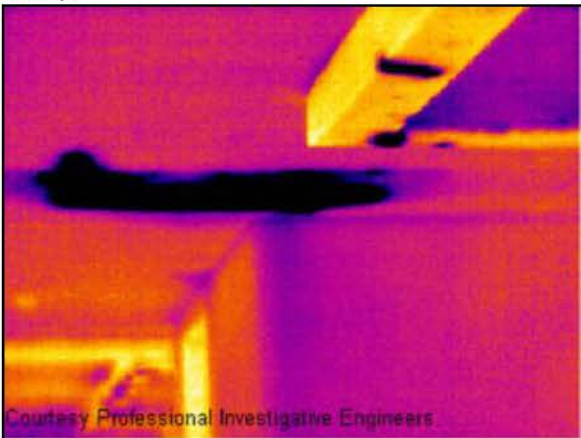
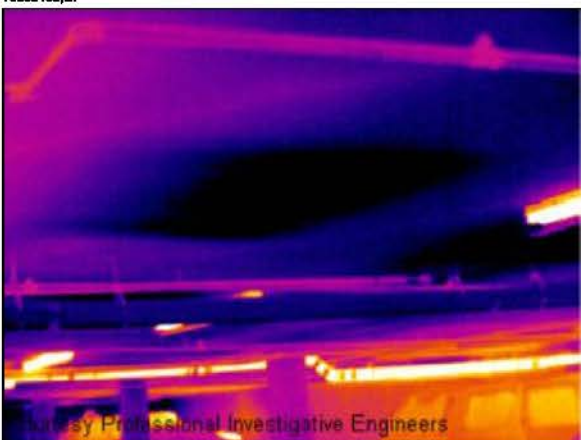
Конструктивный чертёж	Комментарий
 10555208;12	Неправильная герметизация стыков покрытия и мембраны с водостоком, приводящая к возникновению протечек во время дождя.
 10555103;12	Отсутствие гидроизоляции в примыкании покрытия к стене приводит к проникновению дождевой воды в бетон и материал теплоизоляции.

27 – Введение в термографию сооружений

Конструктивный чертеж	Комментарий
10659003;12 	Вода, проникающая в бетон из-за неправильного выбора размеров отлива, привела к разрушению бетона и коррозии арматуры. ОПАСНОСТЬ НЕСЧАСТНОГО СЛУЧАЯ!
10654803;12 	Вода проникла в штукатурку и находящуюся под ней кладку в месте крепления поручня к стене. ОПАСНОСТЬ НЕСЧАСТНОГО СЛУЧАЯ!

27.3.5.3 Комментарии к инфракрасным изображениям

В этом разделе приведены несколько типичных инфракрасных изображений, иллюстрирующих проблемы влагозащиты настилов и балконов.

Термографическое изображение	Комментарий
10655903; a1  Courtesy Professional Investigative Engineers	Неправильно выполненная гидроизоляция стыков между балконом и стеной и отсутствие дренажной системы по периметру привели к проникновению влаги в несущие конструкции деревянного каркаса проходного балкона мансардного этажа.
10655403; a1  Courtesy Professional Investigative Engineers	Отсутствие композитной дренажной плоскости или дренажного слоя над перекрытием подземной автостоянки привело к скоплению воды между бетонным перекрытием и покрытием площадки.

27.3.6 Выявление сырых мест (4): Разрывы водопроводно-канализационной системы и утечки

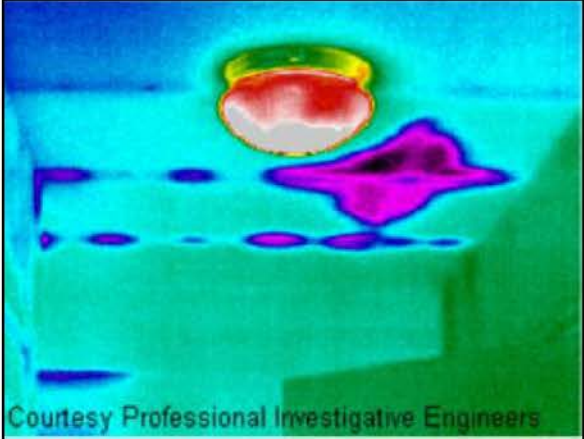
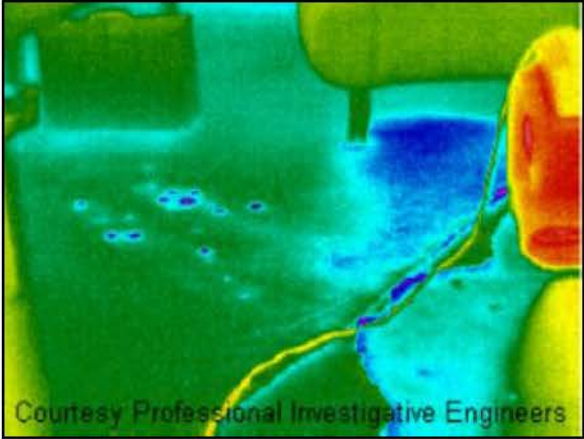
27.3.6.1 Общие сведения

Утечки при разрывах водопроводно-канализационной системы часто приводят к серьезным повреждениям строительных конструкций. Небольшие утечки трудно обнаружить, но при длительном воздействии — в течение многих лет — несущие стены и фундаменты могут прийти в такое состояние, когда сооружение уже не подлежит восстановлению.

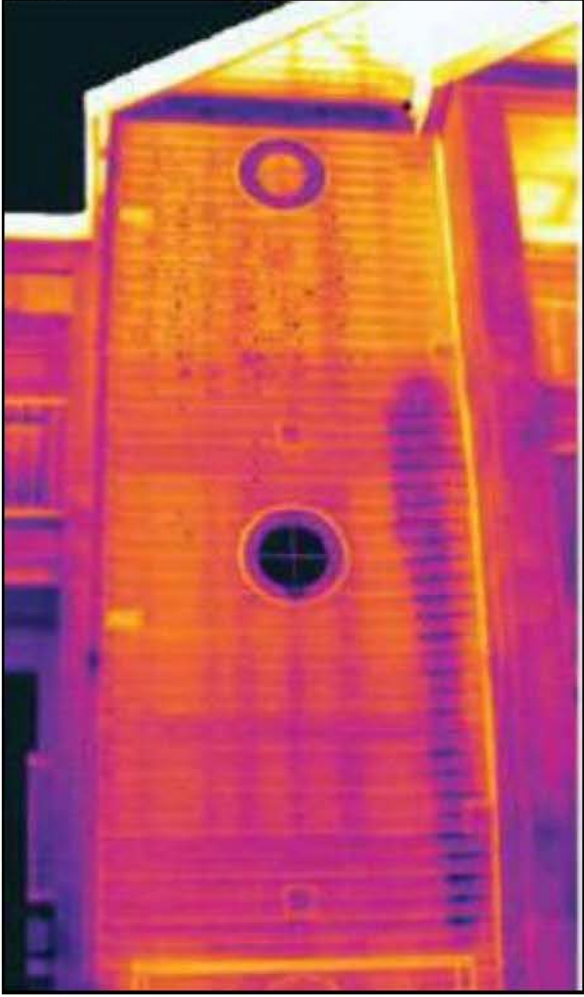
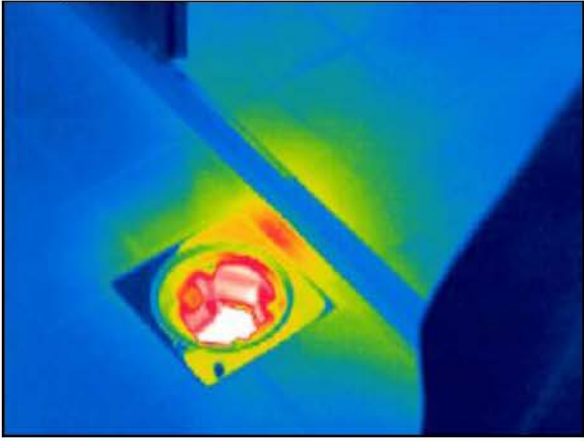
Использование термографической съемки здания при первом подозрении на разрывы и течи в водопроводно-канализационной системе позволяет во многих случаях значительно сократить расходы на материалы и трудозатраты.

27 – Введение в термографию сооружений**27.3.6.2 Комментарии к инфракрасным изображениям**

В этом разделе приведены несколько типичных инфракрасных изображений мест разрывов и утечек в водопроводно-канализационной системе.

Термографическое изображение	Комментарий
	Распространение сырости вдоль стальных балок в потолочном перекрытии частного дома в результате прорыва водопроводной линии.
	Вода из места утечки распространилась дальше, чем предполагал ремонтный подрядчик, выполняя вскрытие покрытий и установку осушителей.

27 – Введение в термографию сооружений

Термографическое изображение	Комментарий
10655703;a1 	На инфракрасном изображении этого трехэтажного многоквартирного дома, отделанного виниловым сайдингом, четко видна серьезная утечка внутри стены из стиральной машины, установленной на третьем этаже.
10655803;a1 	Протечка, возникшая из-за неправильной герметизации стыка между стоком в полу и кафельной плиткой.

27.3.7 Инфильтрация воздуха**27.3.7.1 Общие сведения**

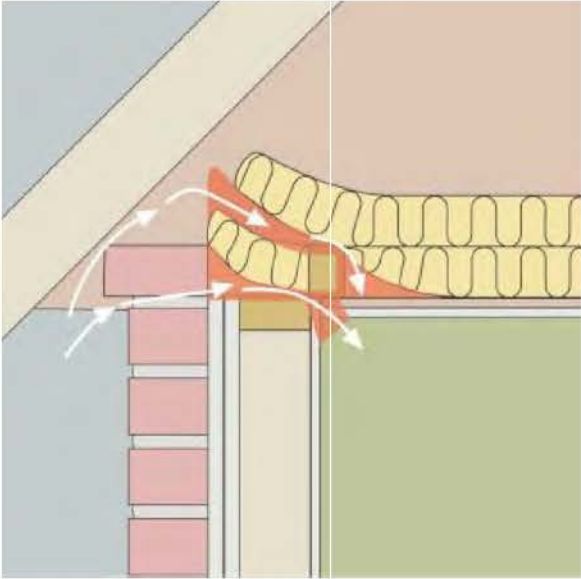
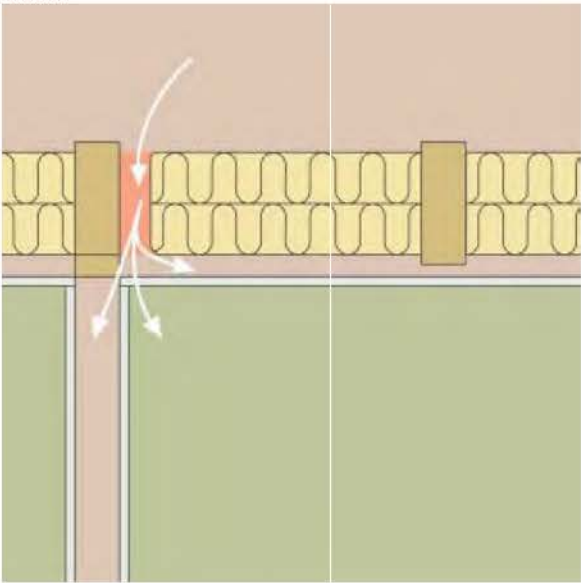
Ветровая нагрузка на здание, различие наружной температуры и температуры внутри здания, а также использование в большинстве зданий систем вытяжной вентиляции приводят к возникновению отрицательного перепада давления величиной 2–5 Па. Если из-за дефектов теплоизоляции или уплотнений здания этот отрицательный перепад давления приводит к проникновению в здание холодного наружного воздуха, возникает эффект, называемый *инфильтрацией воздуха*. Инфильтрация воздуха наиболее вероятна в швах и стыках строительных конструкций.

В связи с тем, что инфильтрация создает приток холодного воздуха, например в помещение, это может привести к существенному ухудшению микроклимата в этом помещении. Люди, находящиеся в помещении, как правило, замечают движение воздуха уже при скоростях от 0,15 м/с, хотя такие слабые потоки воздуха с трудом обнаруживаются стандартными измерительными приборами.

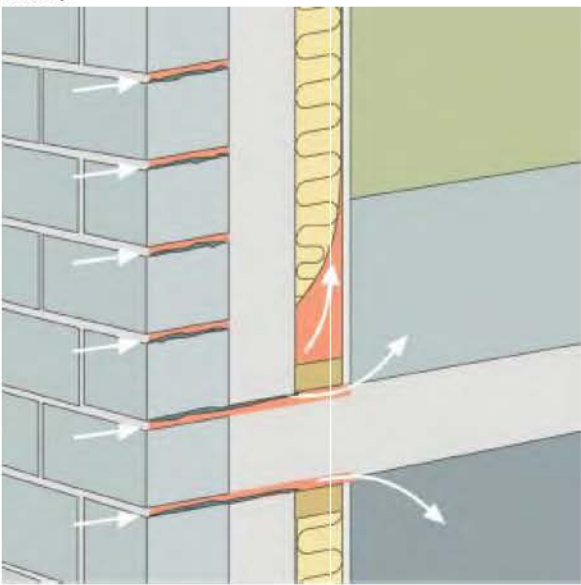
На инфракрасном изображении инфильтрацию воздуха можно обнаружить по характерным лучам, исходящим из точки выхода воздуха в строительной конструкции — например, из-за плинтуса. Кроме того, видимая температура в зонах инфильтрации воздуха обычно ниже, чем в зонах, имеющих просто неудовлетворительную теплоизоляцию. Это связано с охлаждающим эффектом воздушного потока.

27.3.7.2 Комментарии к типовым строительным конструкциям

В этом разделе приведены типичные примеры элементов строительных конструкций, в которых может наблюдаться инфильтрация воздуха.

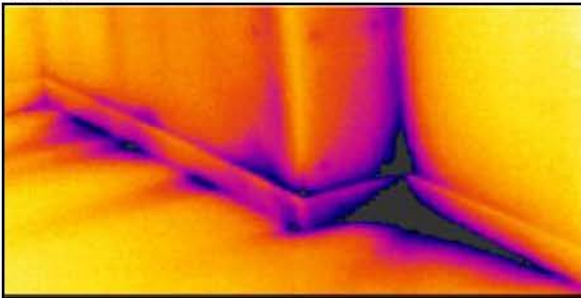
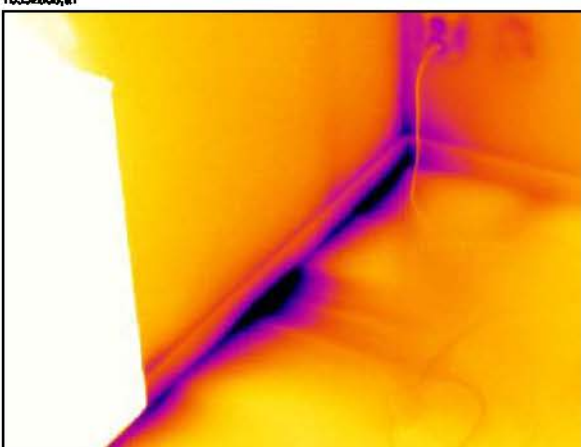
Конструктивный чертёж	Комментарий
10652303; a2 	Неудовлетворительная теплоизоляция в карнизе кирпичного дома из-за неправильно установленных стекловолокнистых изолирующих матов. Инфильтрация воздуха в помещение происходит из-под карниза.
10652303; a2 	Наличие щелей в теплоизоляции чердачного перекрытия из-за неправильной установки изоляционных матов из стекловолокна. Инфильтрация воздуха в помещение происходит из-под карниза.

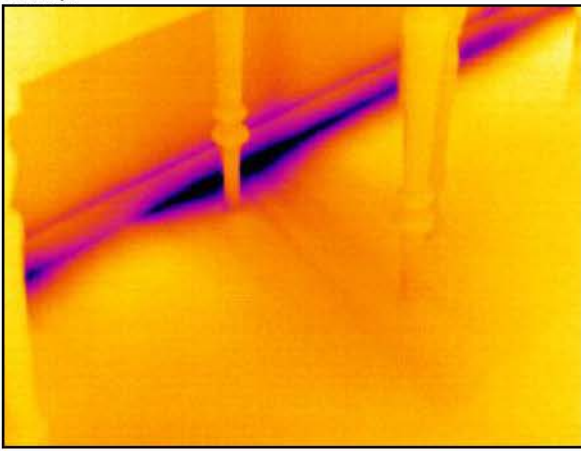
27 – Введение в термографию сооружений

Конструктивный чертёж	Комментарий
10552803;w2 	Инфильтрация воздуха в бетонном полупроходном техническом подполье из-за трещин в кирпичном фасаде здания. Инфильтрация воздуха в помещение происходит из-под плинтуса.

27.3.7.3 Комментарии к инфракрасным изображениям

В этом разделе приведены типичные инфракрасные изображения элементов строительных конструкций, в которых наблюдается инфильтрация воздуха.

Термографическое изображение	Комментарий
10552708;w1 	Инфильтрация воздуха из-под плинтуса. Обратите внимание на характерный рисунок излучения.
10552803;w1 	Инфильтрация воздуха из-под плинтуса. Обратите внимание на характерный рисунок излучения. Область белого цвета в левой части изображения — радиатор отопления.

Термографическое изображение	Комментарий
	Инфильтрация воздуха из-под плинтуса. Обратите внимание на характерный рисунок излучения.

27.3.8 Дефекты теплоизоляции

27.3.8.1 Общие сведения

Неудовлетворительная теплоизоляция не всегда приводит к инфильтрации воздуха. При неправильной установке изолирующих матов в строительных конструкциях образуются воздушные карманы. Поскольку теплопроводность таких карманов отличается от теплопроводности зон, в которых изолирующие маты установлены правильно, воздушные карманы могут быть обнаружены в ходе термографического обследования здания.

Практика показывает, что зоны с неудовлетворительной теплоизоляцией обычно имеют более высокую температуру, чем зоны, в которых наблюдается только инфильтрация воздуха.

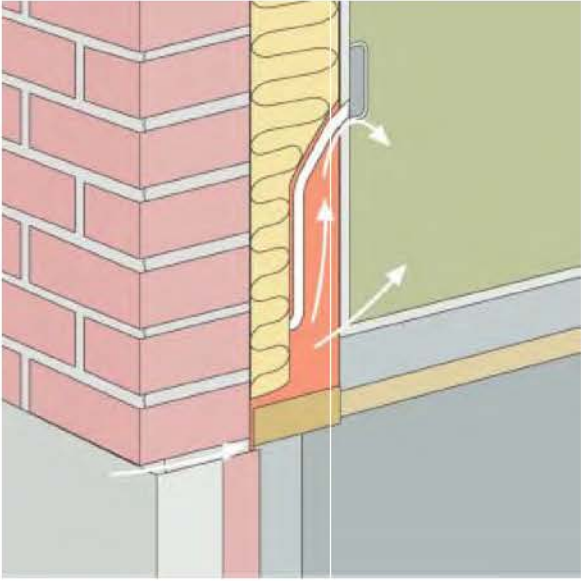
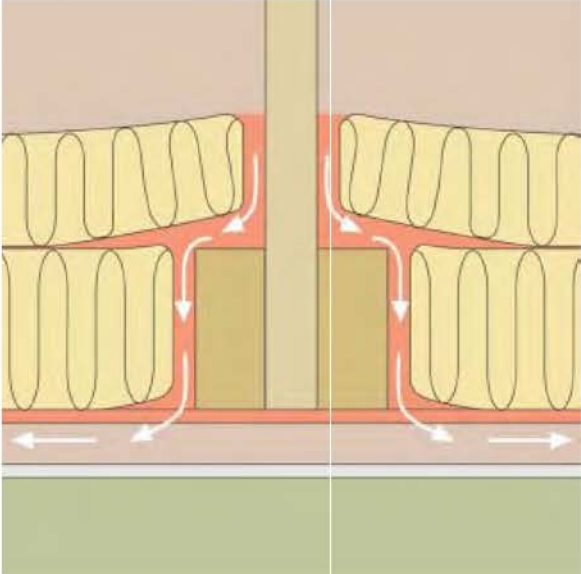
При выполнении термографического обследования зданий с целью выявления дефектов теплоизоляции следует учитывать, что некоторые элементы строительных конструкций на инфракрасном изображении могут выглядеть как зоны с неудовлетворительной теплоизоляцией, в том числе:

- Деревянные балки, стойки, стропила, брусья
- Стальные ригели и балки
- Водопроводные трубы внутри стен, потолков, полов
- Электрическая разводка внутри стен, потолков, полов — например, кабельные желоба, трубные кабелепроводы и т. п.
- Бетонные колонны внутри деревянных каркасных стен
- Вентиляционные каналы и воздуховоды

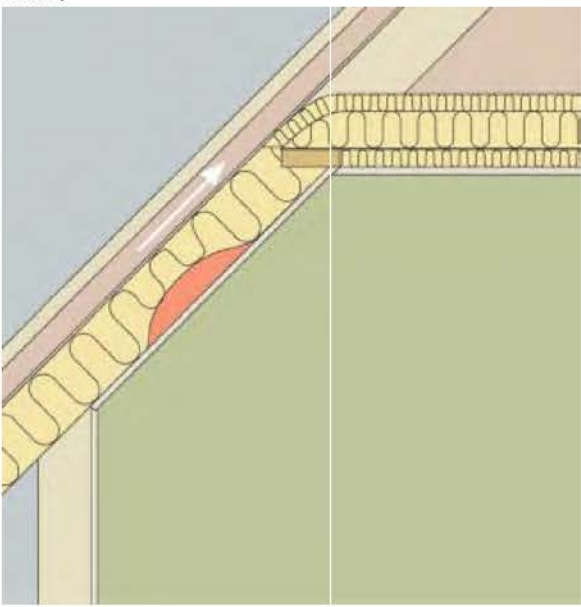
27 – Введение в термографию сооружений

27.3.8.2 Комментарии к типовым строительным конструкциям

В этом разделе приведены типичные примеры элементов строительных конструкций с дефектами теплоизоляции.

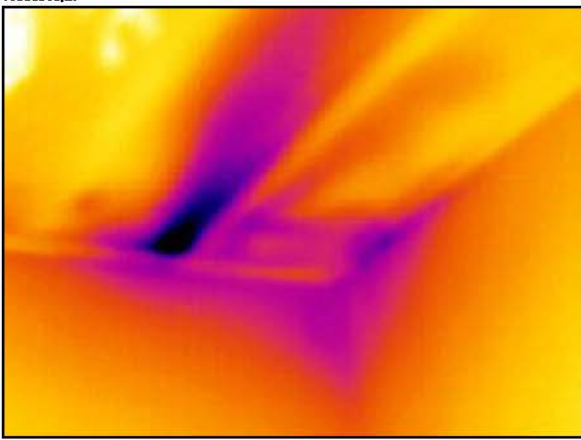
Конструктивный чертёж	Комментарий
10653203; a2 	Неудовлетворительная теплоизоляция (и инфильтрация воздуха) из-за неправильной установки изолирующих матов вокруг электрического ввода. На инфракрасном изображении дефекты изоляции такого типа выглядят как темные области.
10653103; a2 	Неудовлетворительная теплоизоляция из-за неправильной установки изолирующих матов вокруг балки чердачного перекрытия. Холодный воздух инфильтрирует в строение и охлаждает потолочное перекрытие изнутри. На инфракрасном изображении дефекты изоляции такого типа выглядят как темные области.

27 – Введение в термографию сооружений

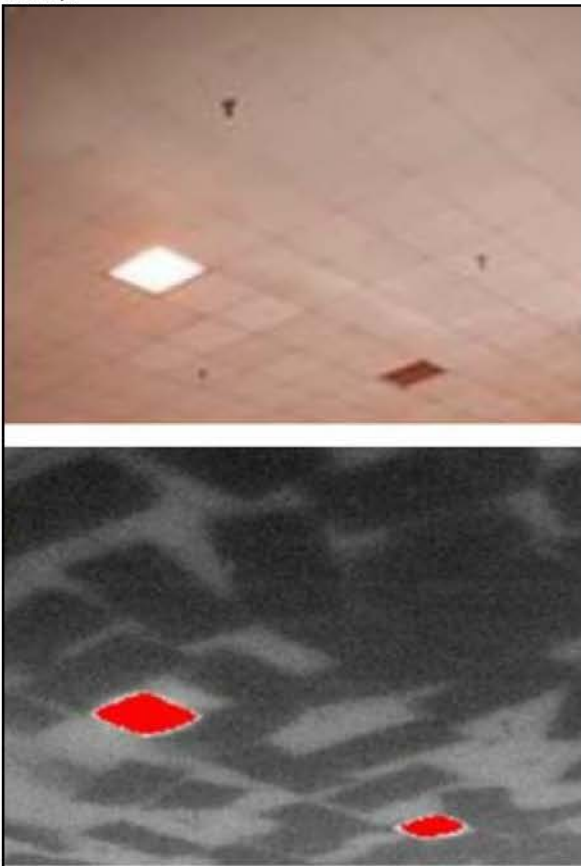
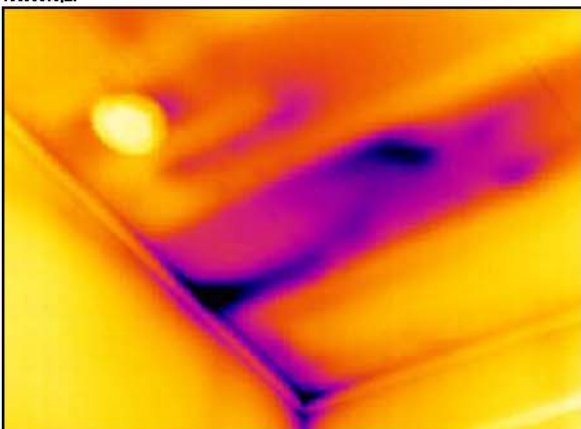
Конструктивный чертеж	Комментарий
10553003; a2 	Неудовлетворительная теплоизоляция из-за неправильной установки изолирующих матов, приведшей к образованию воздушных карманов с наружной стороны наклонного потолочного перекрытия. На инфракрасном изображении дефекты изоляции такого типа выглядят как темные области.

27.3.8.3 Комментарии к инфракрасным изображениям

В этом разделе приведены несколько типичных инфракрасных изображений дефектов теплоизоляции.

Термографическое изображение	Комментарий
10603303; a1 	Дефекты теплоизоляции в межэтажных перекрытиях. Причиной неудовлетворительной теплоизоляции может быть отсутствие или неправильная установка изолирующих матов (воздушные карманы).

27 – Введение в термографию сооружений

Термографическое изображение	Комментарий
10653403;a1 	Неправильно установленные стекловолоконные изолирующие маты в подвесном потолке.
10653503;a1 	Дефекты теплоизоляции в межэтажных перекрытиях. Причиной неудовлетворительной теплоизоляции может быть отсутствие или неправильная установка изолирующих матов (воздушные карманы).

27.4 Теоретические основы строительной науки

27.4.1 Общие сведения

В современных условиях существенно возросли требования к энергосберегающим характеристикам сооружений. Достижения в области энергосберегающих технологий наряду с требованием поддержания комфортного микроклимата в помещениях привели к существенному повышению внимания, которое уделяется обеспечению теплоизоляции и герметичности зданий, а также эффективности систем отопления и вентиляции.

Дефекты изоляции и нарушение герметичности в сооружениях с высокой степенью этих показателей может привести к значительным потерям энергии. Дефекты теплоизоляции и нарушение герметичности в здании ведут не только к росту расходов на отопление и содержание сооружения, но и к ухудшению внутреннего микроклимата в помещениях.

Качество теплоизоляции здания часто определяется в терминах теплового сопротивления или коэффициента теплового пропускания (величина U), устанавливаемых для различных частей здания. Однако заявленные значения теплового сопротивления трудно использовать в качестве меры фактических потерь энергии в здании. Утечки воздуха из негерметичных и плохо изолированных швов и стыков часто приводят к существенным отклонениям от расчетных и фактически полученных значений.

Проверка соответствия свойств различных материалов и элементов строительных конструкций заявленным характеристикам осуществляется в ходе лабораторных испытаний. Для того чтобы убедиться в том, что проектные параметры теплоизоляции и герметичности фактически достигнуты, необходимо проводить проверку и обследование сооружений после завершения их строительства.

В области проектирования зданий и сооружений термография используется для исследования температурных вариаций на поверхностях строительных конструкций. Вариации теплового сопротивления строительных конструкций при некоторых условиях могут проявиться в виде температурных вариаций на поверхностях этих конструкций. Утечки холодного (или теплого) воздуха также влияют на изменения поверхностной температуры. Это позволяет локализовать и исследовать дефекты теплоизоляции, тепловые мостики и точки утечки воздуха в наружных конструктивных элементах здания.

Термография сама по себе не позволяет количественно определять тепловое сопротивление или герметичность конструкции. Там, где это необходимо, следует использовать другие методы измерения. Термографический анализ сооружений возможен при соблюдении определенных условий, касающихся температурного режима и давления внутри и снаружи здания.

При изменении любого из этих параметров степень детализации, контрастность и форма областей инфракрасного изображения может варьировать достаточно резко. Поэтому исчерпывающий анализ и интерпретация термографических изображений требуют глубокого знания свойств материалов и конструкций, климатических эффектов и наиболее современных методик измерения. Для правильной оценки результатов измерений персонал, выполняющий измерения, должен соответствовать определенным требованиям в отношении квалификации и опыта, которые должны быть подтверждены, например путем лицензирования национальным или региональным органом стандартизации.

27.4.2 Результаты выполнения испытаний и проверок

Трудно предсказать заранее, насколько хорошо будут работать теплоизоляция и уплотнения в построенном здании. Существенное воздействие на конечный результат могут оказать многие факторы, влияющие на монтаж различных компонентов и строительных элементов. Нельзя заранее рассчитать воздействие таких факторов, как условия транспортировки, погрузки-разгрузки, хранения материалов и организации работ на строительной площадке. Проверка и обследование сооружений после завершения их строительства должны подтвердить фактическое достижение проектных параметров.

Применение современных технологий теплоизоляции привело к снижению теоретических значений количества теплоты, требуемого для отопления зданий. С другой стороны, это означает, что относительно небольшие дефекты, если они находятся в ключевых точках, например негерметичные стыки или неправильно установленная теплоизоляция, могут иметь существенные последствия как с точки зрения перерасхода тепла, так и с точки зрения комфортности микроклимата. Проверочные испытания, например с использованием термографии, подтвердили свою ценность как для проектировщиков, строительных подрядчиков и застройщиков, так и для менеджеров недвижимого имущества и пользователей.

- Для проектировщика важно получить данные о функционировании различных типов конструкций, чтобы учесть при их разработке как технологические, так и функциональные требования. Проектировщик также должен иметь данные о том, как работают различные материалы и их комбинации в реальных условиях. Достижение требуемых целей в этой области можно обеспечить с помощью эффективных методик испытаний и проверок, а также реализации принципов обратной связи с использованием практических данных.
- Строительный подрядчик заинтересован в проведении как можно большего количества испытаний и обследований, позволяющих убедиться в том, что конструкции выполняют заложенные функции, соответствующие действующим требованиям нормативных документов и контрактных обязательств. Подрядчику необходимо узнать на самых ранних этапах строительства о любых изме-

нениях, которые могут потребоваться для исключения систематических дефектов. Поэтому при реализации проектов массовой застройки проверки должны быть выполнены сразу после завершения работ на первых квартирах. Аналогичные проверки должны выполняться в течение всего строительства. Это позволит исключить систематические дефекты и избежать дополнительных затрат и проблем в будущем. Такие проверки выгодны как производителям, так и пользователям.

- Для застройщиков и менеджеров важно проверить здания с точки зрения экономии тепловой энергии, затрат на содержание (повреждения от сырости или инфильтрации влаги) и удобства для обитателей (например холодные поверхности и сквозняки в жилых помещениях).
- Для пользователя важно, чтобы готовый продукт отвечал заявленным характеристикам в отношении теплоизоляции и герметичности здания. Для частного лица приобретение дома связано с принятием значительных финансовых обязательств, поэтому покупатель хочет быть уверен, что выявленные строительные дефекты не станут причиной серьезных финансовых последствий или гигиенических проблем.

Влияние испытаний и проверки теплоизоляции и герметичности зданий частично лежит в физиологической области и частично — в финансовой.

Физиологическое восприятие микроклимата в помещении очень субъективно и зависит от теплового баланса тела конкретного человека и того, как он воспринимает окружающую температуру. Ощущение микроклимата зависит как от температуры воздуха в помещении, так и от температуры окружающих поверхностей. Кроме того, определенную роль играют скорость движения воздуха в помещении и содержание влаги в воздухе. Сквозняк создает физиологическое ощущение местного охлаждения поверхности тела в следующих случаях:

- чрезмерная циркуляция воздуха в жилых помещениях при нормальной температуре воздуха;
- нормальная циркуляция воздуха в жилых помещениях при пониженной температуре воздуха;
- существенный теплообмен с холодной поверхностью за счет излучения.

Трудно оценить количественный эффект испытания и проверки теплоизоляции здания.

Исследования показывают, что дефекты тепловой изоляции и уплотнений в здании могут привести к увеличению тепловых потерь на 20–30% относительно ожидаемых значений. Контроль потребления энергии до и после устранения выявленных дефектов в сравнительно обширных комплексах индивидуальной застройки и массивах многоквартирных домов подтверждает эти результаты. Приведенные цифры, возможно, нельзя применить ко всем сооружениям вообще,

поскольку имеющийся массив данных трудно назвать значительным по сравнению с общим количеством зданий. Тем не менее, по самым осторожным оценкам, эффективное испытание и проверка теплоизоляции и уплотнений здания могут обеспечить снижение энергопотребления приблизительно на 10%.

Кроме того, исследования показывают, что причиной повышенного энергопотребления, связанного с дефектами теплоизоляции и уплотнений здания, часто является то, что обитатели повышают температуру в помещениях на несколько градусов относительно нормального значения, пытаясь компенсировать раздражающие эффекты теплового излучения по направлению к холодным поверхностям или неприятные ощущения, вызываемые циркуляцией воздуха в помещении.

27.4.3 Источники помех при термографировании

При термографическом обследовании в нормальных условиях вероятность того, что дефекты теплоизоляции будут ошибочно приняты за естественные вариации U величины вдоль теплых поверхностей строительных конструкций, можно считать незначительной.

Вариации величины U , как правило, приводят к плавным изменениям температуры, симметрично распределенным по поверхности конструкции. Такого рода вариации имеют место на стыках, образуемых кровлей и перекрытиями, а также в углах стен.

Изображения температурных изменений, связанных с утечками воздуха или дефектами теплоизоляции, в большинстве случаев более выражены и имеют характерные резкие очертания. Границы температурной области обычно асимметричны.

В процессе термографирования и интерпретации инфракрасного изображения ценную информацию можно получить, сравнивая его с другими инфракрасными изображениями.

На практике при термографировании наиболее часто встречаются следующие источники помех:

- воздействие солнечных лучей на термографируемую поверхность (солнечные лучи, проникающие через окно);
- горячие радиаторы и трубы отопления;
- источники света, направленные на обследуемую поверхность или расположенные вблизи нее;
- воздушные потоки (например, от вытяжной вентиляции), направленные на поверхность;
- пятна сырости на поверхности.

Не следует осуществлять термографирование освещенных солнцем поверхностей. Если существует опасность воздействия солнечных лучей, оконные проемы следует закрыть (например, с помощью жалюзи). При этом необходимо учитывать, что некоторые строительные дефекты или неисправности (как правило, связанные с наличием сырости) могут быть выявлены только при нагреве поверхности, например под воздействием солнечных лучей.

Дополнительную информацию о выявлении мест, пораженных сыростью, см. в разделе 27.3.2 – Выявление сырых мест на стр. 90.

Горячий радиатор отопления на инфракрасном изображении выглядит как яркая светлая область. Повышенная температура стен вблизи радиатора может маскировать дефекты, находящиеся в этой зоне.

Для того чтобы исключить помехи от горячих радиаторов отопления, их можно ненадолго отключить перед началом измерений. В зависимости от конструкции здания (удельной массы) возможно потребуется отключить радиаторы отопления за несколько часов до начала термографического обследования. Не следует допускать значительного падения температуры воздуха в помещении — это может повлиять на распределение температур на поверхностях строительных конструкций. Тепловая постоянная времени электрических радиаторов невелика, поэтому после выключения они остывают достаточно быстро (в течение 20–30 минут).

Перед инфракрасной съемкой необходимо выключить источники света, освещающие стены.

В процессе термографического обследования необходимо принять меры для устранения мешающих воздушных потоков (например, из открытых окон, заслонок, от вентиляторов, направленных на обследуемую поверхность), которые могут воздействовать на термографируемые поверхности.

Наличие влаги на поверхностях, например образовавшейся в результате конденсации, совершенно определенным образом влияет на процессы теплопереноса и температуру поверхности. В результате испарения, которое, как правило, имеет место на влажных поверхностях, расходуется тепло, что приводит к снижению температуры поверхности на несколько градусов. Конденсация влаги на поверхности конструкций вероятна в тех местах, где имеются тепловые мостики и дефекты теплоизоляции.

Источники существенных помех описанного выше типа, как правило, можно выявить и устранить до начала измерений.

Если в процессе съемки не удастся защитить обследуемые поверхности от мешающих факторов, их следует учитывать при расшифровке и оценке результатов. В процессе термографирования необходимо подробно регистрировать условия, в которых выполняется каждое измерение.

27.4.4 Температура поверхности и утечки воздуха

Измерение температуры поверхности позволяет выявлять небольшие зазоры между элементами конструкций, ведущие к нарушению герметичности здания. Если давление в обследуемом здании ниже атмосферного, воздух проникает в здание через зоны утечки. Холодный воздух, проникающий через небольшие зазоры в стене, как правило, понижает температуру соседних участков. В результате с внутренней стороны стены образуется участок с более холодной поверхностью, имеющий характерную форму. Термография позволяет обнаруживать такие участки. Интенсивность движения воздуха у поверхности стены можно измерить с помощью индикатора скорости воздушного потока. Если давление внутри обследуемого здания выше атмосферного, теплый воздух из помещения будет выходить наружу через зазоры в стене, что приведет к образованию более теплых участков вокруг мест утечки.

Объемы утечки определяются размерами зазоров и величиной перепада давления.

27.4.4.1 Перепады давления в здании

Наиболее значительными факторами, влияющими на формирование перепадов давления на конструктивных элементах здания, являются:

- ветровой режим вблизи здания;
- работа вентиляционной системы;
- разность температур воздуха внутри и снаружи здания (тепловой перепад давления).

Фактическая величина давления внутри здания, как правило, определяется комбинацией этих факторов.

Результирующие перепады давления на различных конструктивных элементах здания можно проиллюстрировать с помощью рисунка на стр. 118. Нерегулярность воздействия ветра на здание означает, что на практике режим давления может оказаться достаточно сложным и непостоянным.

Для установившегося воздушного потока справедлив закон Бернулли:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

где

ρ	Плотность воздуха, кг/м ³
v	Скорость ветра, м/с
p	Статическое давление, Па

где:

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

обозначает скоростной напор, а p — статическое давление. Сумма этих составляющих давления дает результирующее давление.

Ветровая нагрузка на поверхность превращает динамическое давление в статическое давление на поверхность. Величина указанного статического давления, в частности, определяется геометрической формой данной поверхности и величиной угла, который она образует с направлением ветра.

Та часть скоростного напора, которая превращается в статическое давление на поверхность (p_{stat}), определяется так называемым коэффициентом концентрации давлений:

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

При ρ 1,23 кг/м³ (плотность воздуха при +15°C), получим следующие значения локального давления в потоке воздуха:

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Па}$$

27 – Введение в термографию сооружений

10651803;а1

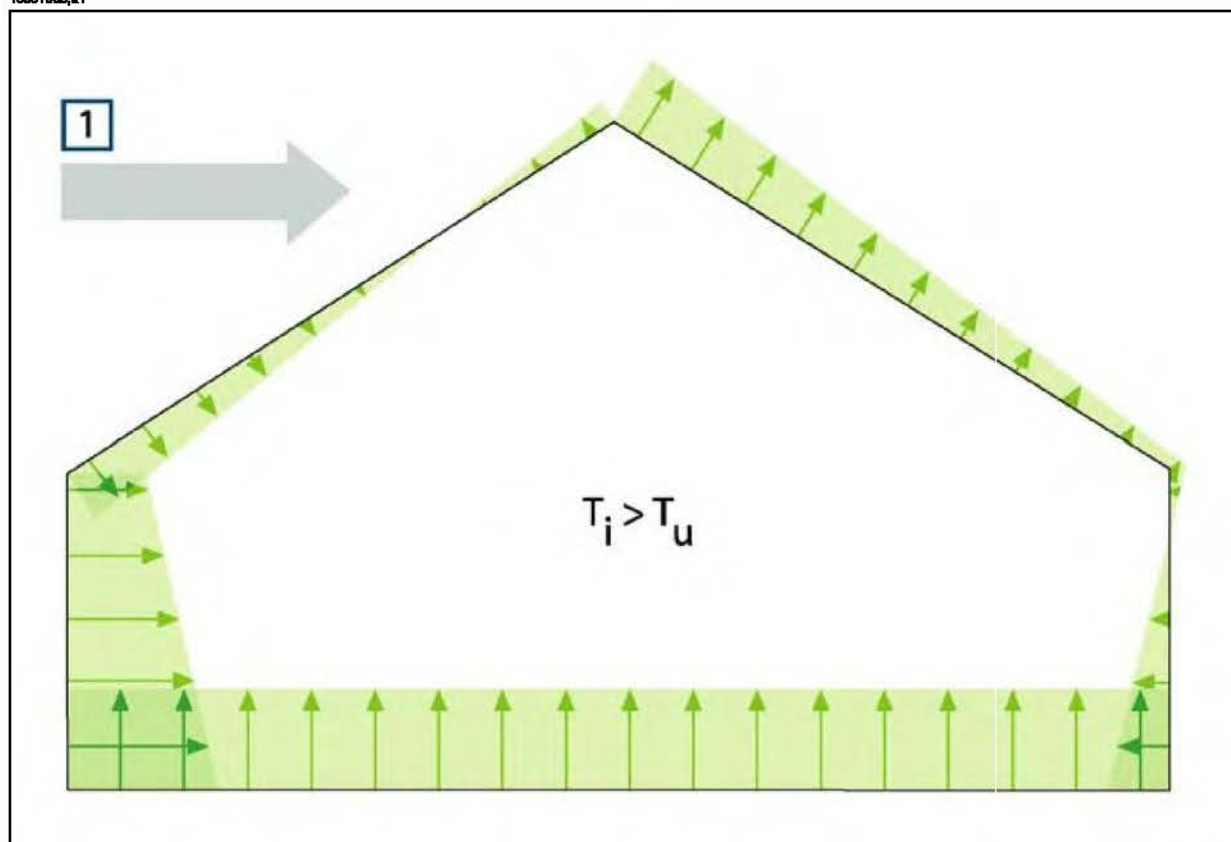


Рисунок 27.3 Результирующее распределение давления на внешних поверхностях здания зависит от влияния ветра, вентиляции и разности температур внутри и снаружи помещений. 1: Направление ветра; T_u : Термодинамическая температура воздуха снаружи помещения в К; T_i : Термодинамическая температура воздуха внутри помещения в К.

Если скоростной напор полностью переходит в статическое давление, то $C = 1$. Примеры распределения коэффициента концентрации давлений для здания при различных направлениях ветра показаны на рисунке на стр. 119.

Под воздействием ветра в здании формируется отрицательный перепад с наветренной стороны и положительный перепад — с подветренной. Величина давления внутри здания зависит от ветрового режима, наличия утечек и их расположения относительно направления ветра. При равномерном распределении утечек давление внутри здания может варьировать в пределах $\pm 0.2 p_{stat}$. Если большая часть утечек находится с наветренной стороны здания, давление внутри здания несколько возрастает. Напротив, если большая часть утечек находится с подветренной стороны здания, давление внутри здания падает.

10651003;а1

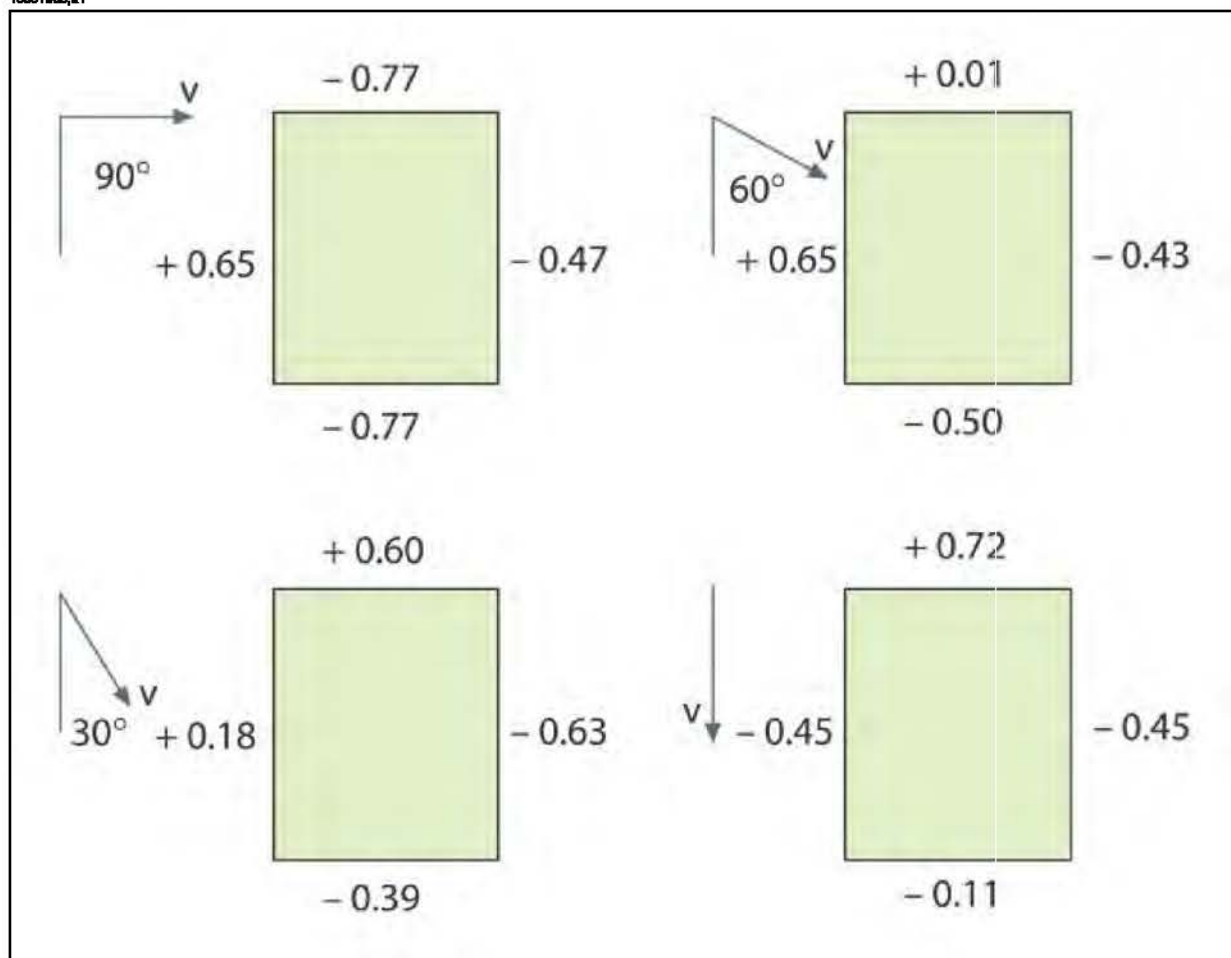


Рисунок 27.4 Примеры распределения коэффициента концентрации давлений (C) при различных направлениях и скоростях ветра (v) относительно здания.

Ветровой режим может существенно изменяться со временем; кроме того, он может быть совершенно различен в двух расположенных поблизости друг от друга местах. Такие вариации определенно отражаются на результатах измерений при термографировании.

Экспериментально доказано, что перепад давления на фасаде при средней скорости ветра около 5 м/с составляет приблизительно 10 Па.

Искусственная вентиляция создает внутри здания постоянный отрицательный или положительный (в зависимости от типа вентиляции) перепад давления. Исследования показали, что отрицательный перепад давления, создаваемый системой вытяжной вентиляции (кухонные вытяжные вентиляторы) в небольших домах, как правило, составляет от 5 до 10 Па. Там, где используется принудительное удаление вентиляционного воздуха, например в многоквартирных домах, отрицательный перепад давления выше и достигает 10–50 Па. В тех случаях, когда применяется так называемая уравновешенная вентиляция (комбинация

27 – Введение в термографию сооружений

принудительной приточной и вытяжной вентиляции) система управления, как правило, настраивается на создание небольшого отрицательного перепада давления (3–5 Па).

Перепад давления, возникающий из-за разности температур, так называемая "тяга" (зависимость плотности воздуха от его температуры), означает, что в нижней части здания создается пониженное давление, а в верхней части — повышенное. На определенной высоте возникает нейтральная зона, в пределах которой давление внутри здания равно наружному давлению; см. рисунок на стр. 121. Этот перепад давления можно описать следующим соотношением:

$$\Delta p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \text{ Па}$$

Δp	Перепад давления воздуха внутри здания, Па
g	9,81 м/с ²
ρ_u	Плотность воздуха, кг/м ³
T_u	Термодинамическая температура наружного воздуха, К
T_i	Термодинамическая температура воздуха в здании, К
h	Расстояние до нейтральной зоны, м

Если $\rho_u = 1,29 \text{ кг/м}^3$ (плотность воздуха при температуре 273 К и давлении $\approx 100 \text{ кПа}$), получаем:

$$\Delta p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

При разности температур воздуха внутри и снаружи здания в +25°C результирующее изменение перепада давления в здании составит приблизительно 1 Па на каждый метр высоты (= 3,28 Па/фут).

10652003;а1

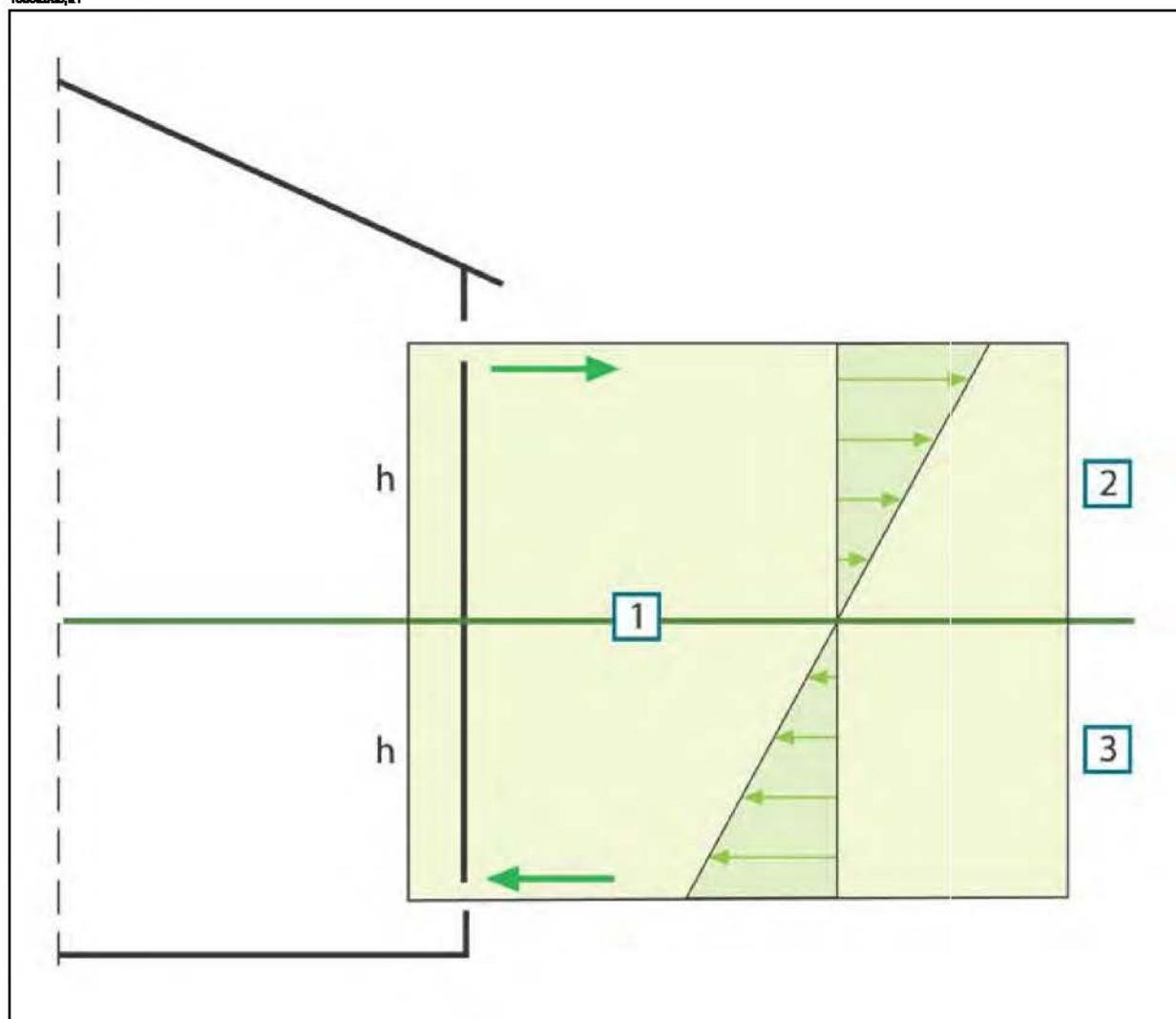


Рисунок 27.5 Распределение давления на здании с двумя проемами для случая, когда наружная температура ниже температуры внутри здания. 1: Нейтральная зона; 2: Положительное давление; 3: Отрицательное давление; h : Расстояние до нейтральной зоны, м.

Положение нейтральной зоны может изменяться в зависимости от наличия утечек в здании. Если утечки равномерно распределяются по вертикали, нейтральная зона будет располагаться приблизительно посередине высоты здания. Если утечки в основном сосредоточены в нижней части здания, нейтральная зона смещается вниз. Если утечки в основном сосредоточены в верхней части здания, нейтральная зона смещается вверх. Наличие дымохода с отверстием, находящимся над кровлей, существенно влияет на положение нейтральной зоны: в этом случае внутри всего здания может формироваться отрицательный перепад давления. Такая ситуация характерна для небольших зданий.

В более крупных зданиях, например в высоком здании промышленного назначения, при наличии утечек через двери и окна в нижней его части нейтральная зона располагается приблизительно на уровне трети высоты здания.

27.4.5 Условия и время измерений

Ниже описаны требования к условиям измерений при выполнении термографического обследования зданий.

При выполнении термографической съемки всегда стараются свести к минимуму помехи от внешних климатических факторов. Поэтому съемка выполняется внутри здания, т. е. в отапливаемых зданиях обследуют теплые поверхности строительных конструкций.

Наружная термографическая съемка выполняется только для получения контрольных измерений при обследовании больших фасадных поверхностей. Наружные измерения могут оказаться полезными в определенных случаях, например, при очень плохой теплоизоляции здания или при наличии положительного перепада давления внутри здания. Наружная термографическая съемка может оказаться целесообразной даже в том случае, когда обследуемая установка целиком располагается в зоне действия климатической системы здания.

Термографическую съемку рекомендуется выполнять в следующих условиях.

- Разность температур наружного воздуха и воздуха в соответствующей части здания должна составлять не менее $+10^{\circ}\text{C}$ в течение нескольких часов до начала съемки и в продолжение всей съемки. В течение того же периода времени указанная разность температур не должна меняться более чем на $\pm 30\%$ относительно того значения, которое эта разность имела в момент начала термографической съемки. Во время термографической съемки температура воздуха внутри помещения не должна меняться более чем на $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- В течение нескольких часов до начала съемки и во время съемки на соответствующую часть здания не должны попадать прямые солнечные лучи.
- Внутри здания должен существовать отрицательный перепад давления $\approx 10\text{--}50\text{ Па}$.
- При выполнении термографической съемки с целью локализации точек утечки воздуха в наружных секциях здания требования к условиям измерений могут быть снижены. Для выявления таких дефектов достаточной можно считать разность температур наружного воздуха и воздуха внутри здания в 5°C . При выявлении утечек воздуха, тем не менее, должны быть соблюдены требования в отношении перепада давления; достаточным можно считать перепад приблизительно в 10 Па .

27.4.6 Интерпретация инфракрасных изображений

Основная цель термографирования заключается в выявлении нарушений и дефектов теплоизоляции в конструкциях наружных стен и междуэтажных перекрытий, определении их происхождения и размеров. Задачу измерений можно также сформулировать таким образом: цель термографирования заключается в том,

чтобы выяснить, насколько обследуемая стена соответствует заявленным характеристикам теплоизоляции и герметичности. "Заявленные характеристики теплоизоляции" для стены данной конструкции можно привести к ожидаемому распределению температур на обследуемой поверхности, если условия измерения на момент съемки известны.

На практике используется следующая методика:

В ходе лабораторных или полевых испытаний получают данные об ожидаемом температурном распределении в виде типовых или контрольных инфракрасных изображений для наиболее распространенных стеновых конструкций, включая изображения бездефектных конструкций и конструкций, имеющих дефекты.

Примеры типовых инфракрасных изображений приведены в разделе 27.3 – Типовые процедуры полевого термографического обследования на странице 88.

Если инфракрасные изображения конструкций, полученные в ходе полевых измерений, предполагается использовать в качестве контрольных изображений, необходимо тщательно задокументировать данные о структуре конструкции, способе ее возведения, условиях и времени измерения.

Для того чтобы в процессе термографирования иметь возможность комментировать причины отклонений от ожидаемых результатов, необходимо располагать данными о физических и метрологических условиях и использованных конструктивных решениях.

Процедуру интерпретации инфракрасных изображений, полученных в ходе полевых измерений, можно кратко описать следующим образом.

Контрольное инфракрасное изображение для бездефектной конструкции выбирается исходя из конструкции обследуемой стены и условий, при которых выполнялись полевые измерения. После этого выполняется сравнение инфракрасного изображения обследуемого строительного элемента с выбранным контрольным инфракрасным изображением. Все различия, которые не могут быть объяснены конструкцией строения или условиями измерения, отмечаются как предполагаемые дефекты теплоизоляции. Происхождение и размеры дефекта, как правило, определяются путем сравнения с контрольными инфракрасными изображениями конструкций, содержащих дефекты различного типа.

При отсутствии подходящих инфракрасных контрольных изображений оценка и анализ выполняются на основе предыдущего опыта. Этот способ требует более точного обоснования выводов в процессе анализа.

В процессе анализа инфракрасного изображения необходимо обращать внимание на следующие моменты:

27 – Введение в термографию сооружений

- постоянство уровня яркости инфракрасных изображений участков поверхности, не имеющих тепловых мостиков;
- регулярность и местоположение охлажденных участков поверхности, например, в углах и местах установки стоек;
- контуры и характерные очертания областей охлажденной поверхности;
- измеренные значения разности температур участков конструкции с нормальной температурой поверхности и отмеченных охлажденных участков поверхности;
- непрерывность и монотонность изотерм на поверхности конструкции. В ПО камеры функция отображения изотерм называется «Изотерма» или «Цветовая сигнализация» (в зависимости от модели камеры).

Отклонения формы и нарушения регулярности элементов инфракрасного изображения часто указывают на наличие дефектов теплоизоляции. Очевидно, что вид инфракрасных изображений конструкций, имеющих дефекты теплоизоляции, может существенно различаться. Определенным типам дефектов теплоизоляции соответствуют характерные очертания на инфракрасных изображениях.

В разделе 27.3 – Типовые процедуры полевого термографического обследования на странице 88 приведены примеры интерпретации инфракрасных изображений.

В процессе термографического обследования здания инфракрасную съемку различных его участков следует выполнять при одних и тех же значениях параметров инфракрасной камеры. Это упростит последующее сравнение различных участков поверхности.

27.4.7 Влажность и точка росы

27.4.7.1 Относительная и абсолютная влажность

Влажность может быть определена двумя различными способами — как *относительная влажность* или как *абсолютная влажность*. Относительная влажность определяется как доля от максимально возможного содержания воды в определенном объеме воздуха при данной температуре и выражается в процентах, тогда как абсолютная влажность определяется как массовая доля воды в материале. Последний способ применяется при измерении влажности древесины и других строительных материалов.

Чем выше температура воздуха, тем больше объем воды, содержащейся в данном объеме воздуха.

27.4.7.2 Определение точки росы

Точка росы – это температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, будет конденсироваться в виде воды.

27.4.8 Выдержка из Технической записки 'Анализ тепловых мостиков и нарушений непрерывности теплоизоляции' (пример из Великобритании)

27.4.8.1 Авторы

Данная Техническая записка была написана рабочей группой, состоящей из специалистов по термографии и научных работников. Проводились также дополнительные консультации с другими специалистами и организациями, что способствовало широкому признанию данного документа во многих областях промышленности.

Содержание Технической записки воспроизводится с любезного согласия и с сохранением авторских прав Британской ассоциации термографии (UKTA).

Почтовый адрес UKTA: UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
United Kingdom

Тел.: +44 (0)1604 630124

Факс: +44 (0)1604 231489

27.4.8.2 Вступление

За последние годы наблюдается поразительно бурное развитие технических средств, приложений, программного обеспечения и научных исследований в области термографии. По мере того, как эта технология становилась общепринятой, возник соответствующий спрос на руководства по применению, курсы обучения и стандарты по термографии.

Ассоциация UKTA публикует данную Техническую записку с целью установления общего подхода в оценке результатов обследований в области 'нарушений непрерывности теплоизоляции'. Данная записка предназначена для использования специалистами по оцениванию в качестве руководства для обеспечения соответствия требованиям "Строительных нормы и правил", что позволит квалифицированным термографистам давать положительное или отрицательное заключение о соответствии.

27.4.8.3 Для справки

Термографические устройства способны различать колебания температуры с точностью до 0,1 К и создавать термографические изображения, которые наглядно отображают распределение температуры на различных поверхностях зданий.

27 – Введение в термографию сооружений

Различия в тепловых свойствах строительных конструкций, например неправильная стыковка или отсутствие отдельных теплоизоляционных блоков, приводят к изменению температуры на обеих сторонах конструкции. Термографическое устройство делает их видимыми. Однако существует много других факторов, например локальные источники тепла, отражения, нарушения герметичности, которые также приводят к колебаниям температуры поверхности.

Чтобы отличить дефекты строительных конструкций от других источников изменений температуры обычно требуется суждение специалиста. От термографистов все в большей степени требуется обоснование их заключений относительно тех или иных строительных конструкций, и в отсутствие соответствующего руководства может оказаться затруднительным определить допустимые или недопустимые уровни колебаний температуры.

Действующим стандартом по термографии зданий в Великобритании является стандарт BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Тепловые характеристики зданий – Количественное определение тепловых свойств оболочек зданий – Инфракрасный метод (ISO 6781:1983 с изменениями). Однако интерпретацию термографических изображений при этом выполняют специалисты по термографии, опираясь на свой профессиональный опыт. Стандарт не содержит рекомендаций, достаточных для определения границы между допустимыми и недопустимыми уровнями колебаний температуры. Указания, касающиеся ряда тепловых аномалий, содержатся в книге BINDT Guides to thermal imaging (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005 ("Руководство по тепловидению – Справочник по инфракрасной термографии"; том 1, Норман Уокер, Основные принципы и правила; том 2, А.Н. Новицки, Практическое применение).

27.4.8.3.1 Требования

Термографическое обследование, проводимое для выявления нарушений целостности теплоизоляции и областей тепловых мостиков, а также для соответствия здания строительным нормам и правилам, должно содержать следующую информацию:

- Тепловые аномалии.
- Необходимо различать тепловые аномалии, при которых причиной различия температур являются дефекты термоизоляции, и те, которые являются результатом посторонних факторов, например, локальных особенностей воздушных потоков, отражений и излучения объектов.
- Количественная оценка поврежденных областей в отношении областей со сплошной теплоизоляцией.

- Четкая оценка приемлемости конкретных аномалий и теплоизоляции здания в целом.

27.4.8.4 Количественная оценка тепловых аномалий

Термографическая съемка должна показать различия между отраженной температурой исследуемых областей в пределах поля зрения. Для практической пользы съемка должна систематически обнаруживать все видимые дефекты; затем они оцениваются с использованием стандартного набора критериев; аномалии, которые не соответствуют реальным дефектам, отбрасываются, затем оцениваются реальные дефекты и включаются в отчет для заказчика.

27.4.8.4.1 Выбор параметра критической температуры

В информационном листке BRE IP17/01 (Оценка эффектов тепловых мостиков в местах стыковки и вокруг отверстий – Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) приведены полезные указания по определению минимально допустимой температуры внутренних поверхностей с соответствующими значениями коэффициента критической температуры поверхности, f_{CRsi} . Использование температурного коэффициента позволяет проводить съемку в любой тепловой обстановке и показывает области, где возможна конденсация влаги или образование плесени, исходя из особенностей конструкции.

Конкретная температура поверхности во многом определяется температурой воздуха внутри и снаружи здания в момент съемки, но величина 'температурного коэффициента поверхности' (f_{Rsi}) не зависит от абсолютных значений температуры. Он равен отношению разности температур поперек строительной конструкции к общей разности температур воздуха внутри и снаружи здания.

При съемке внутренних поверхностей: $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e) / (T_i - T_e)$

T_{si} = температура внутренней поверхности

T_i = температура воздуха внутри здания

T_e = температура воздуха снаружи здания

Значение 0,75 считается приемлемым для f_{CRsi} при обследовании новых зданий, так как максимум эффективности не рассматривается при измерениях 'целостности теплоизоляции' или 'тепловых мостиков'. Однако при анализе результатов съемки внутренних поверхностей зданий после капитального ремонта и расширения, например, плавательных бассейнов, может потребоваться учет влияния нестандартных условий.

27.4.8.4.2 Альтернативный метод, использующий только поверхностные температуры

Имеются серьезные аргументы в пользу того, что при термографическом обследовании следует использовать только данные о поверхностных температурах без учета температуры окружающего воздуха.

- Стратификация внутри здания сильно затрудняет использование температуры воздуха внутри зданий в качестве опорной. Неясно, какую температуру следует использовать – среднюю, на уровне пола, потолка или на высоте тепловой аномалии, и на каком расстоянии от стены она должна быть измерена?
- Влияние излучения, например, излучение в сторону ночного неба, затрудняют определение температуры воздуха снаружи зданий. Весьма нередко внешняя поверхность строений имеет более низкую температуру, чем окружающий воздух, из-за явления излучения в сторону неба, температура которого бывает порядка -50°C . Это можно увидеть невооруженным глазом, наблюдая образование росы или инея на поверхностях зданий в условиях, когда температура окружающего воздуха выше точки росы.
- Необходимо заметить, что концепция значений U базируется на 'температурах окружающей среды' по обе стороны строительной конструкции. Этот факт часто не учитывается неопытными исследователями.
- Два значения температуры, которые напрямую связаны с переносом тепла сквозь строительную конструкцию (или любое твердое тело), – это температуры поверхности на каждой стороне конструкции.
- Поэтому использование этих температур поверхностей дает более воспроизводимые результаты.
- В качестве температур поверхностей используются средние поверхностные температуры участков из одного материала вблизи аномалии, измеренные внутри и снаружи строительной конструкции. С учетом температуры самой аномалии и, используя коэффициент критической температуры поверхности, можно установить пороговый уровень, который зависит от указанных значений температуры.
- Приведенные выше аргументы не исключают необходимость учитывать отражения от объектов, имеющих необычные температуры и находящихся на участках, расположенных напротив поверхностей здания.
- Необходимо также провести сравнение наружных поверхностей здания, направленных в разные стороны горизонта, чтобы определить влияние остаточного солнечного тепла на их температуру.
- Съемку наружных поверхностей нельзя проводить, если $T_{si} - T_{so}$ поверхности более чем на 10% превышает $T_{si} - T_{so}$ поверхности, направленной на север или ближе всех к северу.

- Для дефектов, которые в IP17/01 рассматриваются как нарушение теплоизоляции согласно условию 0,75, коэффициент критической температуры поверхности равен 0,78 для внутренней поверхности и 0,93 для наружной поверхности.

В таблице ниже приведены температуры внутренней и наружной поверхностей при аномалии, которая приводит к нарушению теплоизоляции согласно IP17/01. Она также показывает постепенное разрушение теплоизоляции, которое является необходимым условием для создания подобной ситуации.

Пример с легковесной металлической облицовкой с нарушениями теплоизоляции	Хороший участок	Участок с нарушениями
Наружная температура в °C	0	0
Температура внутренней поверхности в °C	19,1	15,0
Температура наружной поверхности в °C	0,3	1,5
Коэффициент поверхности согласно IP17/01	0,95	0,75
Коэффициент критической температуры поверхности согласно IP17/01		0,92
Толщина изоляции для обеспечения такого действия, мм	80	5,1
Локальное значение U в Вт/м²K	0,35	1,92
Коэффициент поверхности TN1 согласно UKTA		0,78
Коэффициент поверхности TN1 UKTA снаружи		0,93

Примечания к таблице

1 Значения теплового сопротивления поверхности, взятые из ADL2 2001:

- Внутренняя поверхность 0,13 м²K/Вт
- Наружная поверхность 0,04 м²K/Вт

Источником данных является стандарт BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Составные части и элементы зданий – Тепловое сопротивление и тепловое пропускание – Метод расчета).

2 Теплопроводность изолирующего материала принята равной 0,03 Вт/м K.

3 Разность температур между аномалией и нормальными участками составляет 1,2 градуса снаружи и 4,1 градуса внутри здания.

4 Температурный коэффициент поверхности UKTA TN1 при внутренней съемке определяется по формуле:

$$F_{si} = (T_{sia} - T_{so}) / (T_{si} - T_{so})$$

где

T_{sia} = температура внутренней поверхности в области аномалии

27 – Введение в термографию сооружений

T_{so} = температура наружной поверхности (нормальный участок)

T_{si} = температура внутренней поверхности (нормальный участок)

5 Температурный коэффициент поверхности UKTA TN1 при наружной съемке определяется по формуле:

$$F_{so} = (T_{soa} - T_{si}) / (T_{so} - T_{si})$$

где T_{soa} = температура наружной поверхности в области аномалии

27.4.8.4.3 Выбор максимально допустимой площади дефектов

Максимально допустимая площадь дефектов является параметром, относящимся к области контроля качества. Можно привести доводы в пользу того, что участки, где возможны конденсация влаги, образование плесени или нарушения теплоизоляции, должны отсутствовать вообще, и малейшие факты обнаружения таких аномалий должны быть включены в отчет. Однако согласно общепринятому мнению, 0,1% видимой поверхности здания считается допустимым пределом для суммарной площади дефектов в соответствии со строительными нормами и правилами. Это соответствует одному квадратному метру из каждой тысячи.

27.4.8.4.4 Измерение температуры поверхности

Для измерения температуры поверхностей используются системы тепловидения. Оператор с достаточной квалификацией в состоянии определить, учитывать и включить в отчет изменения коэффициентов излучения и отражения исследуемых поверхностей.

27.4.8.4.5 Измерение площади дефектов

Измерения площади дефекта можно выполнить, считая количество пикселей с использованием программ анализа термоизображений, или с помощью большинства пакетов для табличных вычислений при обеспечении следующих условий:

- Расстояние между камерой и объектом съемки должно быть точно измерено, например с помощью лазерной системы
- При выборе расстояния до цели необходимо учитывать величину МПЗ системы формирования изображения
- Необходимо учитывать любые угловые отклонения от перпендикулярного направления между камерой и исследуемой поверхностью.

Здания содержат многочисленные конструктивные элементы, которые не представляют интереса для количественного термографического анализа, например окна, фонари верхнего света, источники света и тепла, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, трубы и электропроводка. Однако места стыка этих элементов с оболочкой здания должны рассматриваться в ходе обследования.

27.4.8.5 Условия и оборудование

Для достижения оптимальных результатов при термографической съемке теплоизоляции зданий важно учитывать условия окружающей среды и использовать наиболее подходящее для конкретной задачи оборудование.

Метод тепловидения позволяет обнаружить аномалии теплоизоляции, если имеется разность температур и учтены условия окружающей среды. Как минимум, должны соблюдаться следующие условия:

- Разность температур поперек строительной конструкции должна быть больше 10°C.
- Разность температур воздуха внутри и снаружи здания должна быть больше 5°C в течение последних двадцати четырех часов до съемки.
- Температура воздуха снаружи здания должна измениться не более, чем на $\pm 3^\circ\text{C}$ в течение всей съемки и в течение одного часа до съемки.
- Температура воздуха снаружи здания должна измениться не более, чем на $\pm 10^\circ\text{C}$ в течение двадцати четырех часов, предшествующих съемке.

Кроме того, для съемки наружных поверхностей должны соблюдаться следующие условия:

- Исследуемые поверхности не должны быть освещены прямыми солнечными лучами, и в них должны отсутствовать остаточные эффекты солнечного излучения. Это можно проверить путем сравнения температур противоположных сторон здания.
- Должны отсутствовать атмосферные осадки непосредственно перед началом и в течение съемки.
- Необходимо убедиться в сухости исследуемых поверхностей.
- Скорость ветра не должна превышать 10 м/сек.

Кроме температуры воздуха имеются также другие условия окружающей среды, которые должны учитываться при планировании термографической съемки зданий. Например, на результаты наружной съемки могут повлиять излучения и отражения от соседних зданий, чистое холодное небо и, в гораздо большей степени, нагрев поверхностей солнечным излучением.

Кроме того, в условиях съемки как внутренних, так и наружных поверхностей, когда температура фона отличается от температуры воздуха более чем на 5 К, следует провести измерения температуры фона для всех поверхностей, которые подвергаются ее влиянию, чтобы обеспечить необходимую точность измерения температуры поверхности.

27.4.8.6 Съёмка и анализ

Ниже приводятся некоторые рекомендации для операторов-термографистов.

При съёмке необходимо собрать достаточное количество термографической информации, чтобы обеспечить данные со всех поверхностей здания для выявления, анализа и включения в отчет всех имеющихся тепловых аномалий.

Вначале необходимо собрать информацию по окружающей среде, впрочем, как и в любой термографической съёмке, включая следующие данные:

- Температура внутренней поверхности в области аномалии.
- Температура наружной поверхности в области аномалии.
- Коэффициент излучения поверхности.
- Температура фона.
- Расстояние до поверхности.

Используемая пороговая температура, которая определяется методом интерполяции.

- Для съёмки внутренних поверхностей пороговая температура поверхности (T_{sia}) равна $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$. Оператор должен искать участки, температура которых ниже этого порога.
- Для съёмки наружных поверхностей пороговая температура поверхности (T_{soa}) равна $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$. Оператор должен искать участки, температура которых выше этого порога.

Методика получения изображений аномалий должна обеспечить их последующий анализ:

- Границы изображения должны быть параллельны границам стен или крыши.
- Необходимо обеспечить угол зрения ближе к перпендикуляру от снимаемой поверхности. По возможности, следует исключить из изображения источники инфракрасного излучения – осветительные лампы, нагревательные приборы, электрооборудование и отражающие тела.

Методика анализа в некоторой степени зависит от используемого программного обеспечения, но должна содержать следующие основные этапы:

Получите изображение каждой аномалии или группы аномалий.

- С помощью программных средств выделите область аномалии в пределах изображения, стараясь исключить детали строительной конструкции, которые не имеют к ней отношения.

- Вычислите площадь области с температурой ниже пороговой температуры для внутренней съемки и выше пороговой температуры для наружных съемок. Полученные результаты соответствуют площади дефекта. Некоторые аномалии, которые казались дефектами во время съемки, на этом этапе могут не проявлять характер дефектов.
- Сложите площади дефектов, полученные в результате обработки всех изображений $\sum A_d$.
- Вычислите площадь всех видимых поверхностей здания. При этом необходимо сложить значения площади всех стен и крыши. Обычно используется площадь наружной поверхности здания. Для зданий простой геометрической формы используются значения общей длины, ширины и высоты.
$$A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$$
- Определите критическое значение для площади дефектов A_c . Условно она определяется, как одна тысячная или 0,1% общей площади здания.
$$A_c = A_t/1000$$
- Если $\sum A_d < A_c$, можно считать, что здание обеспечивает "приемлемо непрерывную" теплоизоляцию.

27.4.8.7 Составление отчета

Отчеты должны удостоверять оценку годности или негодности теплоизоляции, соответствовать требованиям заказчика и содержать данные, как минимум в объеме, указанном в стандарте BSEN 13187. Для повторения обследования после завершения работ по устранению дефектов обычно требуется следующая информация.

- Исходные данные о цели исследования и принципах его проведения.
- Место, направление, дата и время съемки.
- Уникальное идентификационное обозначение.
- Фамилия и квалификация оператора, проводившего съемку.
- Тип здания.
- Погодные условия, скорость и направление ветра, время последних осадков, характеристики солнечного освещения и облачности.
- Температура окружающего воздуха внутри и снаружи здания в начале съемки и в момент получения каждого изображения. Необходимо указать значения температуры воздуха и температуры излучения.
- Указание любых отклонений параметров измерения от соответствующих требований.
- Используемое оборудование, дата последней калибровки, известные дефекты.
- Фамилия, квалификация и членство в известных организациях специалиста по измерениям.
- Тип, размеры и местоположение каждого наблюдаемого дефекта.
- Результаты любых дополнительных измерений и исследований.
- Отчеты должны индексироваться и архивироваться термографистами.

27.4.8.7.1 Объективные условия и ограничения

При выборе между внутренней и наружной съемкой необходимо учитывать следующие условия:

- Доступ к поверхности. Здания с закрытыми внутренними и внешними поверхностями, например подвесными потолками, стеллажами или материалами, уложенными рядом со стенами, не подлежат обследованию по изложенной здесь методике.
- Расположение теплоизоляции. Съемки с той стороны, которая ближе к теплоизолирующему слою, обычно более эффективны.
- Расположение тяжелых материалов. Съемки с той стороны, которая ближе к тяжелым материалам, обычно менее эффективны.
- Цель съемки. Если съемка предназначена для выявления мест возможной конденсации влаги или образования плесени, необходимо проводить внутреннюю съемку.
- Расположение стекла, металлов и других материалов с высокой отражающей способностью. Съемки на сильно отражающих поверхностях обычно менее эффективны.
- Разность температур, обусловленная наличием дефекта, обычно менее заметна на наружной стене, которая подвержена влиянию движений окружающего воздуха. Однако отсутствие или дефект теплоизоляции, расположенной ближе к наружной поверхности, часто легче обнаруживать при наружной съемке.

28 Введение в термографический контроль электроустановок

28.1 *Важное примечание*

Некоторые функции и характеристики, описанные в данном разделе, могут не поддерживаться конкретной конфигурацией вашей камеры.

В каждой стране действуют свои электротехнические правила и нормы. По этой причине процедуры электротехнического контроля, описанные в этом разделе, могут отличаться от стандартных процедур той страны, в которой будут использоваться эти тепловизионные камеры. Кроме того, во многих странах мира к проверке электрооборудования допускаются лица, имеющие официальное разрешение. Поэтому до начала любых работ, связанных с электрооборудованием, необходимо детально ознакомиться с соответствующими государственными и региональными электротехническими нормами и стандартами.

28.2 *Общие сведения*

28.2.1 *Вступление*

В настоящее время термография является хорошо зарекомендовавшим себя методом, применяемым для проверки электроустановок. Это было первым и наиболее широко распространенным применением термографии. Сама инфракрасная камера пережила период бурного развития, и в настоящий момент мы можем утверждать, что уже 8-е поколение термографических систем стало доступным для пользователей. Все началось в 1964 г., более 40 лет назад. А сейчас метод признан во всем мире. Он широко применяется как в индустриально развитых, так и в развивающихся странах.

В течение последних десятилетий термография в сочетании с вибрационным анализом являлась основным методом полной диагностики промышленных установок для выполнения программ профилактического технического обслуживания. Главное преимущество указанных методов состоит в том, что они не только позволяют выполнять проверку установок в процессе их эксплуатации; в действительности работа установки в режиме нормальной эксплуатации является предпосылкой для выполнения точных измерений, таким образом остановки производственного процесса не требуется. Термографический контроль электроустановок применяется в трех основных отраслях:

- Производство электроэнергии
- Передача электроэнергии

- Распределение электроэнергии, т.е. промышленное использование электроэнергии.

Требование, чтобы проверки проводились на работающих в нормальном режиме установках, привело к естественному разделению между указанными группами оборудования. Компании, занимающиеся производством электроэнергии, обычно проводят измерения в периоды высокой нагрузки. Распределение этих периодов различно, в зависимости от страны и климатической зоны. Периодичность проверок определяется также типом электростанции, т.е. тем, является ли она гидроэлектрической, атомной или тепловой – на угле или на жидком топливе.

В этой отрасли промышленности — по крайней мере, в северных странах с четкими сезонными изменениями погоды — проверки проводятся весной и осенью или перед длительными перерывами в работе. Таким образом, в любом случае ремонтные работы выполняются в период остановки производства. Однако это правило применяется все реже, и в последнее время проверки проводятся при различных нагрузках и рабочих состояниях электростанций.

28.2.2 Общие характеристики оборудования

Исследуемое оборудование обладает определенной температурной характеристикой, которая должна быть известна специалисту по термографии еще до начала проверки. Для каждого узла электрооборудования заранее известно, какие дефекты приводят к изменению тепловой картины из-за увеличения сопротивления или повышения силы тока.

Тем не менее, полезно помнить, что в некоторых случаях, например, для соленоидов 'перегрев' является естественным признаком и не свидетельствует о развивающемся дефекте. В других случаях, например в точках соединения электродвигателей, перегрев может означать, что исправная часть берет на себя всю нагрузку, что приводит к ее перегреванию.

Аналогичный пример показан в разделе 28.5.7 – Перегрев одного компонента в результате дефекта в другом компоненте на стр. 155.

Таким образом, неисправные части электрооборудования могут иметь и более высокую, и более низкую температуру, по сравнению с нормальными "исправными" частями. Поэтому необходимо получить как можно больше информации об объекте исследований еще до начала проверки, чтобы иметь представление об ожидаемых результатах.

Общее правило, однако, состоит в том, что локальное повышение температуры свидетельствует о возможном дефекте. Значение температуры и электрической нагрузки в момент проверки какого-либо узла оборудования указывают на степень серьезности неисправности и могут служить основанием для прогнозирования последствий в случае изменения условий.

Для правильной оценки результатов в каждом конкретном случае необходимо располагать подробными сведениями о тепловых характеристиках отдельных узлов оборудования, а именно, о допустимых температурах для использованных материалов и важности функционирования данного узла для нормальной работы всей системы.

Например, изоляция кабелей при температурах выше определенного предела теряет свои изоляционные свойства, что увеличивает опасность возгорания.

В случае выключателей, при чрезмерно высоких температурах возможно проплавление деталей, которое впоследствии будет препятствовать расцеплению контактов и приведет к функциональной непригодности выключателя.

Чем больше знает оператор ИК-камеры об исследуемом оборудовании, тем выше будет качество результатов проверки. Но трудно предположить, что каждый специалист по ИК-термографии сможет обладать исчерпывающими знаниями о всех устройствах, проверкой которых ему приходится заниматься. Поэтому традиционно считается, что проверки должны проводиться в присутствии специалиста, отвечающего за оборудование.

28.2.3 Проверка

Подготовительный этап проверки должен включать выбор правильного типа отчета. Часто приходится использовать дополнительные приборы, например амперметры для измерения тока в цепях после обнаружения дефектов. Если требуется измерить силу ветра при проверке оборудования, стоящего на открытом воздухе, вам необходим анемометр.

Функции автоматической настройки ИК-камеры позволяют оператору получить ИК-изображение проверяемых компонентов с оптимальным контрастом, при котором хорошо видны возможные дефекты и участки локального перегрева. На изображении особо четко выделяются перегретые точки. Функция измерения температуры позволяет автоматически идентифицировать точки максимума температуры в зонах перегрева или измерять разность между максимальной температурой в какой-либо зоне и выбранным оператором уровнем отсчета, например температурой окружающего воздуха.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

10712703;u3

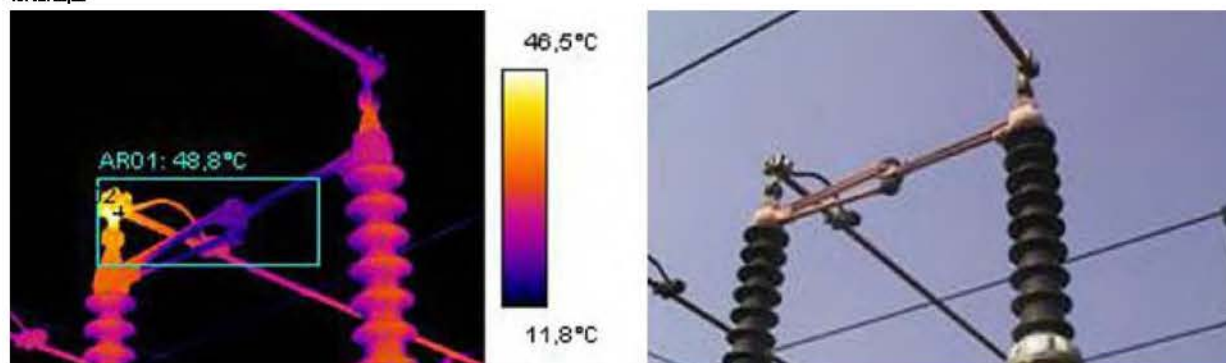


Рисунок 28.1 Изображения изолятора высоковольтной линии электропередачи в инфракрасном и видимом диапазоне.

Сбор данных для составления отчета по проверке начинается после определения оператором местоположения дефекта, когда он убеждается, что перегрев в данной точке не связан с отражениями и не является естественным для проверяемого оборудования в нормальном режиме работы. В отчет включаются данные по коэффициенту излучения, идентификация компонента, действующие значения рабочих и других параметров, а также измеренные значения температуры. Для облегчения идентификации часто делается обычная фотография исследуемого объекта.

28.2.4 Классификация дефектов и составление отчета

Составление отчетов всегда считалось самой трудоемкой частью ИК-съемки объектов. Чтобы классифицировать найденные дефекты и составлять отчет по результатам проверки, полученным в течение одного дня, часто приходится тратить не менее одного – двух дней. Подобная ситуация остается без изменений для многих специалистов по термографии, которые не склонны воспользоваться преимуществами, ставшими возможными благодаря применению компьютеров и специальных программ по ИК-контролю, в частности, по составлению отчетов.

Классификация дефектов должна быть исчерпывающей и обоснованной, учитывающей не только конкретные условия съемки (что само по себе важно), но и возможность нормировки повышенной температуры для условий стандартной нагрузки и нормальной температуры окружающего воздуха.

Например, повышение температуры компонента установки на $+30^{\circ}\text{C}$, несомненно свидетельствует о серьезной неисправности. Но если для одного компонента такой перегрев имеет место при 100%-ной нагрузке, а для другого – при 50%-ной, то очевидно, что температура второго компонента поднимется еще выше при увеличении нагрузки от 50% до 100%. Критерий оценки обычно выбирается, исходя из конкретных условий эксплуатации оборудования. Очень часто, однако,

прогнозирование температуры отдельных компонентов делается с учетом 100%-ной нагрузки. Наличие стандартов облегчает сравнительный анализ дефектов для длительных периодов времени и дает более полную их классификацию.

28.2.5 Приоритетность дефектов

Руководитель работ по техническому обслуживанию определяет приоритетность дефектов, основываясь на их классификации. Весьма часто полученная в результате инфракрасной съемки информация дополняется данными, собранными с помощью других методов исследования, таких как вибрационный анализ или ультразвук, а также согласовывается с графиком профилактического техобслуживания оборудования.

Хотя ИК-съемка быстро становится наиболее широко применяемым, безопасным и надежным методом для сбора информации об электрооборудовании, работающем в нормальном режиме эксплуатации, для принятия решений руководитель работ по техническому обслуживанию должен учитывать и другие источники информации.

Поэтому определение приоритетности ремонтных работ обычно не является ответственностью оператора ИК-камеры. Если оператор обнаруживает какую-либо критическую ситуацию во время съемки или при классификации дефектов, он обязан привлечь к ней внимание руководителя по техобслуживанию, однако решение о важности и срочности проведения ремонтных работ принимает руководитель.

28.2.6 Ремонт

Устранение обнаруженных дефектов является важнейшей целью профилактического техобслуживания. Но, с другой стороны, своевременное выполнение предприятием производственных планов и обеспечение предусмотренной себестоимости продукции также являются важными показателями действий обслуживающего персонала. Полученная в результате инфракрасной съемки информация может быть полезной как для повышения эффективности ремонтных работ, так и для при решении других производственных задач с разумным риском.

Постоянный контроль температуры обнаруженного дефекта, который по какой-либо причине невозможно устранить незамедлительно, например из-за отсутствия запчастей, может дать экономический эффект, превосходящий в тысячи раз стоимость работ по съемке, а иногда и стоимость самой ИК-камеры. Другим примером продуктивного использования информации, полученной методом ИК-съемки, является принятие решения не проводить ремонт обнаруженных дефектов во избежание лишних расходов на техобслуживание и простоя оборудования.

Но, как показывает опыт, чаще всего результаты идентификации и классификации обнаруженных дефектов служат основанием для рекомендации о необходимости незамедлительного или срочного ремонта. Очень важно, чтобы люди, отвечающие за ремонт оборудования, знали о физических принципах, используемых при идентификации дефектов. Если обнаружен критический дефект, сопровождаемый сильным повышением температуры, весьма вероятно, что обслуживающий персонал увидит компонент с признаками сильной коррозии. Но возможна и другая ситуация, и это не должно удивлять обслуживающий персонал, когда некорродированное электрическое соединение может показать такую же высокую температуру, как и корродированное, если в нем ослаблен контакт. Подобное неверное истолкование дефектов – довольно распространенное явление, служащее поводом для высказывания сомнений в надежности инфракрасного метода.

28.2.7 Контроль

Повторную проверку отремонтированного компонента следует проводить по возможности быстрее. Нецелесообразно откладывать проверку компонентов с устраненными дефектами до следующей плановой ИК-съемки оборудования. Как показывают статистические данные, почти у одной трети компонентов и после устранения дефектов можно обнаружить перегрев. Другими словами, и после ремонта остаются дефекты, представляющие потенциальную опасность отказа.

Ожидание следующей запланированной ИК-съемки абсолютно нецелесообразно, так как оно повышает риск аварии.

Кроме общего повышения эффективности цикла техобслуживания (в смысле уменьшения вероятности отказов), незамедлительная проверка отремонтированных компонентов обеспечивает определенную выгоду и самой службе техобслуживания.

Повышенная температура после устранения дефекта может служить основанием, чтобы определить причину перегрева и усовершенствовать порядок проведения ремонтных работ, а также чтобы выбрать лучших поставщиков запчастей или выяснить конструктивные недоработки оборудования. Непосредственные проверки результатов работы – богатый источник знаний и опыта для членов ремонтной бригады, независимо от того, свидетельствуют ли они об успехе или об ошибках.

Другим доводом в пользу обеспечения ремонтной бригады ИК-приборами является то, что многие дефекты, обнаруживаемые в результате ИК-съемки, могут не представлять собой серьезной опасности для нормального функционирования оборудования. Вместо их устранения путем ремонта, который сопровождается

простоем и расходом средств, может быть принято решение только о постоянном наблюдении за дефектами. В этом случае персонал по техобслуживанию должен располагать соответствующими приборами ИК-контроля.

Стандартные отчеты, как правило, содержат описания дефектов и предпринятых действий по их устранению. Подробные описания являются важным источником информации, которая затем используется для создания оптимальных запасов запчастей, определения лучших поставщиков, а также для обучения новых работников по техническому обслуживанию и ремонту.

28.3 Методика измерений при термографическом исследовании электроустановок

28.3.1 Настройка оборудования

ИК-изображение может отображать значительные различия температуры:

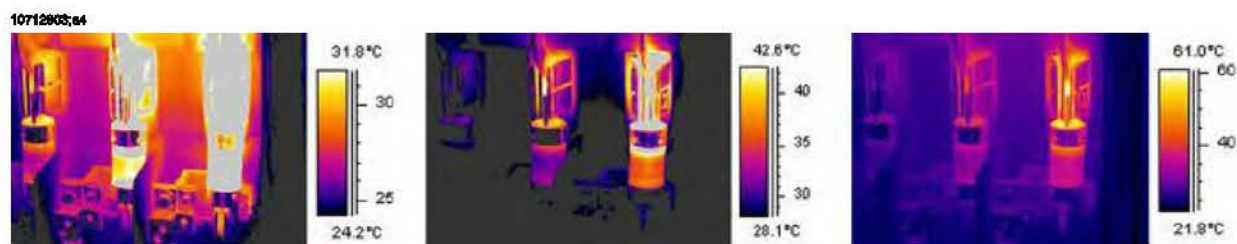


Рисунок 28.2 Различия температуры в блоке плавких предохранителей

Как видно из приведенных выше изображений, максимальная температура правого предохранителя равна $+61^{\circ}\text{C}$, левого $+32^{\circ}\text{C}$, а среднего где-то посередине между этими значениями. Три этих изображения отличаются друг от друга только тем, что выбранная в каждом из них шкала температур выделяет только один из предохранителей. Несмотря на это, каждое из изображений содержит всю информацию касательно всех трех предохранителей. Вопрос только в выборе значений для температурной шкалы.

28.3.2 Измерения температуры

В некоторых современных моделях камер предусмотрена функция автоматического определения максимальной температуры на изображении. На рисунке ниже показан пример изображения на дисплее подобной камеры.



Рисунок 28.3 ИК-изображение блока предохранителей с указанием значения максимальной температуры

Максимальная температура в зоне съемки равна $+62,2^{\circ}\text{C}$. Точное местоположение максимума температуры на дисплее указывается прицельной точкой. Изображение со всеми данными может быть сохранено в памяти камеры.

Точность измерения температуры, однако, определяется не только моделью камеры и встроенной программой. Возможны случаи, когда дефект, приводящий к локальному повышению температуры, например электрическое соединение, оказывается скрытым от камеры другими элементами конструкции. Тепло в видимую на изображении точку может передаваться с некоторого расстояния, благодаря явлению теплопроводности, тогда как "реальная" горячая точка остается скрытой от оператора. На рисунке ниже показан пример подобного изображения.

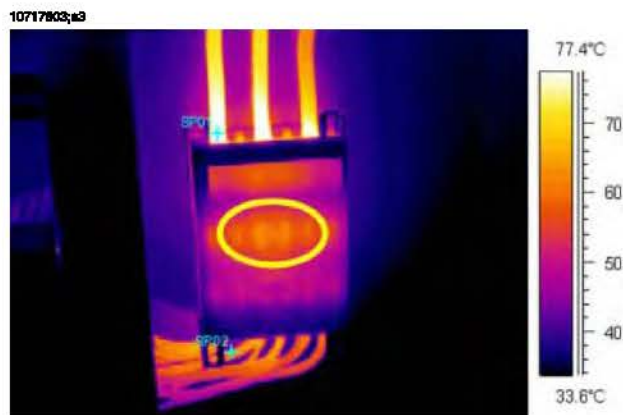


Рисунок 28.4 Скрытая горячая точка в закрытой коробке

В таких случаях следует произвести съемку под различными углами, стараясь показать перегретый участок полностью, т.е. не скрытым частично или полностью за какими-либо другими элементами. В показанном на рисунке примере наиболее горячая точка, которую "видит" камера, имеет температуру $+83^{\circ}\text{C}$, тогда как рабочая температура кабелей, входящих в ящик снизу, составляет $+60^{\circ}\text{C}$. Реальная горячая точка, по всей вероятности, находится внутри ящика и скрыта от камеры, в области, обведенной на рисунке желтым кружком. В отчете о данном дефекте указывается избыточная температура $+23,0^{\circ}\text{C}$, хотя реальная температура перегрева может быть значительно выше.

Другой возможной причиной занижения температуры объекта является неточная фокусировка. Очень важно, чтобы камера была сфокусирована на найденной горячей точке. На рисунке ниже показан пример.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

10717403;u2

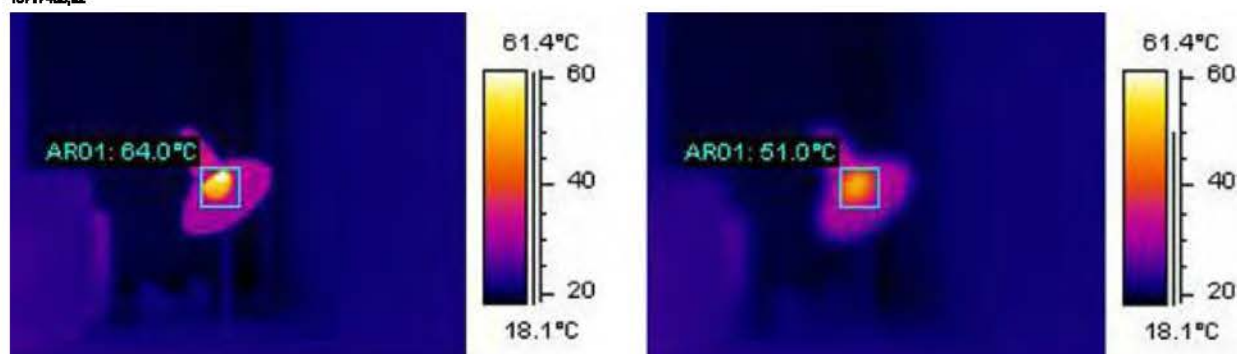


Рисунок 28.5 СПЕВА: Горячая точка в фокусе; СПРАВА: Горячая точка не в фокусе

На изображении слева показана лампа в фокусе. Ее средняя температура составляет $+64^{\circ}\text{C}$. На изображении справа лампа не в фокусе, и измерение ее средней температуры, в результате, дает только $+51^{\circ}\text{C}$.

28.3.3 Сравнительные измерения

В термографических исследованиях электроустановок часто применяется специальный метод, основанный на сравнительном анализе изображений разных объектов – так называемый *метод опорного уровня*. В сущности, метод состоит в сравнении изображений трех фаз между собой. Он требует систематического параллельного сканирования всех трех фаз, что позволяет заметить отклонения температуры отдельных точек от нормальной тепловой картины.

В изображении нормальной тепловой картины токоведущие компоненты, имеющие нормальную рабочую температуру, отображаются на дисплее одним цветом (или оттенком серого цвета), который один и тот же для всех трех фаз, находящихся под симметричной нагрузкой. На пути прохождения тока возможны небольшие изменения цвета, например в области контакта различных материалов, в местах увеличения и уменьшения сечения проводника или в области выключателей, где путь тока заключен в корпус прибора.

На рисунке ниже показаны три плавких предохранителя с близкими значениями температуры. Действительно, изображение изотермы показывает разность температуры между фазами на не более, чем $+2^{\circ}\text{C}$.

Окрашивание в разные цвета, как правило, есть результат асимметричной нагрузки фаз. Разность цветов не связана с явлением перегрева, так как она не сосредоточена в отдельных участках, а распределена по всей фазе.

10713803;u3

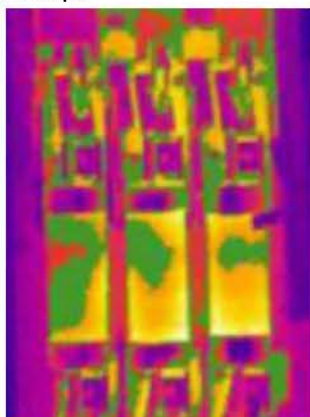


Рисунок 28.6 Изотерма ИК-изображения блока плавких предохранителей.

С другой стороны, "реальная" горячая точка показывает явное повышение температуры по мере приближения к источнику тепла. На рисунке ниже показан профиль (линия), свидетельствующий о постоянном повышении температуры до значения $+93^{\circ}\text{C}$ в точке максимума.

10713903;u4

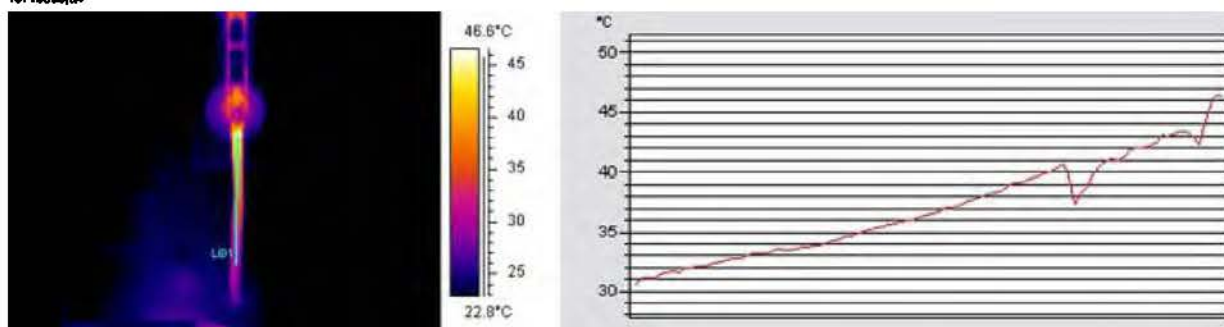


Рисунок 28.7 Профиль (линия) на ИК-изображении и соответствующий график, показывающий повышение температуры

28.3.4 Нормальная рабочая температура

Измерение температуры во время термографической съемки, как правило, дает абсолютную температуру объекта. Чтобы определить, имеет ли место перегрев объекта, необходимо знать его нормальную рабочую температуру, т.е. нормальную температуру объекта с учетом нагрузки и температуры окружающей среды.

Так как прямое измерение дает значение абсолютной температуры — которое также следует учесть, ввиду того что для большинства компонентов заданы верхние предельные значения абсолютной температуры — возникает необходимость определения расчетной рабочей температуры объекта для данных условий нагрузки и температуры окружающей среды. Рассмотрим следующие определения:

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

- Рабочая температура: абсолютная температура компонента. Зависит от величины нагрузочного тока и от температуры окружающей среды. Она всегда выше температуры окружающей среды.
- Избыточная температура (перегрев): разность температур между исправно работающими и неисправными компонентами.

Избыточная температура определяется как разность между температурами "нормального" компонента и расположенного рядом с ним аналогичного компонента. При сравнении температур важно выбирать одни и те же точки в разных фазах.

В качестве примера ниже показано изображение электрооборудования внутренней установки:



Рисунок 28.8 ИК-изображение электрооборудования внутренней установки (1).

Две левые фазы считаются нормальными, тогда как правая фаза явно показывает избыточную температуру. Действительно, рабочая температура фазы слева равна $+68^{\circ}\text{C}$, т.е. также достаточно высока, тогда как неисправная фаза справа показывает температуру $+86^{\circ}\text{C}$. Это говорит об избыточной температуре $+18^{\circ}\text{C}$, т.е. о дефекте, требующем незамедлительных действий.

На практике нормальной (ожидаемой) рабочей температурой какого-либо компонента считается температура компонентов в цепях не менее двух фаз из трех возможных, при условии, что они считаются нормально работающими. При этом 'наиболее нормальной' можно считать ситуацию, когда все три фазы имеют одинаковую температуру или, по крайней мере, показывают небольшую разность температур. Рабочая температура компонентов наружной установки на подстанциях или в линиях электропередачи обычно выше температуры окружающего воздуха всего на 1°C или 2°C . В подстанциях закрытого типа рабочие температуры изменяются намного больше.

Это хорошо видно на приведенном ниже рисунке. Изображение выявляет избыточную температуру в фазе, расположенной слева. Рабочая температура, измеренная на двух 'холодных' фазах, равна +66°C. Неисправная фаза показывает температуру +127°C, что требует немедленного вмешательства.



Рисунок 28.9 ИК-изображение электрооборудования внутренней установки (2).

28.3.5 Классификация дефектов

После обнаружения дефектного электрического соединения могут потребоваться немедленные корректирующие действия — или их можно отложить на некоторое время. Чтобы порекомендовать соответствующие действия, необходимо оценить дефект согласно следующим критериям:

- Нагрузка во время измерения
- Постоянная или переменная нагрузка
- Местоположение дефектной части в электроустановке
- Ожидаемые изменения нагрузки
- Производится ли измерение температуры непосредственно в точке расположения дефекта или косвенно - по теплу, передаваемому из скрытого внутри электроустановки источника.

Избыточные температуры, измеренные непосредственно на дефектном компоненте, разделяются на три категории относительно 100% максимальной нагрузки.

I	< 5°C	Начальная стадия перегрева- ния Требуется непрерывного контроля.
II	5–30°C	Стадия развития перегрева- ния. Требуется по возможности бы- строго ремонта (перед приня- тием решения необходимо учесть ожидаемые изменения нагрузки).

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

III	>30°C	Сильный перегрев. Требуется незамедлительный ремонт (перед принятием решения необходимо учесть ожидаемые изменения нагрузки).
-----	-------	---

28.4 Составление отчета

В настоящее время документирование и составление отчетов по термографическим проверкам электроустановок почти без исключений выполняются с помощью соответствующих компьютерных программ. Программы, поставляемые разными изготовителями, могут отличаться друг от друга, но все они адаптированы к характеристикам конкретной ИК-камеры и предназначены для ускорения и облегчения процедуры составления отчета.

Программа, которая была использована для создания показанной ниже страницы отчета называется FLIR Reporter. Она адаптируется для использования с несколькими типами ИК-камер, поставляемых компанией FLIR Systems.

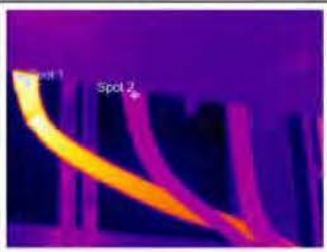
Профессионально составленный отчет должен состоять из следующих двух частей:

- Начальные страницы, где излагаются конкретные сведения относительно данной проверки, например:
 - Данные о заказчике, например наименование предприятия и контактное лицо
 - Место проверки: адрес площадки, город и т.д.
 - Дата выполнения проверки
 - Дата составления отчета
 - Имя проверяющего, специалиста по термографии
 - Подпись проверяющего
 - Краткое изложение или оглавление работы
- Страницы с результатами проверки, содержащие ИК-изображения, которые необходимо документировать и анализировать на предмет тепловых свойств оборудования и возможных аномалий.
 - Идентификация исследуемого объекта:
 - Наименование: обозначение, имя, номер и т.д.
 - Фотография объекта
 - ИК-изображение. При ИК-съемке необходимо учесть следующее:
 - Оптический фокус
 - Температурную регулировку при отображении объекта и его окружения (уровень и диапазон изменения температуры)
 - Композицию кадра: расстояние до объекта и угол зрения
 - Комментарий
 - Наличие или отсутствие аномалии.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

- Наличие или отсутствие отражения.
- Пользуйтесь одним из измерительных средств — точечный или зонный прицел, изотерма — для количественной оценки дефекта. При этом следует применять самые простые средства; в отчетах по электроустановкам почти никогда не требуются профильные диаграммы.

10713903;03

	THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB		Date: 2005-10-10 Sign: _____ Contract: 1708	
Photograph				
	Place	Building 1		
	Localization	Right panel, group 2		
	Equipment	Fuse		
	Model / type	BBC LHBN 250		
	Phase / ID	Supply for Panel 8		
	Room temperature °C	15		
	Status	Over heated		
Thermogram				
	Temp. Spot 1	34 °C		
	Temp. Spot 2	17 °C		
	TEMPERATURE DIFF		17 °C	
	Phase	L1	L2	L3
	Load (A)	45	47	47
	Rated load	250		
	Fault class	2		
	Comment			
Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque. Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. $[T_{50} = (T_1 - T_2) * (125/45)^{1.6} + T_2]$				
Corrected				
Measure taken: _____		Date: _____		
Sign: _____		Sign.: _____		

Side 1

Рисунок 28.10 Пример отчета

28.5 Обзор различных типов горячих точек в электроустановках

28.5.1 Отражения

Термографическая камера фиксирует все излучение, которое попадает в объектив: оно может исходить как из самого исследуемого объекта, так и из других источников с последующим отражением от объекта. Чаще всего компоненты электроустановок действуют как зеркала для инфракрасного излучения, хотя это и не заметно невооруженным глазом. Металлические детали без покрытий являются особенно склонны к образованию бликов, тогда как окрашенные или изолированные пластиком или резиной детали в большинстве случаев не создают бликов. На рисунке ниже ясно видно отражение оператора от деталей установки. Оно, конечно, не является горячей точкой объекта. Хороший способ, чтобы определить, является ли видимое вами изображение отражением или нет – это менять свое положение относительно объекта. Смотрите на объект под другим углом и следите за "горячей точкой". Если она движется вместе с вами – это отражение.

Для объектов, имеющих зеркальные свойства, измерение температуры невозможно. Объекты, показанные на рисунке ниже, имеют окрашенные участки, которые хорошо подходят для измерения температуры. Детали изготовлены из меди, которая обладает очень высокой теплопроводностью. Это означает, что изменения температуры по поверхности детали должны быть небольшими.

10717803;u2

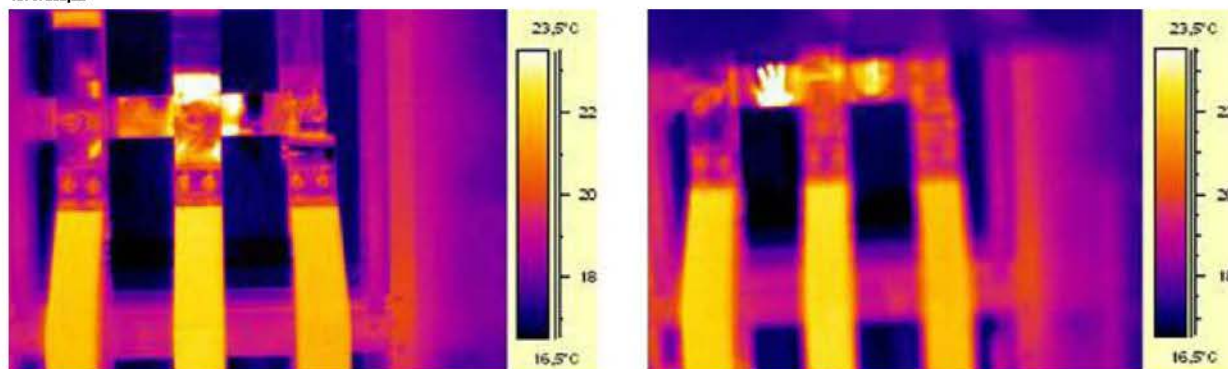


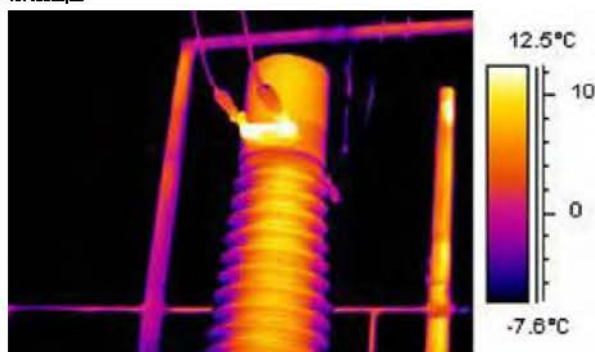
Рисунок 28.11 Отражения на объекте

28.5.2 Нагрев солнечными лучами

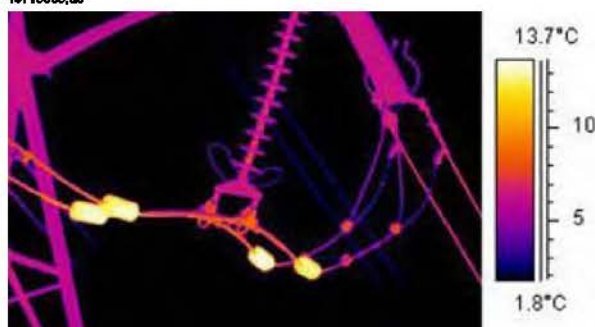
Поверхность компонента с высоким коэффициентом излучения, например, выключателя наружной установки, в течение жаркого летнего дня может разогреться до достаточно высокой температуры под воздействием солнечного излучения. На рисунке показано изображение выключателя, нагретого солнечными лучами.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

10713803;а3

**Рисунок 28.12** ИК-изображение выключателя**28.5.3 Индукционный нагрев**

10713803;а8

**Рисунок 28.13** ИК-изображение перегретых стабилизирующих противовесов

Вихревые токи могут стать причиной появления горячих точек на токоведущих частях оборудования. Есть примеры возникновения пожаров по этой причине в сочетании с большими значениями тока и недопустимой близостью деталей из разных металлов. Нагреванию такого рода подвержены детали из магнитных материалов, окружающие токоведущую часть, например металлические плиты в основании проходных изоляторов. На рисунке выше показаны стабилизирующие противовесы, через которые проходит большой ток. Противовесы изготовлены из металла со слабо выраженными магнитными свойствами и не являются проводниками тока, но подвергаются воздействию переменного магнитного поля, что со временем приводит к их нагреванию. На показанном примере величина перегрева составляет менее $+5^{\circ}\text{C}$. Однако это вовсе не означает, что исключаются другие возможности.

28.5.4 Неравномерность нагрузки

В электроэнергетике общего пользования, как правило, применяются трехфазные системы. Проверять подобные системы в поиске участков с повышенной температурой, удобно сравнивать друг с другом отдельные фазы в составе компонентов оборудования, например в кабелях, выключателях или в изоляторах. Равномерное распределение нагрузки между фазами должно давать в результате однородную тепловую картину для всех трех фаз. С другой стороны, существен-

ное отличие температуры одной фазы от температуры двух остальных, скорее всего, является признаком неисправности. Но в этих случаях вы должны убедиться, что нагрузка действительно равномерно распределена между фазами. Для этой цели можно воспользоваться стационарными амперметрами или прибором с токоизмерительными клещами (для цепей с величиной тока до 600 А).

10714003;а3

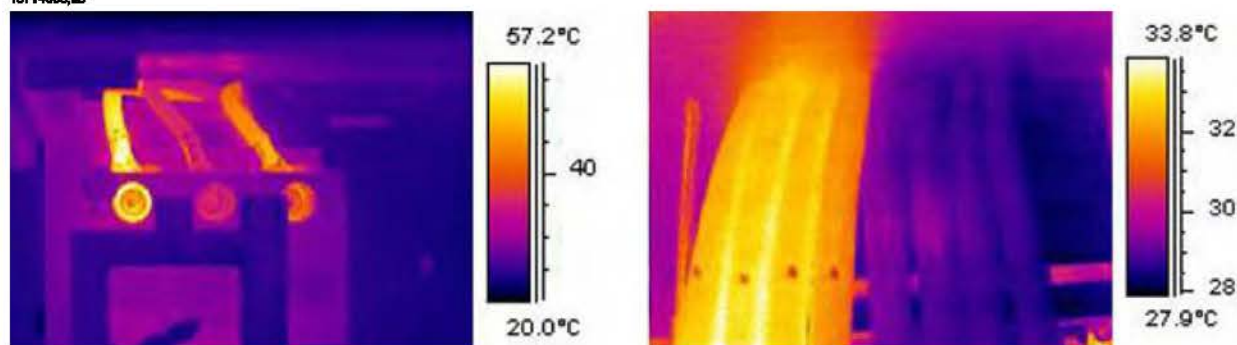


Рисунок 28.14 Примеры ИК-изображений с неравномерным распределением нагрузки

На изображении слева показаны три кабеля, расположенные рядом. Расстояния между ними достаточно большие, чтобы можно было их считать термически изолированными друг от друга. Как видно, кабель, расположенный посередине, холоднее двух остальных. Если исключить вариант, что перегрев остальных двух фаз связан с дефектами, здесь мы видим типичный пример несимметричной нагрузки. Кроме того, температура распределена равномерно вдоль кабелей, что свидетельствует в пользу повышения температуры из-за нагрузки, а не дефектного электрического соединения.

На изображении справа показаны два пучка кабелей с совершенно разными нагрузками. Фактически, пучок справа имеет почти нулевую нагрузку. Температура кабелей, которые несут существенную токовую нагрузку, примерно на 5°C выше, чем у ненагруженных кабелей. Рассмотренные выше примеры не требуют каких-либо замечаний о дефектах в соответствующих отчетах.

28.5.5 Неравномерность условий охлаждения

10714100;а3

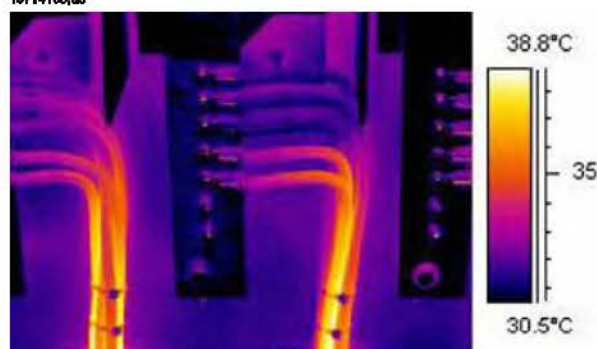


Рисунок 28.15 ИК-изображение пучка кабелей

Когда несколько кабелей связаны в пучок, неблагоприятные условия охлаждения расположенных посередине пучка кабелей, могут привести к их перегреву. Подобный пример показан на рисунке выше.

Кабели, показанные справа на изображении, не проявляют признаков перегрева вблизи крепежных болтов. Но в вертикальной части пучка кабели плотно прижаты друг к другу и охлаждаются недостаточно интенсивно; конвекция не успевает удалять излишек тепла и, в результате, температура кабелей заметно выше, примерно на 5°C, чем в той части кабелей, которая находится в более благоприятных условиях охлаждения.

28.5.6 Неравномерность сопротивления

Перегрев может происходить из-за многих причин. Некоторые причины общего характера описаны ниже.

Низкое контактное давление может возникнуть вследствие неправильного монтажа электрического соединения, износа материалов, усталости пружин, срыва резьбы болтов и гаек, даже из-за приложения чрезмерных усилий при монтаже. Работа при больших нагрузках и повышенной температуре приводит к превышению предела текучести материала и к ослаблению механического натяжения.

На рисунке ниже слева показан плохой контакт из-за ослабления натяжения монтажного болта. Так как область плохого контакта имеет очень ограниченные размеры, перегрев происходит на небольшом участке, откуда тепло равномерно распределяется вдоль соединительного кабеля. Следует заметить, что из-за низкого коэффициента излучения сам монтажный болт выглядит на изображении немного холоднее, чем покрытый изоляционным материалом, имеющим более высокий коэффициент излучения, соединительный кабель.

На изображении справа показан другой пример перегрева, также из-за слабого контакта. Соединение входит в состав электроустановки наружного размещения, и поэтому оно подвержено охлаждающему воздействию ветра; можно предположить, что перегрев показал бы более высокие температуры в случае внутреннего размещения.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

10714803;а3

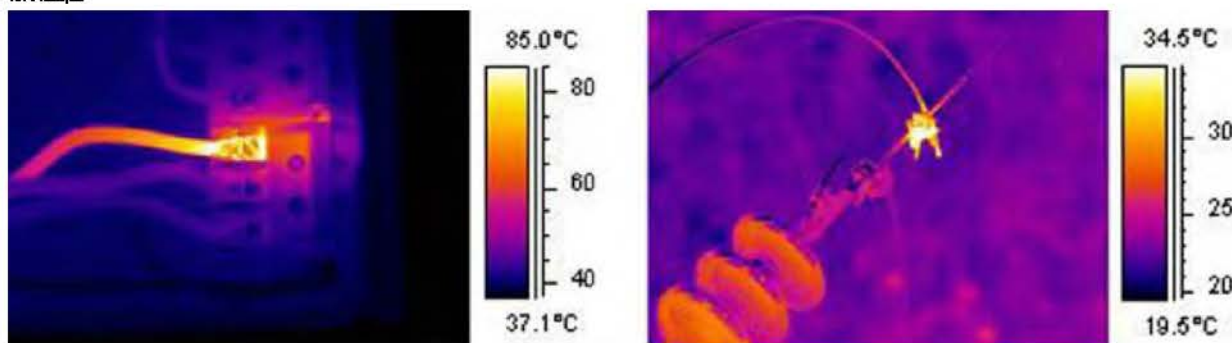


Рисунок 28.16 СЛЕВА: ИК-изображение плохого контакта из-за ослабления монтажного болта; **СПРАВА:** Слабый контакт в установке наружного размещения, подвергающейся охлаждающему воздействию ветра.

28.5.7 Перегрев одного компонента в результате дефекта в другом компоненте

Возможны случаи, когда признаки перегрева появляются в абсолютно исправных компонентах. Причина может быть в том, что нагрузка распределяется между двумя проводниками. Один из проводников имеет повышенное сопротивление, а другой проводник исправен. В результате, нагрузка неисправного компонента уменьшится, а у исправного компонента увеличится, и если она окажется чрезмерно высокой, повысится его температура. Подобный пример показан на рисунке.

10714908;а3

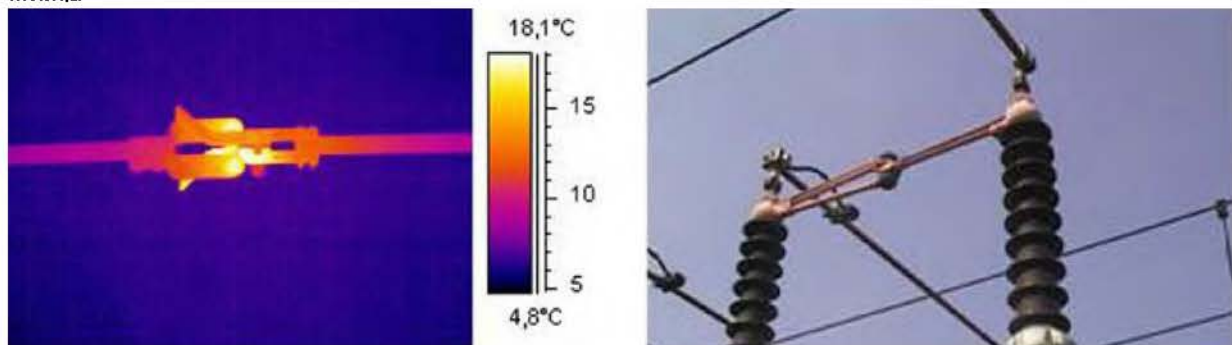


Рисунок 28.17 Пример перегрева в расцепителе

По всей видимости причиной перегрева расцепителя является плохой контакт в ближнем штыре контактора. Поэтому через дальний штырь проходит большой ток, и он перегревается. (На ИК-изображении и на фотографии показан не один и тот же компонент, но они идентичны).

28.6 Факторы возмущения в процессе термографической проверки электроустановок

Некоторые факторы, вносящие помехи в нормальные рабочие условия, такие как ветер, расстояние до объекта, дождь или снег, могут повлиять на результаты измерений во время термографической проверки электроустановок различного типа.

28.6.1 Ветер

При проверке установок наружного размещения необходимо учитывать охлаждающее воздействие ветра. Перегрев, измеренный при скорости ветра 5 м/с, будет приблизительно в два раза больше при скорости ветра 1 м/с. Избыточная температура, измеренная при скорости ветра 8 м/с, будет приблизительно в 2,5 раза больше при скорости ветра 1 м/с. Указанный поправочный коэффициент, полученный эмпирическим путем, может применяться при значениях скорости ветра до 8 м/с.

Возможны, однако, случаи, когда проверку нельзя отменить, даже если скорость ветра превышает 8 м/с. В мире существует много мест, где постоянно дует сильный ветер – острова, горы и т.д.; необходимо только помнить, что обнаруженные перегретые компоненты показали бы более высокие температуры при меньших значениях скорости ветра. В таблице указаны значения поправочного коэффициента, полученный эмпирическим путем.

Скорость ветра (м/с)	Скорость ветра (узлы)	Поправочный коэффициент
1	2	1
2	4	1,36
3	6	1,64
4	8	1,86
5	10	2,06
6	12	2,23
7	14	2,40
8	16	2,54

Чтобы получить избыточную температуру при отсутствии ветра, т.е. при скорости ветра 1 м/с, необходимо измеренное значение температуры перегрева умножить на поправочный коэффициент.

28.6.2 Дождь и снег

Дождь и снег также способствуют охлаждению электрооборудования. Термографические измерения с обеспечением достаточно точных результатов допускается проводить при легком и сухом снеге и легкой измороси. Сильный снегопад и проливной дождь ухудшают качество изображений и исключают возможность получения надежных результатов. Основная причина заключается в том, что плотная завеса снега или дождя является непроницаемым барьером для инфракрасного излучения, и прибор скорее измеряет температуру снежных хлопьев или капель дождя.

28.6.3 Расстояние до объекта

Показанное на рисунке изображение снято из вертолета с расстояния 20 метров от неисправного соединения. Расстояние на камере ошибочно было настроено на 1 метр, а измеренное значение температуры составило +37,9°C. Чтобы получить показанное справа изображение, расстояние до объекта было установлено 20 метров, и правильное значение температуры составило +38,8°C. Хотя различие невелико, но может служить основанием для придания неисправности более высокого класса серьезности. Поэтому установкой точного расстояния до объекта нельзя пренебрегать.

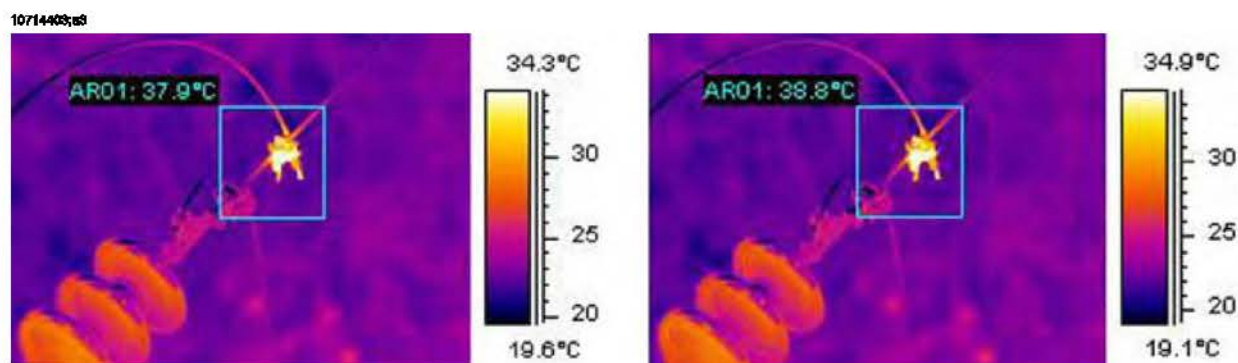


Рисунок 28.18 СЛЕВА: Неправильная установка расстояния; **СПРАВА:** Правильная установка расстояния

В приведенных ниже изображениях абсолютно черного тела с температурой +85°C температура измерялась при возрастающих значениях расстояния.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

10714803;u3



Рисунок 28.19 Измеренная температура абсолютно черного тела с температурой +85°C для возрастающих значений расстояния

Измерения дают следующие значения средней температуры, слева направо: +85,3°C, +85,3°C, +84,8°C, +84,8°C, +84,8°C и +84,3°C для абсолютно черного тела с температурой +85°C. Термограммы снимались объективом с углом зрения 12°. Съемка проводилась из следующих расстояний: 1, 2, 3, 4, 5 и 10 метров. При съемке тщательно устанавливалась коррекция на расстояние, что оказало положительное влияние на точность, так как объект обладает достаточно большими размерами для обеспечения точных измерений.

28.6.4 Размер объекта

Вторая серия изображений, показанная ниже, относится к этому же объекту, но снята с помощью обычного объектива с углом зрения 24°. В этом случае для средней температуры абсолютно черного тела при температуре +85°C получены следующие измеренные значения: +84,2°C, +83,7°C, +83,3°C, +83,3°C, +83,4°C и +78,4°C.

Последнее значение (+78,4°C) является не средней, а максимальной величиной, поскольку было невозможно установить прицельный круг внутри изображения черного тела из-за малости его размеров. Очевидно, обеспечение требуемой точности измерений невозможно, если объект имеет очень малые размеры. Расстояние до объекта было установлено правильно на 10 метров.

28 – Введение в термографический контроль электроустановок



Рисунок 28.20 Измеренная температура абсолютно черного тела при температуре +85°C для возрастающих значений расстояния (объектив 24°)

Причина данного явления заключается в том, что существует нижний предел для размеров объекта, который обеспечивает требуемую точность при измерении температуры. Минимальный размер изображения объекта указывается для всех камер, поставляемых компанией FLIR Systems. Ниже показаны изображения, которые можно увидеть через видоискатель камеры модели 695. Точечный прицел характеризуется световым отверстием посередине, которое хорошо видно на изображении справа. Видимый размер объекта должен превосходить размер светового отверстия, в противном случае результаты измерения будут понижены в результате попадания в объектив излучения от ближайшего окружения исследуемого объекта, которое имеет более низкую температуру. В показанном выше примере при измерении точечного объекта, который намного горячее своего окружения, измерения температуры дают пониженный результат.

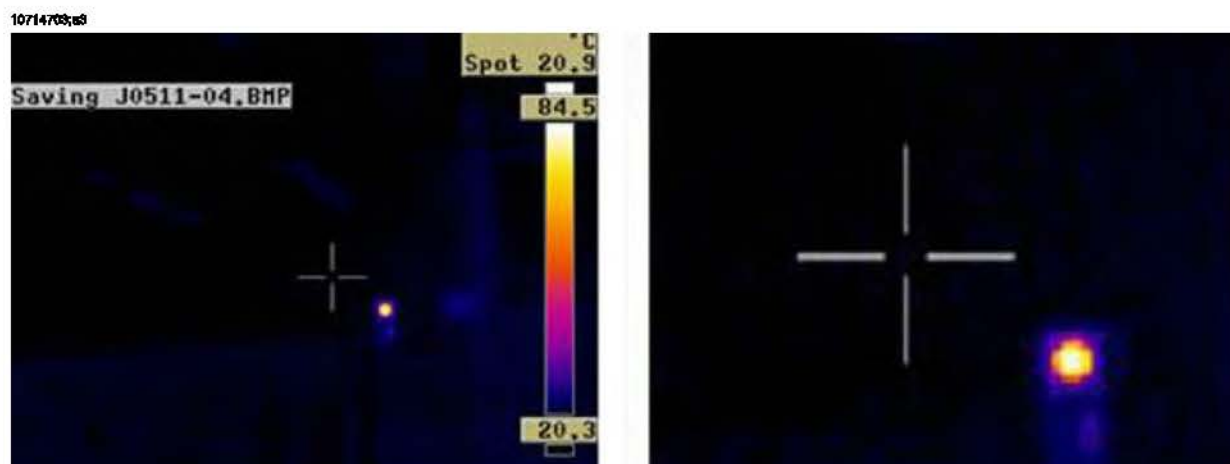


Рисунок 28.21 Изображения в видоискателе камеры ThermoCAM 695

28 – Введение в термографический контроль электроустановок

Данный эффект обусловлен неидеальностью оптических элементов и конечными размерами детектора камеры. Он типичен для ИК-камер и фактически неустранним.

28.7 Практические рекомендации для операторов ИК-камер

Работая с камерой, вы постоянно набираетесь опыта и открываете для себя практические приемы, которые облегчают выполнение заданий. Ниже приводятся пять рекомендаций для успешного начала работы.

28.7.1 С холода в тепло

Вы с камерой были на улице при температуре +5°C. Допустим, для продолжения работы вам необходимо производить съемку в закрытом помещении. Если вы носите очки, вам знакома ситуация, когда вы должны вытереть конденсированную на линзах влагу, иначе вы не в состоянии видеть. То же самое происходит и с камерой. Чтобы обеспечить точность измерений, вы должны подождать, пока камера не нагреется в достаточной степени для испарения конденсированной влаги. Кроме того, встроенная система температурной компенсации должна приспособиться к изменению внешних условий.

28.7.2 Проливной дождь

Когда начинается дождь, вы должны прекратить работу, так как вода радикально меняет температуру поверхности измеряемого вами объекта. Тем не менее, иногда вам приходится использовать камеру и под проливным дождем или при наличии водяных брызг. В подобных случаях вы должны защитить камеру, поместив ее в простой прозрачный пакет из полиэтилена. Для компенсации вносимого пакетом ослабления сигнала можно изменить расстояние до объекта, добиваясь такого же показания температуры, как при отсутствии пакета. В некоторых моделях камер предусмотрен отдельный настроечный параметр **Пропускание внешней оптики**.

28.7.3 Коэффициент излучения

Для выполнения измерений вы должны определить коэффициент излучения исследуемого вами материала. В большинстве случаев вы не найдете его в справочных таблицах. Пользуйтесь оптически черной краской марки Nextel Black Velvet. Нанесите краску на небольшой кусок материала, с которым вы работаете. Коэффициент излучения оптической краски в нормальных условиях равен 0,94. Помните, что объект должен обладать другой температурой — как правило, более высокой — по сравнению с окружающей средой. Чем больше разница, тем точнее результат расчета коэффициента излучения. Разность температур должна быть не менее 20°C. Кроме того, существуют другие краски, обеспечивающие калибровку при очень высоких температурах, до +800°C. С другой стороны, коэффициент излучения объекта может быть ниже, чем у оптически черной краски.

Иногда исключается возможность нанесения краски на измеряемый объект. В подобных случаях можете пользоваться изоляционной лентой. Тонкая лента с заранее определенным коэффициентом излучения, позволяет выполнять измерения в большинстве случаев, после чего ее можно удалить, не повреждая исследуемый объект. Следует обратить внимание, что некоторые типы изоляционной ленты полупрозрачны и не совсем подходят для данной цели. Одним из лучших материалов для этой цели является изоляционная лента Scotch для наружного применения при отрицательных температурах.

28.7.4 Видимая отраженная температура

Допустим, вы проводите измерения в обстановке, когда несколько источников тепла вносят искажения в результаты ваших измерений. В этом случае вы должны определить точное значение видимой отраженной температуры и ввести этот параметр в камеру для обеспечения оптимальной коррекции. Вам необходимо выполнить следующие действия: установите коэффициент излучения на 1,0. Установите объектив камеры на ближний фокус, затем поверните камеру в противоположную от объекта сторону и сделайте снимок. С помощью метода прицельной зоны или изотермы определите температуру, наиболее близкую к значению средней температуры по сохраненному изображению, затем введите это значение в качестве параметра видимой отраженной температуры.

28.7.5 Большое расстояние до объекта

У вас возникли сомнения, что на данном расстоянии камера обеспечивает необходимую точность измерений? Чтобы убедиться в этом, воспользуйтесь эмпирическим правилом для объектива камеры, согласно которому необходимо умножить параметр МПЗ на 3 (МПЗ соответствует размеру наименьшего элемента объекта, который различается одним элементом детектора). Пример: 25 угловых градусов соответствуют 437 мрад. Если ваша камера имеет размер изображения 120×120 пикселей, МПЗ равно $437/120 = 3,6$ мрад (3,6 мм/м), а соотношение размеров точки равно $1000/(3 \times 3,6) = 92:1$. Это означает, что ваша цель, находящаяся на расстоянии 9,2 м, должна иметь линейные размеры не менее 0,1 м или 100 мм. Для большей верности работайте с расстояния менее 9 м. На расстоянии 7–8 м ваша камера гарантированно должна обеспечить требуемую точность.

29 О компании FLIR Systems

Компания FLIR Systems, основанная в 1978 году, является инициатором создания высокoeffективных тепловизионных систем и мировым лидером по разработке, производству и продаже систем формирования инфракрасных изображений для широкого спектра коммерческих, промышленных и государственных приложений. В настоящее время FLIR Systems объединяет в своем составе пять крупных компаний, известных своими выдающимися достижениями в области инфракрасной технологии: с 1958 года—шведскую компанию AGEMA Infrared Systems (бывшая AGA Infrared Systems), три американские компании: Indigo Systems, FSI, и Inframetrics, и французскую компанию Cedip. В ноябре 2007 года FLIR Systems приобрела компанию Extech Instruments.

T636806a1

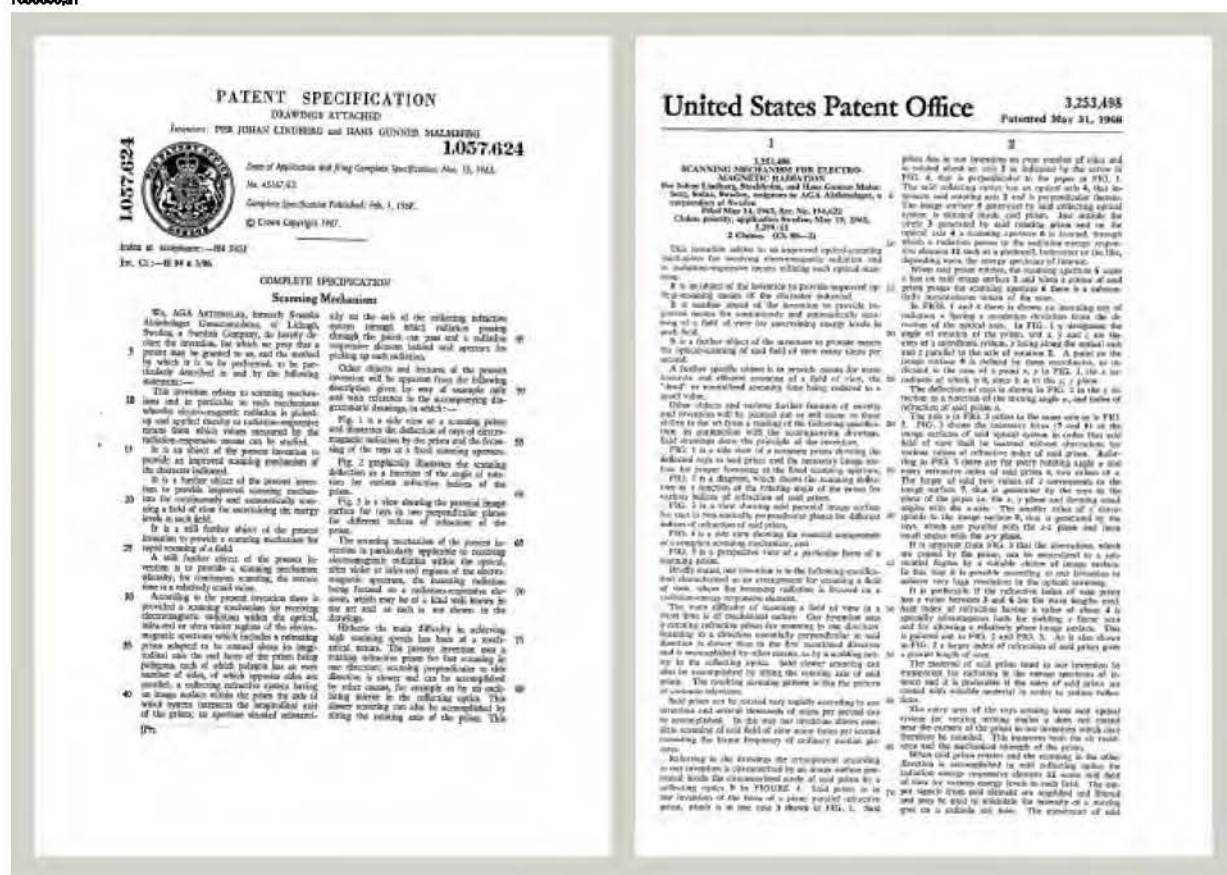


Рисунок 29.1 Патентные документы начала 1960-х годов

За этот период компания осуществила поставки более 135 832 ИК-камер по всему миру для применения в таких областях, как научно-исследовательские разработки, профилактическое диагностирование и неразрушающий контроль оборудования, управление технологическими процессами и автоматизация, машинное зрение и др.

29 – О компании FLIR Systems

FLIR Systems владеет тремя заводами в США (в Портленде, штат Орегон; в Бостоне, штат Массачусетс; в Санта-Барбаре, штат Калифорния) и одним заводом в Швеции, расположенным в Стокгольме. С 2007 года также действует завод в Таллинне, Эстония. Кроме того, она имеет торговые представительства в Бельгии, Бразилии, Китае, Франции, Германии, Великобритании, Гонконге, Италии, Японии, Швеции и США, которые вместе с распространенной по всему миру сетью торговых агентов и дистрибьюторов оказывают необходимую поддержку постоянным клиентам во многих странах мира.

FLIR Systems является передовой компанией в области новых разработок и промышленного производства ИК-камер. Мы предвосхищаем потребности рынка, внося усовершенствования в имеющиеся модели и разрабатывая новые типы камер. Нашей компании принадлежат такие ключевые решения в развитии данной области техники, как первые портативные камеры с питанием от аккумулятора для проведения ИК-обследования промышленных объектов и первые ИК-камеры без системы искусственного охлаждения и многие другие.

10722703; a2



Рисунок 29.2 СЛЕВА: Thermovision® модель 661 выпуска 1969 года. Эта камера весила около 25 кг, осциллограф – 20 кг, а штатив – 15 кг. Кроме того, оператору требовался генератор переменного напряжения на 220 В и сосуд Дьюара на 10 л с жидким азотом. Слева от осциллографа видна фотоприставка Polaroid (6 кг). **СПРАВА:** FLIR i7 выпуска 2009 года. Вес: 0,34 кг вместе с аккумулятором.

FLIR Systems производит наиболее важные механические и электронные компоненты тепловизионных систем. Все этапы производственного процесса, начиная от проектирования детекторов и изготовления объективов и электронных плат, и заканчивая заводскими испытаниями и калибровкой готовых изделий, выпол-

няются и контролируются специалистами нашей компании. Высокая квалификация специалистов по инфракрасной технологии гарантирует точность и надежность всех основных конструктивных компонентов вашей инфракрасной камеры.

29.1 *Не только камеры*

Руководство компании FLIR Systems понимает, что производства лучших в мире систем для ИК-съемки недостаточно. Мы уверены, что для более полного использования всех возможностей систем ИК-камеры нашим заказчикам требуются наиболее современные программные средства. Специальные программы для научно-исследовательских разработок, профилактического диагностирования и неразрушающего контроля производственных процессов разрабатываются собственными подразделениями компании. Большая часть программного обеспечения выпускается на нескольких языках.

Кроме того, компания выпускает широкий ассортимент дополнительных принадлежностей для адаптации ИК-оборудования к конкретным условиям эксплуатации.

29.2 *Мы делимся своими знаниями*

Хотя и наши камеры сконструированы с учетом максимального удобства для пользователей, для полного использования их возможностей требуется определенный уровень знаний по термографии. Исходя из этого, компания FLIR Systems создала ИТС – Центр подготовки специалистов по инфракрасной технологии, который, являясь самостоятельным коммерческим предприятием, проводит сертифицированные курсы обучения в этой области техники. Обучение по программам ИТС дает неоценимые знания и практический опыт.

Персонал ИТС также поможет вам в применении ваших теоретических знаний по инфракрасной технике для решения практических задач.

29.3 *Техническая поддержка пользователей продукции*

Компания FLIR Systems обладает сетью центров технического обслуживания, развернутой по всему миру. В обязанности этих центров входит обеспечение бесперебойной работы инфракрасных камер компании. Эти центры располагают всем необходимым оборудованием и высококлассными специалистами, способными в кратчайшие сроки устранить любые проблемы, связанные с функционированием инфракрасных камер. Это освобождает клиентов компании от необходимости отправлять свои камеры на другой конец света или обращаться за техническими рекомендациями к иноязычным специалистам.

29 – О компании FLIR Systems

29.4 Несколько фотографий с наших заводов

10401303;a1

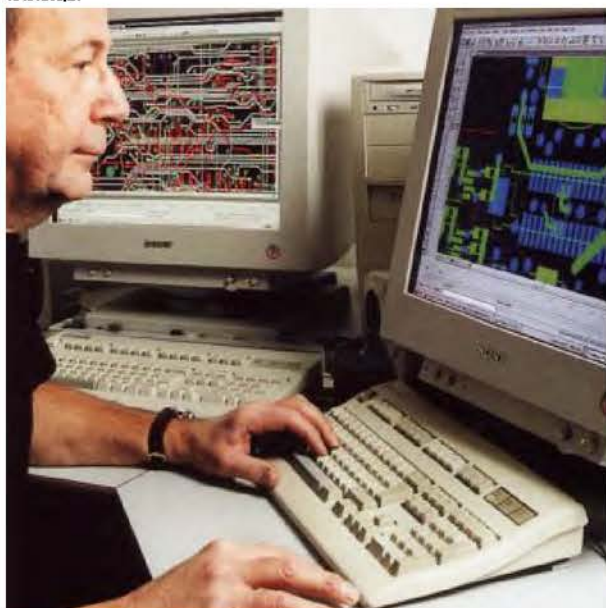


Рисунок 29.3 СПЕВА: Разработка электроники системы; СПРАВА: Тестирование детектора МФП

10401403;a1



Рисунок 29.4 СПЕВА: Алмазно-токарный механизм; СПРАВА: Полирование пина

10401803;а1



Рисунок 29.5 СЛЕВА: Тестирование инфракрасных камер в климатической камере; СПРАВА: Робот для тестирования и калибровки камеры

30 Глоссарий

Термин или выражение	Пояснение
IR	инфракрасный
Laser LocatIR	Электрический источник света, находящийся на камере, который испускает лазерное излучение в виде тонкого, сфокусированного пучка, используемого для указания на определенные части объекта, расположенного перед камерой.
NETD (Температурная разница эквивалента шума)	Температурная разница эквивалента шума. Мера уровня шума в изображении, полученном с ИК камеры.
абсолютно черное тело	Оборудование, испускающее инфракрасное излучение и обладающее свойствами абсолютно черного тела, которое используется для калибровки инфракрасных камер.
абсолютно черное тело	Совершенно не отражающий объект. Его излучение полностью определяется его собственной температурой.
автопалитра	Инфракрасное изображение выводится в несбалансированной цветовой гамме - и холодные и теплые объекты отображаются одновременно.
автоподстройка	Режим работы, при котором камерой выполняется внутренняя корректировка изображения.
атмосфера	Газы, находящиеся в пространстве между исследуемым объектом и камерой; как правило, это воздух.
визуальный	Относится к видеорежиму ИК камеры, как противоположность стандартному, термографическому режиму. В видеорежиме камера фиксирует обычные видеоизображения (в видимой области спектра), тогда как термографические изображения камера регистрирует, когда она находится в ИК режиме.
внешняя оптика	Дополнительные объективы, фильтры, тепловые экраны и т.д., которые могут быть помещены между камерой и объектом измерений.
двойная изотерма	Изотерма с двумя цветовыми полосами вместо одной.
диапазон температур	Текущие общие ограничения на измерения температуры с помощью ИК камеры. Камеры могут работать в нескольких диапазонах. Диапазон выражается в виде двух температур абсолютно черного тела, ограничивающих текущую калибровку.

Термин или выражение	Пояснение
диапазон	Текущие общие ограничения на измерения температуры с помощью ИК камеры. Камеры могут работать в нескольких диапазонах. Диапазон выражается в виде двух температур абсолютно черного тела, ограничивающих текущую калибровку.
излучатель	Элемент оборудования, излучающего ИК излучение.
излучательная способность	Количество энергии, излучаемое в единицу времени единицей поверхности объекта (вт/м ²)
излучение	Процесс испускания электромагнитной энергии некоторым объектом или газом.
изотерма	Функция, выделяющая те участки изображения, температура которых оказывается выше или ниже одного или нескольких интервалов температуры или между ними.
изотермическая полость	Излучатель в форме бутылки с однородной температурой, рассматриваемый через горлышко бутылки.
интервал	Интервал температурной шкалы, обычно выражаемый через величину сигнала.
инфракрасный	Невидимое излучение с длиной волны, приблизительно, 2–13 μm .
конвекция	Конвекция представляет собой режим переноса тепла, при котором жидкость приводится в движение под воздействием силы тяжести либо другой силы, вследствие чего тепло переносится из одного места в другое.
коррекция изображения (внутренняя или внешняя)	Способ компенсации разницы в чувствительности в различных частях изображений в режиме реального времени, а также способ стабилизации камеры.
коэффициент излучения	Количество излучения, испускаемого объектом, по сравнению с излучением черного тела. Положительное число, не превосходящее единицы.
коэффициент отражения	Отношение количества излучения, отражаемого объектом, к количеству падающего на него излучения. Положительное число, не превосходящее единицы.
коэффициент пропускания (пропускание)	Газы и материалы могут быть прозрачными в большей или меньшей степени. Пропускание показывает количество ИК излучения, проходящего через них. Положительное число, не превосходящее единицы.

30 – Глоссарий

Термин или выражение	Пояснение
лазерный указатель	Электрический источник света, находящийся на камере, который испускает лазерное излучение в виде тонкого, сфокусированного пучка, используемого для указания на определенные части объекта, расположенного перед камерой.
мощность излучения	Количество энергии, излучаемое объектом в единицу времени (вт)
МПЗ	Мгновенное поле зрения: мера геометрического разрешения ИК камеры.
МФП	Матрица фокальной плоскости: тип ИК детектора.
непрерывная подстройка	Функция настройки изображения. Эта функция действует постоянно, непрерывно настраивая яркость и контраст в соответствии с характером изображения.
опорная температура	Температура, с которой можно сравнивать обычно измеряемые значения.
относительная влажность	Относительная влажность представляет собой соотношение текущей массы водяного пара в воздухе и максимальной, которая может содержаться в условиях насыщения.
палитра	Набор цветов, используемый для представления ИК изображения.
параметры объекта	Набор значений, описывающих условия, при которых проводились измерения объекта, и сам объект (такие как коэффициент излучения, видимая отраженная температура, расстояние и т.д.).
пиксель	<i>Элемент изображения.</i> Одна отдельная точка изображения.
поглощение (коэффициент поглощения)	Отношение излучения, поглощенного объектом, к падающему излучению. Положительное число, не превосходящее единицы.
Поле зрения	Угол в горизонтальной плоскости, в пределах которого видны объекты через ИК объектив.
полостной излучатель	Излучатель в форме бутылки с внутренней поглощающей поверхностью, наблюдаемой через горлышко бутылки.
примерное пропускание атмосферы	Значение пропускания, предложенное пользователем в качестве замены вычисленному значению
прозрачная изотерма	Изотерма, представляющая линейное распределение цветов, вместо заливки выделенных участков изображения.

Термин или выражение	Пояснение
расчетное пропускание атмосферы	Значение коэффициента пропускания, вычисленное на основании данных о температуре, относительной влажности воздуха и расстоянии до объекта.
ручная настройка	Способ настройки изображения, при котором некоторые параметры изменяются вручную.
светимость	Количество энергии, излучаемое объектом в единицу времени единицей поверхности в единичном угле (Вт/м ² /сфер.рад)
серое тело	Объект, на каждой длине волны излучающий одну и ту же долю от энергии излучения абсолютно черного тела на этой же волне.
сигнал объекта	Некалиброванное значение, определяемое количеством излучения, полученным камерой от объекта.
спектральная излучательная способность	Количество энергии, излучаемое объектом в единицу времени единицей поверхности на единичном интервале длин волн (Вт/м ² /м)
среда	Предметы и газы, испускающие излучение в направлении исследуемого объекта.
температурная разность или разность температур	Величина, являющаяся результатом вычитания двух значений температуры.
теплопроводность	Процесс, вызывающий рассеяние тепла в веществе.
термограмма	инфракрасное изображение
уровень	Центральное значение температурной шкалы, обычно представляющее величину сигнала.
фильтр	Фильтр изготавливается из материала, прозрачного для инфракрасного излучения только некоторых длин волн.
цвет насыщения	Участки, соответствующие температурам, выходящим за установленные значения уровня/интервала, окрашиваются цветами насыщения. Насыщенные цвета содержат 'перенасыщенный' цвет и 'недонасыщенный' цвет. Существует также третий красный цвет насыщения, который все участки отмечает как насыщенные, и это является указанием детектора на то, что, возможно, данный диапазон следует изменить.
цветовая температура	Температура, при которой достигается некоторый определенный цвет абсолютно черного тела.
шкала температур	Способ текущего отображения ИК изображения. Выражается в виде двух значений температуры, ограничивающих цвета.

30 – Глоссарий

Термин или выражение	Пояснение
шум	Небольшое нежелательное искажение инфракрасного изображения

31 Техника термографических измерений

31.1 Вступление

Инфракрасная (ИК) камера (тепловизор) измеряет и представляет в виде изображений испускаемое объектом инфракрасное излучение. Тот факт, что излучение является функцией температуры поверхности объекта, позволяет камере рассчитать и отобразить такую температуру.

Однако измеряемое камерой излучение зависит не только от температуры объекта, но и от излучательной способности объекта. Излучение также исходит от окружающей среды и отражается объектом. Кроме того, на излучение объекта и на отраженное излучение будет также оказывать воздействие поглощение в атмосфере.

Поэтому для точного измерения температуры надо компенсировать эффекты нескольких различных источников излучения. Это осуществляется камерой в реальном времени автоматически. Однако в камеру необходимо ввести следующие параметры объекта.

- Коэффициент излучения объекта.
- Видимая отраженная температура.
- Расстояние между объектом и камерой.
- Относительная влажность.
- Температура окружающего воздуха.

31.2 Коэффициент излучения

Самым важным параметром, который следует правильно ввести, является коэффициент излучения, который, кратко говоря, является мерой излучения, испускаемого объектом, по сравнению с излучением абсолютно черного тела при такой же температуре.

Обычно материалы объектов и обработанные поверхности имеют коэффициент излучения в диапазоне, приблизительно, от 0,1 до 0,95. Хорошо отполированная (зеркальная) поверхность имеет значение менее 0,1, тогда как окисленная или покрашенная поверхность – намного более высокий коэффициент излучения. Масляная краска, вне зависимости от цвета в видимом спектре, имеет в инфракрасном диапазоне коэффициент излучения свыше 0,9. Кожа человека имеет коэффициент излучения от 0,97 до 0,98.

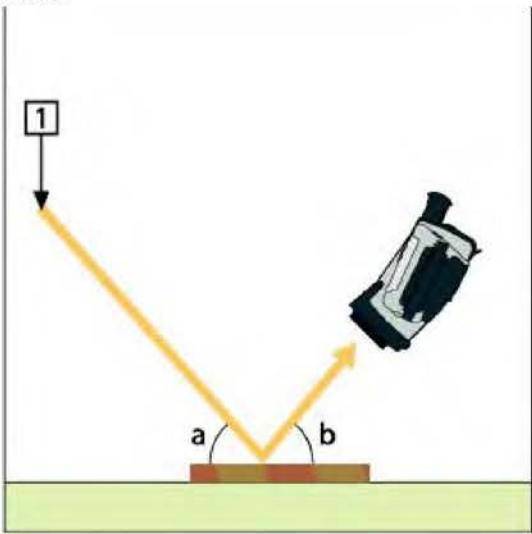
31 – Техника термографических измерений

Неокисленные металлы представляют собой крайний случай идеальной непрозрачности и высокой отражающей способности, которая не меняется существенно с изменением длины волны. Следовательно, коэффициент излучения металлов является низким – только повышаясь с ростом температуры. Коэффициент излучения неметаллов обычно является высоким и понижается с ростом температуры.

31.2.1 Определение значения коэффициента излучения образца**31.2.1.1 Шаг 1: определение видимой отраженной температуры**

Для определения видимой отраженной температуры можно воспользоваться одним из следующих двух методов.

31.2.1.1.1 Метод 1: метод прямого измерения

1	Определите возможные источники отраженного излучения, учитывая, что угол падения = углу отражения ($a = b$).  Рисунок 31.1 1 = источник отраженного излучения
----------	---

- 2** Если источник отраженного излучения является точечным, прикройте его листом картона, чтобы ослабить излучение.

10589103;ж2

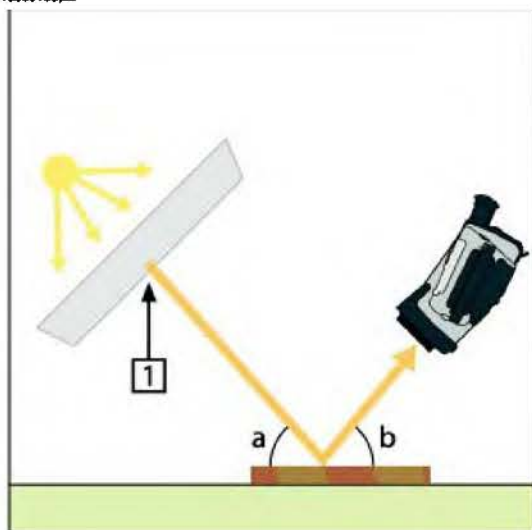


Рисунок 31.2 1 = источник отраженного излучения

- 3** Измерьте интенсивность излучения (т.е. отраженную температуру) от источника отраженного излучения, используя следующие настройки.

- Коэффициент излучения: 1,0
- D_{obj} : 0

Вы можете измерить интенсивность излучения одним из следующих двух методов:

10589003;ж2

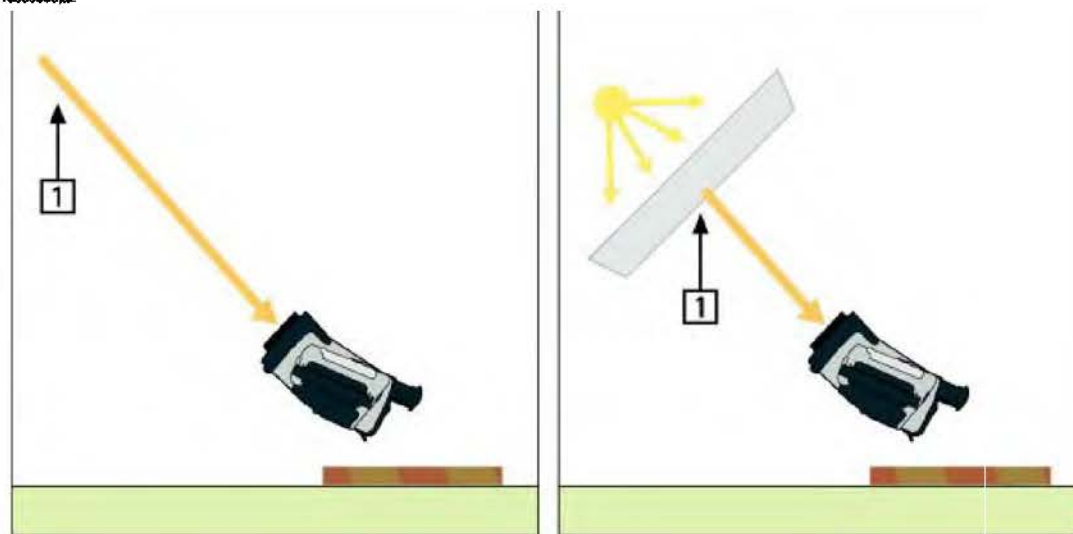


Рисунок 31.3 1 = источник отраженного излучения

Примечание: использование термопары для измерения видимой отраженной температуры не рекомендуется по двум основным причинам:

- с помощью термопары нельзя измерить интенсивность излучения;

31 – Техника термографических измерений

- при использовании термопары необходимо обеспечить очень хороший термический контакт с поверхностью, который достигается, как правило, за счет приклеивания датчика и укрытия его термоизоляционным материалом.

31.2.1.1.2 Метод 2: метод отражателя

1	Сомните кусок алюминиевой фольги больших размеров.
2	Выпрямите фольгу и прикрепите ее на лист картона таких же размеров.
3	Установите лист картона впереди исследуемого объекта. При этом сторона, закрытая фольгой, должна быть направлена в сторону камеры.
4	Установите коэффициент излучения 1,0.
5	Измерьте и запишите значение видимой температуры от алюминиевой фольги.

10727008:22

Рисунок 31.4 Измерение видимой температуры от алюминиевой фольги.

31.2.1.2 Шаг 2: определение коэффициента излучения

1	Выберите место для размещения образца.
2	Определите и установите видимую отраженную температуру, как указано выше.
3	Поместите на образец отрезок изоляционной ленты с заранее известным высоким коэффициентом излучения.
4	Нагрейте образец до температуры, превышающей комнатную не менее чем на 20 К. Нагрев должен быть равномерным.
5	Сфокусируйте изображение, выполните автоматическую настройку камеры, затем получите стоп-кадр.
6	Настройте уровень и диапазон, чтобы получить наилучшую яркость и контрастность изображения.

7	Установите коэффициент излучения, соответствующий коэффициенту излучения изоляционной ленты (как правило, 0,97).
8	Измерьте температуру ленты, используя одну из следующих функций измерения: ■ «Изотерма» (позволяет определить как значение температуры, так и равномерность нагрева образца); ■ «Точка» (более простая процедура); ■ «Прямоугольник Сред.» (для поверхностей с непостоянным коэффициентом излучения).
9	Запишите значение температуры.
10	Переместите измерительную функцию на поверхность образца.
11	Изменяя установку коэффициента излучения, добейтесь тех же показаний температуры, которые были получены в ходе предыдущего измерения.
12	Запишите значение коэффициента излучения.

Примечание:

- Примите меры для предотвращения вынужденной конвекции.
- Выберите место с термически стабильной окружающей средой, не создающей точечных отражений.
- Используйте высококачественную непрозрачную ленту с известным высоким коэффициентом излучения.
- Этот метод измерения предполагает равенство температур ленты и поверхности образца. В противном случае будет получен ошибочный результат измерения коэффициента излучения.

31.3 Видимая отраженная температура

Данный параметр используется для компенсации излучения окружающих тел, отражаемого от объекта. Точная установка и компенсация видимой отраженной температуры особенно важны в тех случаях, когда коэффициент излучения мал, а температура объекта достаточно сильно отличается от отраженной температуры.

31.4 Расстояние

Параметр расстояние соответствует расстоянию между объектом и передней линзой объектива камеры. Этот параметр используется для компенсации влияния следующих двух явлений.

- Поглощение излучения от объекта атмосферой в промежутке между объектом и объективом камеры.
- Попадание собственного излучения атмосферы в объектив камеры.

31.5 *Относительная влажность*

Камера может также компенсировать тот факт, что пропускание в некоторой степени зависит от относительной влажности атмосферы. Это достигается установкой корректного значения относительной влажности. Для малых расстояний и нормальной влажности обычно можно оставлять относительную влажность равной значению по умолчанию, соответствующему 50%.

31.6 *Другие параметры*

Кроме того, некоторые камеры и аналитические программы FLIR Systems позволяют компенсировать следующие параметры.

- Температура воздуха, т.е. температура воздуха между камерой и объектом.
- Температура внешней оптики, т.е. температура всех внешних линз и окошек, находящихся перед камерой.
- Пропускание внешней оптики, – т.е. пропускание всех внешних линз и окошек, находящихся перед камерой

32 История инфракрасной технологии

Еще 200 лет назад о существовании инфракрасного диапазона спектра электромагнитного излучения даже не было известно. Первоначальное значение открытия инфракрасного диапазона спектра или, как это часто называется ИК-излучения, как формы теплового излучения, какое оно имело во время его открытия Гершелем в 1800 году, в настоящее время, вероятно, трудно понять.

10396703; a1



Рисунок 32.1 Сэр Уильям Гершель (1738 – 1822 гг.)

Это открытие произошло случайно во время поиска нового оптического материала. Сэр Уильям Гершель, астроном при дворе короля Англии Георга III, к тому времени уже получивший известность за открытие планеты Уран, был занят поиском материала оптического фильтра, чтобы уменьшить яркость изображения солнца в телескопах во время наблюдений за ним. Испытывая различные образцы цветного стекла, дающие одинаковое понижение яркости, он, к своему удивлению, обнаружил, что некоторые образцы пропускали лишь незначительное количество солнечного тепла, в то время как другие пропускали столько тепла, что это могло привести к повреждению глаза уже через несколько секунд наблюдения.

Гершель вскоре пришел к выводу о необходимости проведения систематических исследований с целью нахождения того материала, который бы обеспечил необходимое понижение яркости в сочетании с максимальным понижением потока тепла через него. В начале исследований он фактически повторил эксперимент с призмой Ньютона, но при этом более чем видимое распределение интенсивности спектра его интересовал эффект нагрева. Сначала он закрасил чернилами шарик чувствительного стеклянного ртутного термометра, в результате чего получился своеобразный детектор излучения, который был использован для исследования эффекта нагрева, получаемого при использовании различных

цветов спектра, формируемого в верхней части распределения, путем пропускания солнечных лучей через стеклянную призму. Другие термометры, помещенные в стороне от солнечных лучей, служили для получения контрольных значений.

По мере медленного перемещения зачерненного термометра по цветам спектра значения температуры неуклонно повышались при движении от фиолетового к красному краю спектра. Это не явилось полной неожиданностью, поскольку итальянский исследователь, Ландриани, в аналогичном эксперименте в 1777 г. наблюдал схожий эффект. Однако именно Гершель первым установил, что должна существовать точка, в которой эффект нагрева достигает максимума и что эту точку не удастся найти с помощью измерений, относящихся к видимой части спектра.

10998903; a1



Рисунок 32.2 Марцилио Ландриани (1746–1815 гг.)

Перемещая термометр в темную область за пределы красной границы спектра, Гершель установил, что нагрев продолжает увеличиваться. Точка максимального нагрева, которую он обнаружил, находилась далеко за пределами красной границы - сейчас мы называем это «инфракрасными длинами волн».

Когда Гершель сделал это открытие, он назвал эту новую часть электромагнитного спектра «термометрическим спектром».. Само излучение Гершель иногда называл «темным теплом» или просто «невидимыми лучами». По иронии судьбы, несмотря на распространенное мнение, термин «инфракрасный» придумал не Гершель. Это слово стало впервые появляться в печатных материалах около 75 лет спустя, и его автор до сих пор не известен.

Использование Гершелем в исходном эксперименте стекла поначалу привело к полемике с его современниками на предмет реальности существования инфракрасных волн. Различные исследователи в попытках найти подтверждение его открытию использовали самые разные виды стекла без разбора, получая разную степень прозрачности в инфракрасном диапазоне. В своих более поздних экспериментах Гершель установил ограниченную прозрачность стекла для недавно

открытого теплового излучения, в результате чего он был вынужден сделать вывод, что оптика для инфракрасного излучения, вероятно, обречена быть, исключительно, из отражательных элементов (т.е. плоских и изогнутых зеркал). К счастью, это казалось истинным только до 1830 года, когда итальянский исследователь Меллони совершил выдающееся открытие: оказалось, что встречающаяся в природе каменная соль (NaCl), кристаллы которой могли иметь достаточную величину для того, чтобы из них можно было изготавливать линзы и призмы, имеет необычайно высокую степень прозрачности для инфракрасного излучения. В результате каменная соль стала основным материалом для инфракрасной оптики в следующие сто лет, вплоть до начала искусственного выращивания синтетических кристаллов, начиная с 1930 года.

10396103;а1



Рисунок 32.3 Македонио Меллони (1798–1854 гг.)

Термометры в качестве детекторов излучения использовались в неизменном виде вплоть до 1829 г., когда Нобили изобрел термопару. (Собственный термометр Гершеля обеспечивал разрешение до $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а более поздние модели давали точность до $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$) Затем произошел прорыв; Меллони последовательно соединил некоторое количество термопар, которые образовали первую термобатарею. Новое устройство обладало, как минимум, в 40 раз большей чувствительностью по сравнению с лучшим термометром той эпохи в обнаружении теплового излучения - оно могло обнаружить тепло от человека, стоящего на расстоянии в три метра от него.

Первое, так называемое, «тепловое изображение» стало возможным в 1840 г. в результате работы Сэра Джона Гершеля, сына открывателя инфракрасного излучения, также ставшего знаменитым астрономом. Возникающее благодаря неравномерному испарению тонкой масляной пленки, подвергающейся воздействию сфокусированной на ней тепловой картинки, тепловое изображение можно было видеть в отраженном свете, когда интерференционные эффекты

масляной пленки делали его видимым для глаза. Сэру Джону также удалось получить простейшее воспроизведение теплового изображения на бумаге, которое он назвал «термографом».

10090003,62



Рисунок 32.4 Самюэль П. Лэнгли (1834–1906 гг.)

Прогресс в повышении чувствительности детектора инфракрасного излучения был медленным. Следующим крупным прорывом, сделанным Лэнгли в 1880 г., явилось изобретение болометра. Болометр состоял из тонкой зачерненной полоски платины, подсоединенной к одному плечу цепи измерительного моста Уитстона, на которой было сфокусировано инфракрасное излучение и к которой был подключен чувствительный гальванометр. Имеются свидетельства о том, что данный инструмент мог обнаружить тепло от коровы на расстоянии 400 метров.

Английский ученый Сэр Джеймс Дьюар первым ввел использование сжиженных газов в качестве охлаждающей среды (таких как жидкий азот с температурой -196 °C) в исследованиях при низкой температуре. В 1892 г. он изобрел уникальный контейнер с вакуумной термоизоляцией, в котором можно хранить сжиженные газы в течение многих дней. Обычный «термос», используемый для хранения горячих и холодных напитков, создан на основе изобретения Дьюара.

В первые два десятилетия XX века изобретатели во всем мире осваивали использование инфракрасного излучения. Было выдано много патентов на устройства обнаружения людей, артиллерии, самолетов, кораблей и даже айсбергов. Первые работающие системы, в современном смысле, начали разрабатываться во время Первой мировой войны, когда обе противоборствующие стороны запустили исследовательские программы, направленные на военное использование инфракрасного излучения. В рамках этих программ велась разработка экспериментальных систем для обнаружения вторжения противника, замера температуры на расстоянии, защиты средств связи, а также для наведения «летающей торпе-

ды». Проходившая испытания в этот период система инфракрасного поиска могла обнаружить приближающийся аэроплан на расстоянии 1,5 км или человека на расстоянии более 300 метров.

Наиболее чувствительные системы в то время создавались на основе принципа болометра, однако в период между двумя мировыми войнами были разработаны два существенно новых инфракрасных детектора: преобразователь изображения и детектор фотонов. Поначалу преобразователь изображения привлекал сильнейшее внимание военных, поскольку он впервые в истории открывал возможность наблюдателю буквально «видеть в темноте». Однако чувствительность преобразователя изображения была ограничена ближним ИК диапазоном, и наиболее важные военные цели (т.е. солдаты противника) требовалось освещать инфракрасными поисковыми лучами. Поскольку при этом возникал риск обнаружения позиции наблюдателя аналогично оснащенным наблюдателем противника, то, понятно, что интерес военных к преобразователю изображения, в конечном счете, угас.

Тактические недостатки военного использования, так называемых, «активных» (т.е. оснащенных поисковыми лучами) систем теплового изображения дали толчок во время Второй мировой войны развитию интенсивных засекреченных военных программ по исследованию инфракрасного излучения с целью разработки «пассивных» систем (без поисковых лучей) на базе чрезвычайно чувствительного фотонного детектора. В этот период режим секретности военных разработок полностью скрывал состояние технологии инфракрасных изображений. Завеса секретности начала приоткрываться, только начиная с середины 1950-х годов, и с того времени соответствующие устройства тепловидения, наконец, стали становиться доступными для гражданской науки и промышленности.

33 Теория термографии

33.1 Вступление

Для большинства пользователей ИК-камер суть инфракрасного излучения и связанных с этим технологий до сих пор известны мало. В этом разделе будут приведены сведения по теоретическим основам термографии.

33.2 Спектр электромагнитного излучения

Спектр электромагнитного излучения условно разделен на несколько диапазонов с разными значениями длины волны, которые отличаются методами, используемыми для создания и обнаружения излучения. Фундаментального различия между излучением в разных диапазонах электромагнитного спектра нет. Они все подчиняются одним и тем же законам, и отличия между ними являются следствием только различия длины волны.

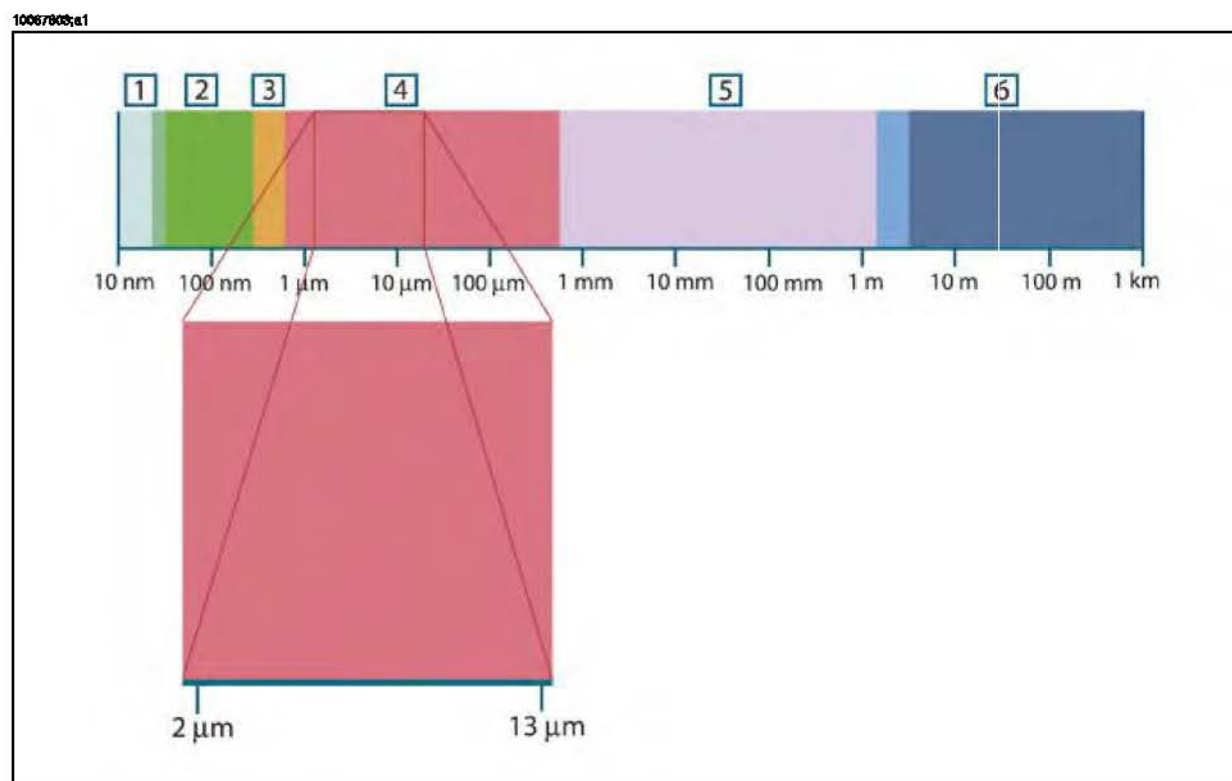


Рисунок 33.1 Спектр электромагнитного излучения 1: Рентген. лучи; 2: УФ; 3: Видимый; 4: ИК; 5: Микроволны; 6: Радиоволны

В термографии используется инфракрасный диапазон спектра. В коротковолновой его части (темно-красный цвет) пролегает граница с видимым спектром. В длинноволновой части он переходит в микроволновые радиоволны миллиметрового диапазона.

Инфракрасный диапазон часто подразделяется на четыре более коротких диапазона, границы которых также выбраны условно. Эти диапазоны определены следующим образом: *ближний инфракрасный* (0,75–3 мкм), *средний инфракрасный* (3–6 мкм), *дальний инфракрасный* (6–15 мкм) и *крайний инфракрасный* (15–100 мкм). Хотя значения длины волны даны в мкм (микрометрах), до сих пор в данном спектральном регионе часто применяются другие единицы измерения длины волн, например, нанометры (нм) и ангстремы (Å).

Между собой они соотносятся так:

$$10\,000\text{ Å} = 1\,000\text{ nm} = 1\text{ }\mu = 1\text{ }\mu\text{m}$$

33.3 Излучение черного тела

Черное тело определяется как объект, поглощающий все падающее на него излучение на любой длине волны. Кажущееся неверным употребление термина «*черное*» по отношению к объекту, испускающему излучение, объясняется законом Кирхгоффа (*Густав Роберт Кирхгоф*, 1824–1887 гг.), который гласит, что тело, способное поглощать все излучение на любой длине волны, в равной мере способно и испускать излучение.

10308803;ar1



Рисунок 33.2 Густав Роберт Кирхгофф (1824–1887 гг.)

Устройство источника в виде черного тела, в принципе, весьма простое. Характеристики излучения отверстия в изотермической (равномерно нагретой) полости, сделанной из непрозрачного поглощающего материала, представляют почти точно свойства черного тела. Практическим воплощением данного принципа создания абсолютного поглотителя излучения является светонепроницаемый ящик с отверстием в одной из сторон. Любое входящее через отверстие излучение рассеивается и поглощается вследствие многократных отражений, поэтому может выйти только бесконечно малая его часть. Степень черноты в отверстии почти равна черному телу и является почти идеальной для всех длин волн.

33 – Теория термографии

Если установить в такой изотермическую полость подходящий нагреватель, то тогда она становится так называемым «*полостным излучателем*». | Равномерно нагретая изотермическая полость создает излучение черного тела, характеристики которого определяются исключительно температурой полости. Такие полостные излучатели обычно используются в лабораториях в качестве источников излучения для калибровки термографических инструментов, таких, например, как ИК-камеры компании FLIR Systems.

Если температура излучения черного тела поднимается выше 525°C, источник становится видимым, и для глаза он уже не кажется черным. Это начальная температура красного нагрева излучателя, который затем меняет цвет, становясь оранжевым или желтым по мере дальнейшего увеличения температуры. Так называемую «*цветовую температуру*» объекта можно определить как температуру, до которой надо нагреть черное тело, чтобы оно окрасилось в данный цвет.

Теперь рассмотрим три выражения, описывающих испускаемое черным телом излучение.

33.3.1 Закон Планка

10398203-21



Рисунок 33.3 Макс Планк (1858–1947 гг.)

Макс Планк (1858–1947 гг.) смог описать распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела с помощью следующей формулы:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \times 10^{-6} [Watt / m^2, \mu m]$$

где

$W_{\lambda b}$	спектральная излучательная способность черного тела на длине волны λ .
-----------------	--

c	скорость света = 3×10^8 м/с
h	постоянная Планка = $6,6 \times 10^{-34}$ Дж-с.
k	постоянная Больцмана = $1,4 \times 10^{-23}$ Дж/К.
T	абсолютная температура черного тела (°K)
λ	длина волны (м).

☉ Используется множитель 10^{-6} , так как спектральная излучательная способность в кривых выражена в Вт/м², $\mu\text{м}$.

Формула Планка, построенная в виде графиков для разных температур, дает семейство кривых. Согласно любой из кривых Планка, спектральная излучательная способность равна нулю при $\lambda = 0$, затем быстро увеличивается до максимума на длине волны λ_{max} , после чего опять приближается к нулю для очень длинных волн. Чем выше температура, тем короче длина волны, при которой достигается максимум.

10327103;04

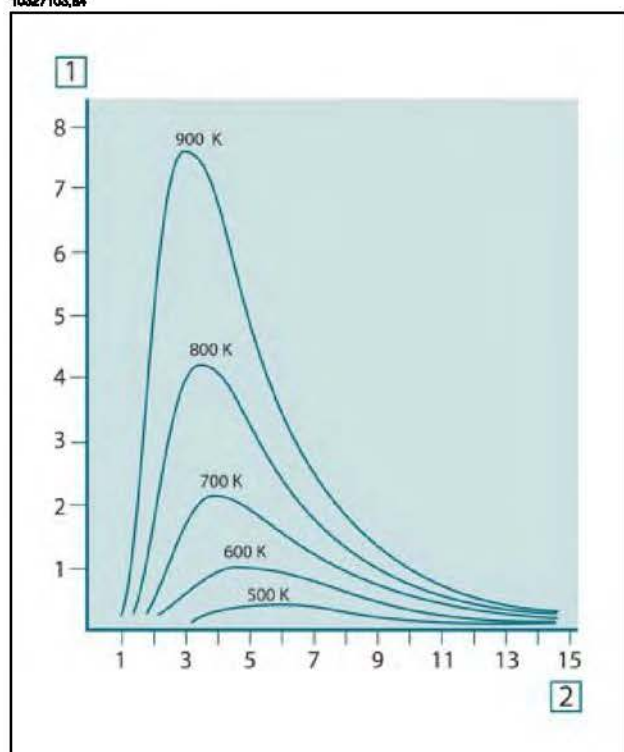


Рисунок 33.4 Кривые спектральной излучательной способности черного тела в соответствии с законом Планка, построенные для разных значений абсолютной температуры 1: Спектральная излучательная способность (Вт/см² × 10³($\mu\text{м}$)); 2: Длина волны ($\mu\text{м}$).

33 – Теория термографии

33.3.2 Закон смещения Вина

После дифференцирования формулы Планка по λ и нахождения максимума имеем:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} [\mu m]$$

Это формула Вина (*Вильгельм Вин*, 1864–1928 гг.), математически выражающая обычно наблюдаемое изменение цвета от красного до оранжевого или желтого при повышении температуры теплового излучателя. Длина волны цвета равна длине волны, рассчитанной для $\lambda_{\max}$. Хорошее приближение значения $\lambda_{\max}$ для данной температуры черного тела получается при применении приближенного правила 3000/T-мкм. Так, спектральная излучательная способность очень горячей звезды вроде Сириуса (11000K), излучающей бело-голубой свет, достигает пика в невидимом ультрафиолетовом спектре на длине волны 0,27 мкм.

10390403;а1



Рисунок 33.5 Вильгельм Вин (1864–1928 гг.)

Спектральная излучательная способность Солнца (около 6000K), излучающего желтый свет, достигает пика в районе 0,5 мкм в середине спектра видимого света.

При комнатной температуре (300K) пик значения излучательной способности достигается при 9,7 мкм в дальнем инфракрасном диапазоне, в то время как при температуре жидкого азота (77K) максимум излучательной способности чрезвычайно слабого излучения достигается на длине волны 38 мкм в крайнем инфракрасном спектре.

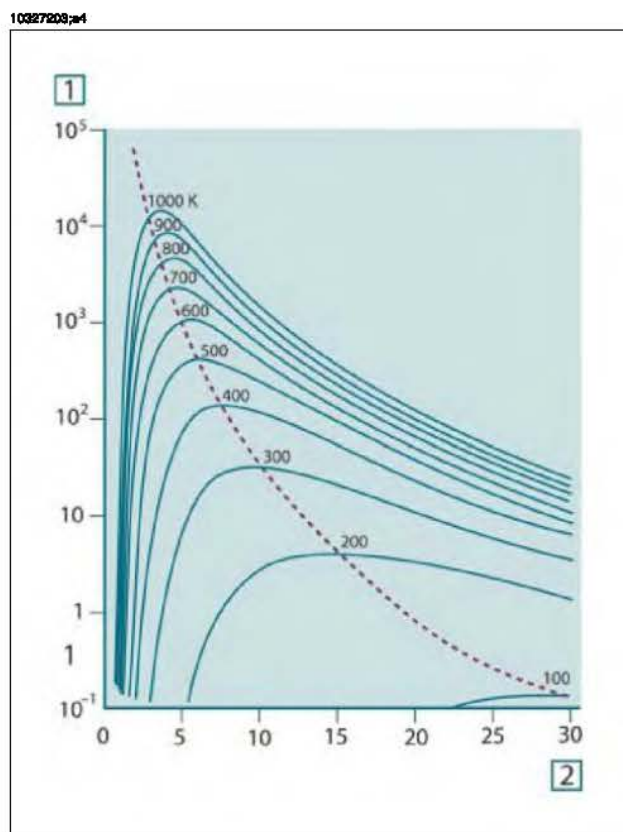


Рисунок 33.6 Кривые Планка, построенные в полулогарифмическом масштабе от 100 К до 1000 К. Пунктирная линия представляет геометрическое место точек максимума излучательной способности при каждой температуре согласно закону смещения Вина 1: Спектральная излучательная способность (Вт/см² (мкм)); 2: Длина волны (мкм)

33.3.3 Закон Стефана-Больцмана

Интегрированием формулы Планка от $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$ получаем интегральную излучательную способность (W_b) черного тела:

$$W_b = \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Это формула Стефана-Больцмана (Йозеф Стефан, 1835–1893, и Людвиг Больцман, 1844–1906), которая гласит, что интегральная излучательная способность черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры. Графически W_b представляет собой область под кривой Планка для конкретной температуры. Можно показать, что излучательная способность в интервале от $\lambda = 0$ до $\lambda_{\max}$ составляет только 25% от интегральной излучательной способности, что представляет собой приблизительно количество излучения Солнца, лежащего в спектре видимого света.

33 – Теория термографии

10392303;а1



Рисунок 33.7 Джозеф Стефан (1835–1893 гг.) и Людвиг Больцман (1844–1906 гг.)

При расчете мощности излучения человеческого тела по формуле Стефана-Больцмана при температуре 300 К и площади поверхности около 2 м² получаем 1 кВт. Эта потеря энергии при комнатной температуре, не очень сильно отличающейся от температуры тела, не могла бы быть продолжительной, если бы не компенсирующее ее поглощение излучения от окружающих поверхностей и, разумеется, если бы не наличие одежды.

33.3.4 Излучатели, не являющиеся черными телами

До сих пор обсуждались только черные излучатели и излучение черного тела. Однако реальные объекты почти никогда не соответствуют этим законам на широком диапазоне значений длины волны, хотя в некоторых спектральных интервалах они могут приближаться к характеристикам черного тела. Например, белая краска кажется идеально *белой* в спектре видимого света, но становится явно *серой* на длине волны примерно 2 мкм, а за пределами 3 мкм она вообще почти *черная*.

Реальным объектам помешать стать черными телами могут три процесса: часть α падающего излучения может быть поглощена, часть ρ может быть отражена, а часть τ может пройти через объект. Поскольку все эти процессы в той или иной степени зависят от длины волны, символ λ применяется для обозначения спектральной зависимости для их определения следующим образом.

- Коэффициент спектрального поглощения α_λ равен отношению мощности излучения, поглощенной объектом на определенной длине волны, ко всей входной мощности.
- Коэффициент спектрального отражения ρ_λ равен отношению мощности излучения, отраженной объектом на определенной длине волны, ко всей входной мощности.
- Коэффициент спектрального пропускания τ_λ равен отношению мощности излучения, прошедшей сквозь объект на определенной длине волны, ко всей входной мощности.

Сумма этих трех коэффициентов всегда должна равняться единице при любой длине волны, поэтому:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

Для непрозрачных материалов $\tau_{\lambda} = 0$, поэтому отношение упрощается:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Другой коэффициент, называемый коэффициентом излучения, требуется для описания части ε излучения черного тела, создаваемого объектом при определенной температуре. Таким образом, получаем следующее определение:

Спектральный коэффициент излучения ε_{λ} равен отношению спектральной мощности излучения, создаваемого объектом, к мощности излучения черного тела при одних и тех же температуре и длине волны.

Математически это может быть записано как отношение спектральной излучательной способности объекта к спектральной излучательной способности черного тела:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Вообще говоря, существует три типа источников излучения, отличающихся тем, как спектральная излучательная способность изменяется при изменении длины волны.

- Черное тело, для которого $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = 1$.
- Серое тело, для которого $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon =$ постоянная, меньшая единицы.
- Избирательный излучатель, для которого ε изменяется при изменении длины волны.

Согласно закону Кирхгоффа, для любого материала спектральный коэффициент излучения и спектральный коэффициент поглощения тела равны для любой заданной температуры и длины волны. То есть:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$$

Из этого для непрозрачных материалов мы получаем (поскольку $\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$):

$$\varepsilon_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Для хорошо отполированных материалов ε_{λ} приближается к нулю, поэтому для идеального отражающего материала (т.е. идеального зеркала) имеем

$$\rho_{\lambda} = 1$$

33 – Теория термографии

Для излучателя в виде серого тела формула Стефана-Больцмана принимает вид:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Это означает, что интегральная излучаемая мощность серого тела по сравнению с интегральной излучаемой мощностью черного тела меньше в соответствии с величиной ε для серого тела.

10401208;а2

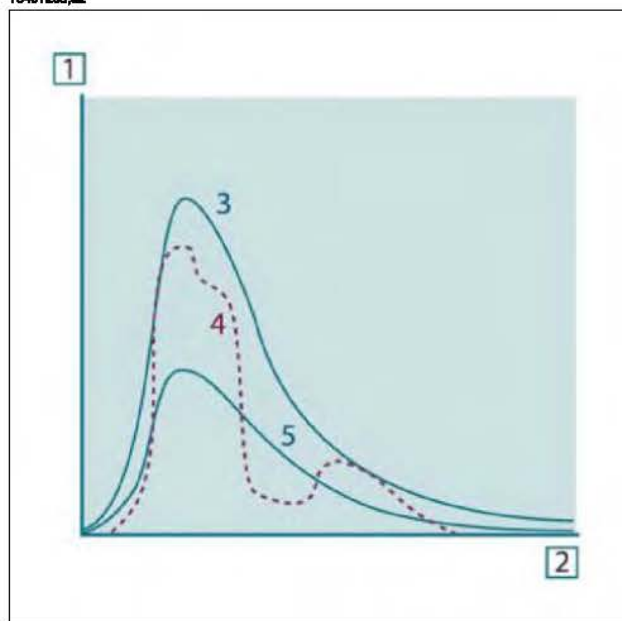


Рисунок 33.8 Спектральная излучательная способность трех типов излучателей 1: Спектральная излучательная способность; 2: Длина волны; 3: Черное тело; 4: Избирательный излучатель; 5: Серое тело.

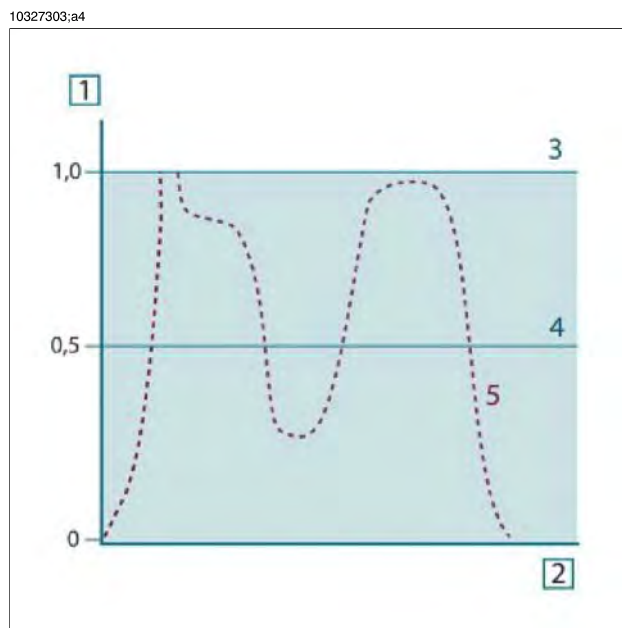


Рисунок 33.9 Спектральный коэффициент излучения трех типов излучателей 1: Спектральный коэффициент излучения; 2: Длина волны; 3: Черное тело; 4: Серое тело; 5: Избирательный излучатель.

33.4 Полупрозрачные для инфракрасных лучей материалы

Рассмотрим теперь неметаллическое полупрозрачное тело, например в виде толстой плоской плиты из пластикового материала. При нагревании такой плиты испускаемое из глубины этой плиты излучение должно пробиться сквозь материал на поверхности, причем оно частично поглощается материалом. Более того, когда оно достигнет поверхности, часть его будет отражена назад в глубину. Отраженное излучение опять частично будет поглощено, но некоторая его часть достигнет другой поверхности, через которую большая часть его покинет плиту, а другая будет опять отражена внутрь. Хотя последующие отражения становятся все слабее и слабее, их следует учитывать при нахождении общей излучательной способности плиты. После сложения результирующих геометрических рядов эффективный коэффициент излучения полупрозрачной плиты выражается следующей формулой:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Для непрозрачной плиты эта формула упрощается до вида:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

Это последнее отношение особенно удобно, т.к. часто бывает проще измерять отражение, чем напрямую измерять коэффициент излучения.

34 Формула для обработки результатов измерений

Как уже отмечалось, при наведении на объект камера принимает излучение не только от самого объекта. Она также принимает излучение от окружающей среды, которое отражается поверхностью объекта. Обе эти компоненты излучения, до некоторой степени, ослабляются при прохождении через атмосферу на пути к камере. В результате появляется третья составляющая излучения, создаваемая уже самой атмосферой.

Данное описание ситуации с измерениями, как показано на рисунке ниже, является довольно-таки близким к истине описанием реальных условий. Факторами, которыми в данном случае можно пренебречь, являются, например, рассеяние солнечного света в атмосфере или рассеянное излучение от сильных источников, находящихся вне поля обзора. Такие возмущения с трудом поддаются количественному описанию, однако в большинстве случаев они, к счастью, достаточно малы, чтобы ими можно пренебречь. В том случае, когда этими помехами пренебречь нельзя, конфигурация измерения будет, скорее всего, такова, что риск искажения очевиден, по крайней мере, для подготовленного оператора. Тогда ответственностью оператора будет изменение ситуации при выполнении измерений, чтобы избежать влияния помех, например путем изменения направления наблюдения, экранирования источников сильного излучения и т.п.

Приняв приведенное выше описание, мы можем использовать нижерасположенный рисунок для вывода формулы вычисления температуры объекта на выходе откалиброванной камеры.

10400803;а1

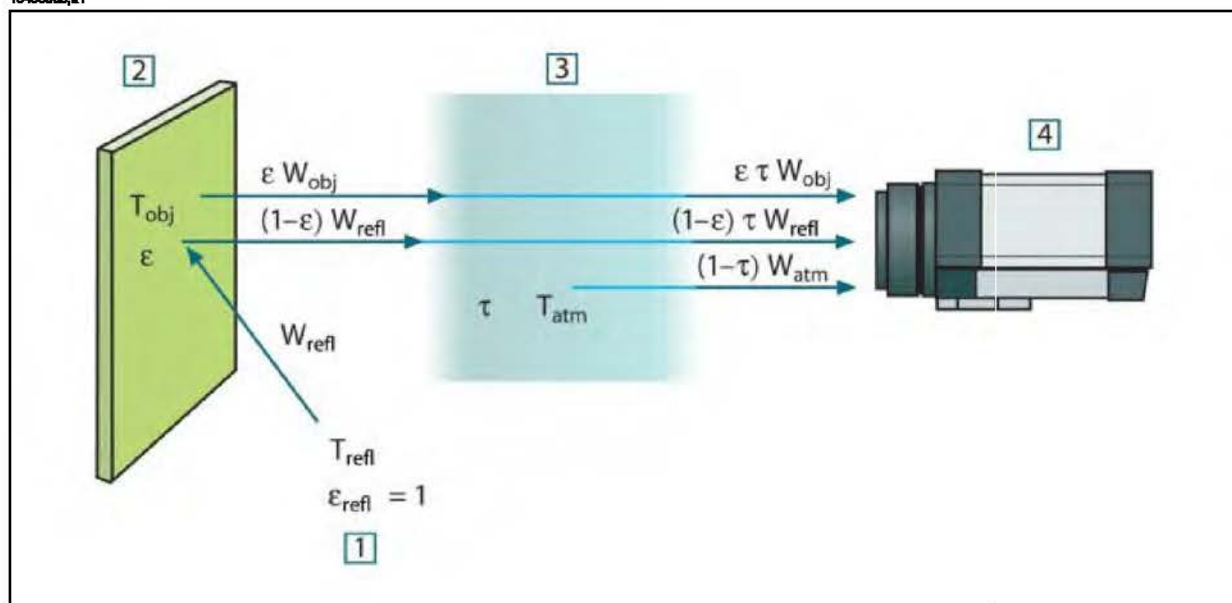


Рисунок 34.1 Схематическое представление ситуации при общих термографических измерениях
 1: Среда; 2: Объект; 3: Атмосфера; 4: Камера

Предположим, что энергия, получаемая при излучении W от черного тела в качестве источника температуры T_{source} на коротком расстоянии создает выходной сигнал камеры U_{source} , который пропорционален энергии на входе (камера с выходом, линейно пропорциональным мощности). Тогда можем записать (уравнение 1):

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

или упрощенно:

$$U_{source} = CW_{source}$$

где C - константа.

Если источником является серое тело с излучательной способностью ϵ , получаемое излучение будет, следовательно, иметь значение ϵW_{source} .

Теперь мы можем записать три слагаемых принимаемой энергии излучения:

1. **Светимость объекта** = $\epsilon \tau W_{obj}$, где ϵ является светимостью объекта, а τ является коэффициентом пропускания атмосферы. Температура объекта - T_{obj} .

2. **Отраженное излучение окружающих источников** = $(1 - \epsilon) \tau W_{refl}$, где $(1 - \epsilon)$ является коэффициентом отражения объекта. Сторонние источники имеют температуру T_{refl} .

34 – Формула для обработки результатов измерений

Расчеты основаны на допуске, что температура T_{refl} одинакова для всех излучающих поверхностей внутри полусферы, видимой с точки на поверхности объекта. Конечно, это является некоторым упрощением реальной ситуации. Однако это – необходимое упрощение для вывода формулы, с которой можно работать, а температуре T_{refl} можно, по крайней мере, теоретически сопоставить значение, которое будет соответствовать эффективной температуре сложной окружающей среды.

Следует также учесть, что за основу было взято предположение о том, что излучательная способность для окружающей среды = 1. Это соответствует закону Кирхгофа: все излучение, попадающее на окружающие поверхности, будет, в конечном счете, поглощено этими же поверхностями. Таким образом, излучательная способность = 1 (хотя следует отметить, что в дискуссиях последнего времени говорится о необходимости учета полной сферы вокруг объекта).

3. Светимость атмосферы = $(1 - \tau)TW_{atm}$, где $(1 - \tau)$ является светимостью атмосферы. Температура атмосферы равна T_{atm} .

Теперь можно записать общую получаемую энергию излучения (уравнение 2):

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm}$$

Умножаем каждое слагаемое на константу C из уравнения 1, заменяем произведения CW соответствующими U согласно тому же уравнению и получаем (уравнение 3):

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm}$$

Решаем уравнение 3 для U_{obj} (уравнение 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau} U_{atm}$$

Это общая формула измерений, используемая во всем термографическом оборудовании FLIR Systems. Напряжения, получаемые из данной формулы, следующие:

Рисунок 34.2 Напряжения

U_{obj}	Вычисленное выходное напряжение камеры для черного тела с температурой T_{obj} , т.е. напряжение, которое может быть преобразовано непосредственно в действительную температуру интересующего объекта.
U_{tot}	Измеренное выходное напряжение камеры для данного случая.

34 – Формула для обработки результатов измерений

U_{refl}	Теоретическое выходное напряжение камеры для черного тела с температурой T_{refl} согласно калибровке.
U_{atm}	Теоретическое выходное напряжение камеры для черного тела с температурой T_{atm} согласно калибровке.

Оператор должен предоставить для вычисления несколько значений параметров:

- излучательная способность объекта ε ;
- относительная влажность;
- T_{atm}
- расстояние до объекта (D_{obj});
- (эффективная) температура окружающей среды объекта или отраженная температура сторонних объектов T_{refl} ;
- температура атмосферы T_{atm} .

Эта задача иногда может оказаться трудновыполнимой для оператора, поскольку в конкретном случае обычно не существует простых способов получения точных значений излучательной способности и коэффициента пропускания атмосферы. Получение этих двух температур обычно не составляет сложностей, если окружающая среда не содержит больших и сильных источников излучения.

В этой связи возникает естественный вопрос: насколько важным является получение правильных значений этих параметров? Чтобы уже здесь ощутить эту проблему, представляется интересным рассмотреть некоторые различные случаи измерений и сравнить относительные величины трех слагаемых излучения. Это поможет ответить на вопрос о том, где важно использовать точные значения тех или иных параметров.

На приведенных ниже рисунках представлены относительные величины трех слагаемых излучения для трех различных температур объекта, двух значений излучательной способности и двух спектральных диапазонов: SW и LW. Остальные параметры имеют следующие фиксированные значения:

- $\tau = 0,88$;
- $T_{\text{refl}} = +20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^{\circ}\text{C}$

Является очевидным, что измерение низких температур объекта является более критичным нежели измерение высоких температур, поскольку в первом случае «возмущающие» источники излучения имеют сравнительно большее воздействие. Если при этом излучательная способность объекта низкая, то ситуация еще более усложняется.

34 – Формула для обработки результатов измерений

В завершение мы должны рассмотреть вопрос о важности получения возможности использовать кривую калибровки выше наивысшей точки калибровки, что называется экстраполяцией. Предположим, что в определенном случае в результате измерения мы получаем $U_{tot} = 4,5$ вольт. Максимальная точка калибровки для камеры была порядка 4,1 вольт; измеренное значение неизвестно оператору. Таким образом, даже если объектом является черное тело, т.е. $U_{obj} = U_{tot}$, мы фактически выполняем экстраполяцию кривой калибровки при преобразовании 4,5 вольт в значение температуры.

Теперь предположим, что объект не является черным и имеет излучательную способность (коэффициент излучения) 0,75, а коэффициент пропускания равен 0,92. Предположим также, что два последних слагаемых уравнения 4 вместе составляют 0,5 вольт. Вычислив U_{obj} через уравнение 4, получаем $U_{obj} = 4,5 / 0,75 / 0,92 - 0,5 = 6,0$. Эта экстраполяция является довольно рискованной, особенно если учесть, что видеоусилитель может ограничивать выход до 5 вольт! Однако следует отметить, что применение кривой калибровки является теоретической процедурой, при которой не существует электронных или иных ограничений. Можно с уверенностью утверждать, что если бы не существовало ограничений на сигнал в камере и если бы значение калибровки камеры намного превышало 5 вольт, полученная в результате кривая в значительной степени совпадала бы с нашей реальной кривой, экстраполированной на значения выше 4,1 вольта, при условии, что алгоритм калибровки основан на физике процесса излучения, как и алгоритм FLIR Systems. Но, конечно, для таких экстраполяций должно существовать ограничение.

34 – Формула для обработки результатов измерений

10400803; a2

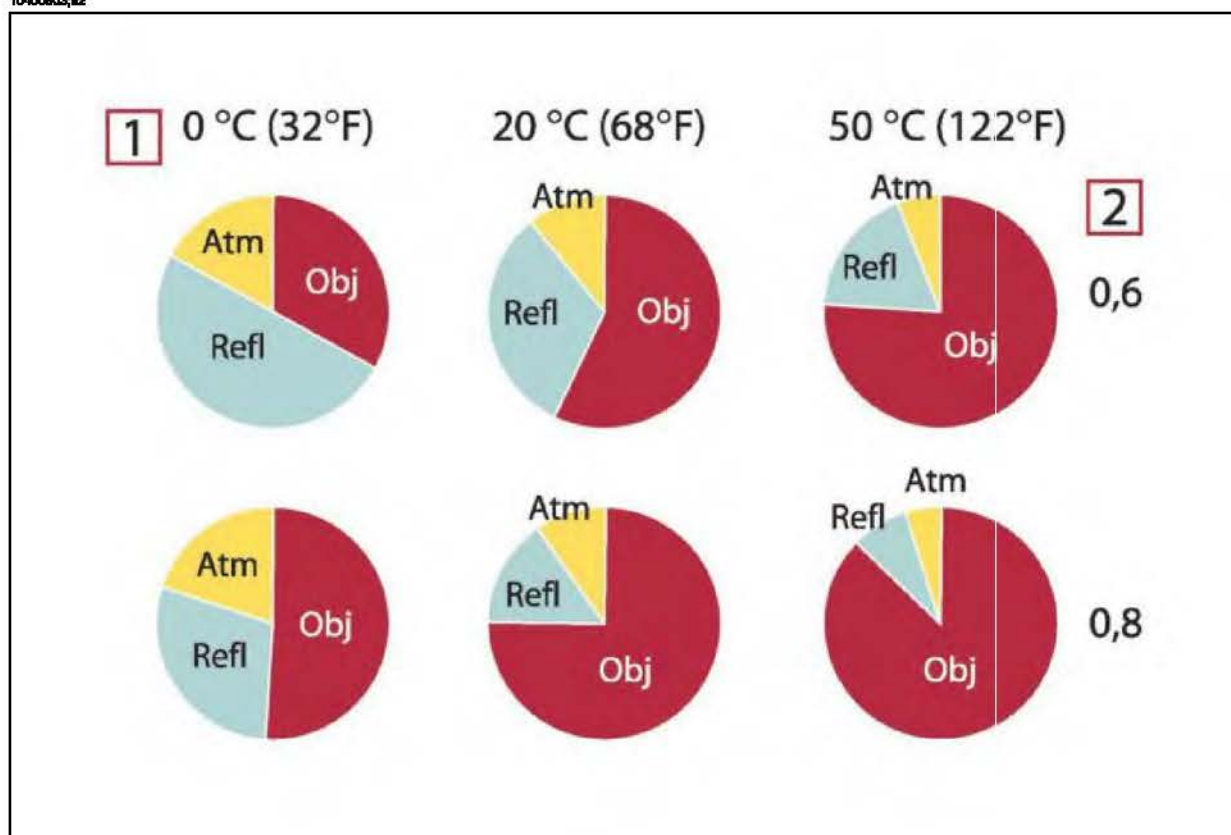


Рисунок 34.3 Относительные величины источников излучения при различных условиях измерений (SW-камера). 1: Температура объекта; 2: Светимость; **Obj**: Излучение объекта; **Refl**: Отраженное излучение; **Atm**: излучение атмосферы. Фиксированные параметры: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20^\circ\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^\circ\text{C}$.

34 – Формула для обработки результатов измерений

10400703; a2

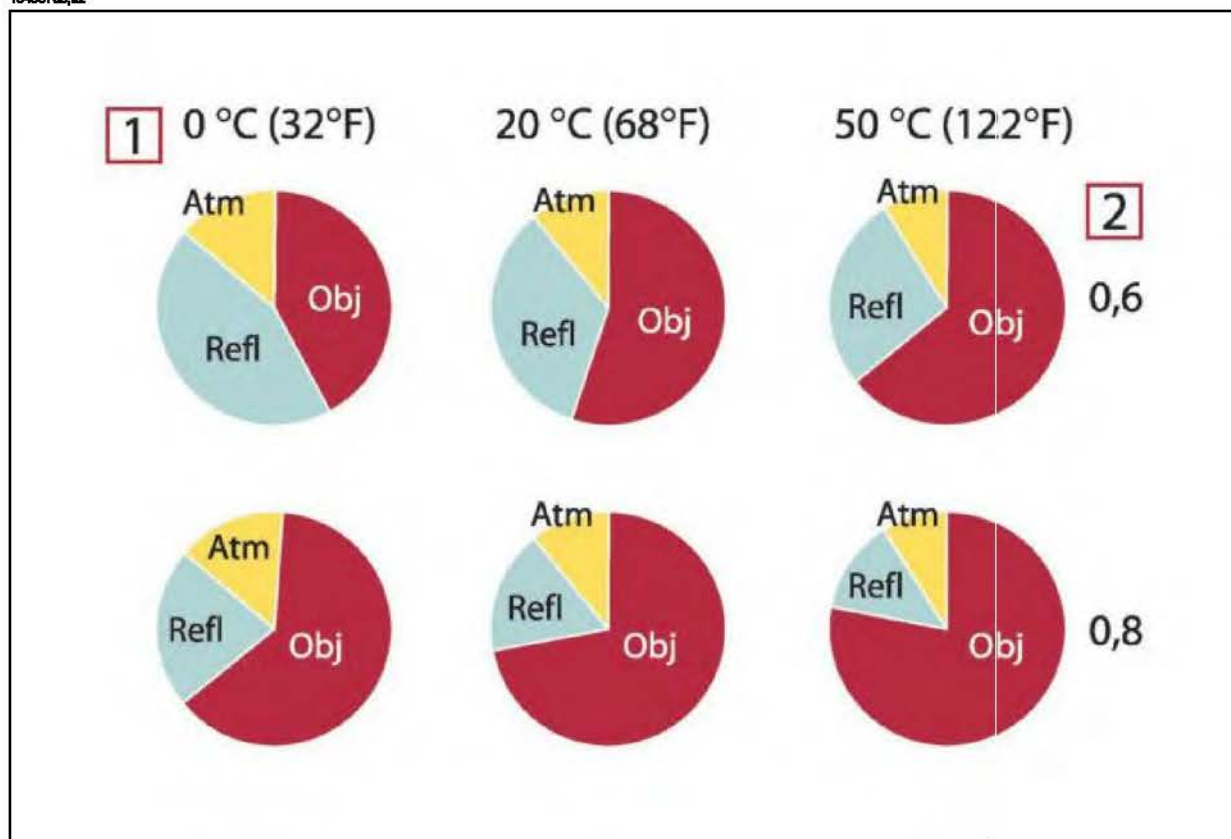


Рисунок 34.4 Относительные величины источников излучения при различных условиях измерений (LW-камера). 1: Температура объекта; 2: Светимость; **Obj**: Излучение объекта; **Refl**: Отраженное излучение; **Atm**: излучение атмосферы. Фиксированные параметры: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^{\circ}\text{C}$.

35 Таблицы коэффициентов излучения

В данном разделе представлены сводные данные по коэффициенту излучения, полученные из литературы по ИК-технике, а также по результатам измерений, выполненных компанией FLIR Systems.

35.1 Список литературы

1	Mikaél A. Bramson: <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> , Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: <i>Thermographic Instruments and systems</i> . Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: <i>External thermography of buildings...</i> , Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: <i>Thermography of Buildings</i> , Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J: <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$</i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> , Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: <i>Emittansmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10	Mattei, S., Tang-Kwor, E: <i>Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between -36°C AND 82°C</i> .
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	Техническая публикация ITC 32.
13	Техническая публикация ITC 29.

35 – Таблицы коэффициентов излучения

35.2 Важное примечание по таблицам коэффициентов излучения

Значения коэффициента излучения в таблице приведены для коротковолновой (SW) камеры. Данные носят только рекомендательный характер и должны применяться с необходимой мерой предосторожности.

35.3 Таблицы

Рисунок 35.1 Т: Полный спектр; SW: 2–5 мкм; LW: 8–14 мкм; LLW: 6,5–20 мкм; 1: Материал; 2: Описание; 3: Температура, °C; 4: Спектр; 5: Коэффициент излучения 6: Ссылка на источник

1	2	3	4	5	6
Krylon сверхгладкий, черный 1602	Гладкий, черный	Комнатная температура до 175	LW	Ок. 0,96	12
Krylon сверхгладкий, черный 1602	Гладкий, черный	Комнатная температура до 175	MW	Ок. 0,97	12
Nextel Velvet 811-21 черный	Гладкий, черный	–60–150	LW	> 0,97	10 и 11
Алюминиевая бронза		20	T	0,60	1
Алюминий	анодированный, светло-серый, тусклый	70	LW	0,97	9
Алюминий	анодированный, светло-серый, тусклый	70	SW	0,61	9
Алюминий	анодированный, черный, тусклый	70	LW	0,95	9
Алюминий	анодированный, черный, тусклый	70	SW	0,67	9
Алюминий	анодированный лист	100	T	0,55	2
Алюминий	без обработки, лист	100	T	0,09	2
Алюминий	без обработки, пластина	100	T	0,09	4
Алюминий	лист, 4 образца с царапинами различного вида	70	LW	0,03–0,06	9

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Алюминий	лист, 4 образца с царапинами различного вида	70	SW	0,05–0,08	9
Алюминий	напыленный в вакууме	20	T	0,04	2
Алюминий	обработанная на- мерно поверх- ность	27	3 мкм	0,28	3
Алюминий	обработанная на- мерно поверх- ность	27	10 мкм	0,18	3
Алюминий	отливка, песко- струйная очистка	70	LW	0,46	9
Алюминий	отливка, песко- струйная очистка	70	SW	0,47	9
Алюминий	погруженная в HNO ₃ , пластина	100	T	0,05	4
Алюминий	подвергшийся сильным атмо- сферным воздей- ствиям	17	SW	0,83–0,94	5
Алюминий	полированная пластина	100	T	0,05	4
Алюминий	полированный	50–100	T	0,04–0,06	1
Алюминий	полированный, лист	100	T	0,05	2
Алюминий	сильно окислен- ный	50–500	T	0,2–0,3	1
Алюминий	фольга	27	3 мкм	0,09	3
Алюминий	фольга	27	10 мкм	0,04	3
Алюминий	шероховатая по- верхность	20–50	T	0,06–0,07	1
Асбест	бумага	40–400	T	0,93–0,95	1
Асбест	доска	20	T	0,96	1
Асбест	половая плитка	35	SW	0,94	7
Асбест	порошок		T	0,40–0,60	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Асбест	ткань		T	0,78	1
Асбест	шифер	20	T	0,96	1
Асфальтовое покрытие		4	LLW	0,967	8
Бетон		20	T	0,92	2
Бетон	покрытие дорожки	5	LLW	0,974	8
Бетон	сухой	36	SW	0,95	7
Бетон	шероховатый	17	SW	0,97	5
Бронза	полированный	50	T	0,1	1
Бронза	пористая, необработанная	50–150	T	0,55	1
Бронза	порошок		T	0,76–0,80	1
Бронза	фосфористая бронза	70	LW	0,06	9
Бронза	фосфористая бронза	70	SW	0,08	9
Бумага	4 различных цвета	70	LW	0,92–0,94	9
Бумага	4 различных цвета	70	SW	0,68–0,74	9
Бумага	белая, 3 различных глянца	70	LW	0,88–0,90	9
Бумага	белая, 3 различных глянца	70	SW	0,76–0,78	9
Бумага	белая документная	20	T	0,93	2
Бумага	белый	20	T	0,7–0,9	1
Бумага	желтая		T	0,72	1
Бумага	зеленая		T	0,85	1
Бумага	красная		T	0,76	1
Бумага	покрытая черным лаком		T	0,93	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Бумага	тёмно-синяя		T	0,84	1
Бумага	черная		T	0,90	1
Бумага	черный, тусклый		T	0,94	1
Бумага	черный, тусклый	70	LW	0,89	9
Бумага	черный, тусклый	70	SW	0,86	9
Вода	дистиллированная	20	T	0,96	2
Вода	кристаллы изморози	–10	T	0,98	2
Вода	слой толщиной >0,1 мм	0–100	T	0,95–0,98	1
Вода	снег		T	0,8	1
Вода	снег	–10	T	0,85	2
Вода	снег, гладкий	–10	T	0,96	2
Вода	снег, гладкий	0	T	0,97	1
Вода	снег, покрытый толстой коркой	0	T	0,98	1
Вольфрам		200	T	0,05	1
Вольфрам		600–1000	T	0,1–0,16	1
Вольфрам		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Вольфрам	нить	3300	T	0,39	1
Гидроокись алюминия	порошок		T	0,28	1
Гипс		20	T	0,8–0,9	1
Гипс штукатурный	шероховатый, с известью	10–90	T	0,91	1
Глина	обожжённая	70	T	0,91	1
Гранит	полированный	20	LLW	0,849	8
Гранит	шероховатый	21	LLW	0,879	8
Гранит	шероховатый, 4 различных образца	70	LW	0,77–0,87	9

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Гранит	шероховатый, 4 различных образца	70	SW	0,95–0,97	9
Гудрон			T	0,79–0,84	1
Гудрон	бумага	20	T	0,91–0,93	1
Двуокись меди	порошок		T	0,84	1
Древесина		17	SW	0,98	5
Древесина		19	LLW	0,962	8
Древесина	белая, влажная	20	T	0,7–0,8	1
Древесина	древесная масса		T	0,5–0,7	1
Древесина	сосна, 4 различных образца	70	LW	0,81–0,89	9
Древесина	сосна, 4 различных образца	70	SW	0,67–0,75	9
Древесина	строганая доска из дуба	20	T	0,90	2
Древесина	строганая доска из дуба	70	LW	0,88	9
Древесина	строганая доска из дуба	70	SW	0,77	9
Древесина	строганный пиломатериал	20	T	0,8–0,9	1
Древесина	фанера, гладкая, сухая	36	SW	0,82	7
Древесина	фанера, необработанная	20	SW	0,83	6
Древесново-локнистая плита	древесностружечная плита	70	LW	0,89	9
Древесново-локнистая плита	древесностружечная плита	70	SW	0,77	9
Древесново-локнистая плита	мазонит	70	LW	0,88	9
Древесново-локнистая плита	мазонит	70	SW	0,75	9

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Древесново-локнистая плита	пористая, необработанная	20	SW	0,85	6
Древесново-локнистая плита	твердая, необработанная	20	SW	0,85	6
Железо и сталь	блестящий оксидный слой, лист	20	T	0,82	1
Железо и сталь	горячекатаная	20	T	0,77	1
Железо и сталь	горячекатаная	130	T	0,60	1
Железо и сталь	катаная листовая	50	T	0,56	1
Железо и сталь	лист заземления	950–1100	T	0,55–0,61	1
Железо и сталь	обработанная под давлением, тщательно отполированная	40–250	T	0,28	1
Железо и сталь	окисленная	100	T	0,74	1
Железо и сталь	окисленная	100	T	0,74	4
Железо и сталь	окисленная	125–525	T	0,78–0,82	1
Железо и сталь	окисленная	200	T	0,79	2
Железо и сталь	окисленная	200–600	T	0,80	1
Железо и сталь	окисленная	1227	T	0,89	4
Железо и сталь	отполированная, подвергшаяся травлению	150	T	0,16	1
Железо и сталь	покрытая рыжей ржавчиной	20	T	0,61–0,85	1
Железо и сталь	покрытый рыжей ржавчиной лист	22	T	0,69	4
Железо и сталь	полированный	100	T	0,07	2
Железо и сталь	полированный	400–1000	T	0,14–0,38	1
Железо и сталь	полированный лист	750–1050	T	0,52–0,56	1
Железо и сталь	ржавая, рыжего цвета	20	T	0,69	1
Железо и сталь	свежескатаная	20	T	0,24	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Железо и сталь	свежеобработанная наждаком	20	T	0,24	1
Железо и сталь	сильно заржавевший лист	20	T	0,69	2
Железо и сталь	сильно окисленная	50	T	0,88	1
Железо и сталь	сильно окисленная	500	T	0,98	1
Железо и сталь	с сильной ржавчиной	17	SW	0,96	5
Железо и сталь	холоднокатная	70	LW	0,09	9
Железо и сталь	холоднокатная	70	SW	0,20	9
Железо и сталь	шероховатая плоская поверхность	50	T	0,95–0,98	1
Железо и сталь	электролитическая	22	T	0,05	4
Железо и сталь	электролитическая	100	T	0,05	4
Железо и сталь	электролитическая	260	T	0,07	4
Железо и сталь	электролитическая, тщательно отполированная	175–225	T	0,05–0,06	1
Железо оцинкованное	лист	92	T	0,07	4
Железо оцинкованное	лист, окисленный	20	T	0,28	1
Железо оцинкованное	лист, полированный	30	T	0,23	1
Железо оцинкованное	сильно окисленное	70	LW	0,85	9
Железо оцинкованное	сильно окисленное	70	SW	0,64	9

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Золото	отполированная до зеркального блеска	100	T	0,02	2
Золото	полированный	130	T	0,018	1
Золото	тщательно отполированное	200–600	T	0,02–0,03	1
Известь			T	0,3–0,4	1
Кирпич	водостойкий	17	SW	0,87	5
Кирпич	глинозем	17	SW	0,68	5
Кирпич	Динасовый огнеупор	1000	T	0,66	1
Кирпич	Динасовый огнеупор, глазурированный, шероховатый	1100	T	0,85	1
Кирпич	Динасовый огнеупор, неглазурированный, шероховатый	1000	T	0,80	1
Кирпич	каменная кладка	35	SW	0,94	7
Кирпич	каменная кладка, покрытая штукатуркой	20	T	0,94	1
Кирпич	красный, обыкновенный	20	T	0,93	2
Кирпич	красный, шероховатый	20	T	0,88–0,93	1
Кирпич	кремнезем, 95% SiO ₂	1230	T	0,66	1
Кирпич	обыкновенный	17	SW	0,86–0,81	5
Кирпич	огнеупорная глина	20	T	0,85	1
Кирпич	огнеупорная глина	1000	T	0,75	1
Кирпич	огнеупорная глина	1200	T	0,59	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Кирпич	огнеупорный, корунд	1000	T	0,46	1
Кирпич	огнеупорный, магнезитовый	1000–1300	T	0,38	1
Кирпич	огнеупорный, сильно излучающий	500–1000	T	0,8–0,9	1
Кирпич	огнеупорный, слабо излучающий	500–1000	T	0,65–0,75	1
Кирпич	силлиманит, 33% SiO ₂ , 64% Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Кирпич	шамотный кирпич	17	SW	0,68	5
Кожа	загорелая		T	0,75–0,80	1
Кожа	человека	32	T	0,98	2
Краска	8 различных цветов и различного качества	70	LW	0,92–0,94	9
Краска	8 различных цветов и различного качества	70	SW	0,88–0,96	9
Краска	Алюминий, различный возраст	50–100	T	0,27–0,67	1
Краска	кадмий, желтый		T	0,28–0,33	1
Краска	кобальт, синий		T	0,7–0,8	1
Краска	масляная	17	SW	0,87	5
Краска	масляная, различные цвета	100	T	0,92–0,96	1
Краска	масляная, серая блестящая поверхность	20	SW	0,96	6
Краска	масляная, серая плоская поверхность	20	SW	0,97	6

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Краска	масляная, черная блестящая поверхность	20	SW	0,92	6
Краска	масляная, черная плоская поверхность	20	SW	0,94	6
Краска	на основе масла, в среднем 16 цветов	100	T	0,94	2
Краска	пластик, белый	20	SW	0,84	6
Краска	пластик, черный	20	SW	0,95	6
Краска	хром, зеленый		T	0,65–0,70	1
Лак	3-цветное распыление на алюминий	70	LW	0,92–0,94	9
Лак	3-цветное распыление на алюминий	70	SW	0,50–0,53	9
Лак	Алюминий на шероховатой поверхности	20	T	0,4	1
Лак	бакелит	80	T	0,83	1
Лак	белый	40–100	T	0,8–0,95	1
Лак	белый	100	T	0,92	2
Лак	на паркетном полу из дуба	70	LW	0,90–0,93	9
Лак	на паркетном полу из дуба	70	SW	0,90	9
Лак	на плоской поверхности	20	SW	0,93	6
Лак	теплостойкий	100	T	0,92	1
Лак	черный, блестящий, набрызганный на железо	20	T	0,87	1
Лак	черный, матовый	100	T	0,97	2
Лак	черный, тусклый	40–100	T	0,96–0,98	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Латунь	листовая, катаная	20	T	0,06	1
Латунь	листовая, обработанная наждаком	20	T	0,2	1
Латунь	обработанная наждаком с зернистостью 80	20	T	0,20	2
Латунь	окисленная	70	SW	0,04–0,09	9
Латунь	окисленная	70	LW	0,03–0,07	9
Латунь	окисленная	100	T	0,61	2
Латунь	окисленная при 600°C	200–600	T	0,59–0,61	1
Латунь	отполированная до зеркального блеска	100	T	0,03	2
Латунь	полированный	200	T	0,03	1
Латунь	тусклая, матированная	20–350	T	0,22	1
Лед: см, Вода					
Луженое железо	лист	24	T	0,064	4
Магний		22	T	0,07	4
Магний		260	T	0,13	4
Магний		538	T	0,18	4
Магний	полированный	20	T	0,07	2
Масло смазочное	0,025-мм пленка	20	T	0,27	2
Масло смазочное	0,050-мм пленка	20	T	0,46	2
Масло смазочное	0,125-мм пленка	20	T	0,72	2
Масло смазочное	пленка на Ni-подложке: только Ni-подложка	20	T	0,05	2
Масло смазочное	толстый слой	20	T	0,82	2
Медь	механически отполированная	22	T	0,015	4
Медь	окисленная	50	T	0,6–0,7	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Медь	окисленная, черная	27	T	0,78	4
Медь	окисленная до черного цвета		T	0,88	1
Медь	полированная, технически чистая	27	T	0,03	4
Медь	полированный	50–100	T	0,02	1
Медь	полированный	100	T	0,03	2
Медь	расплавленная	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Медь	сильно окисленная	20	T	0,78	2
Медь	технически чистая, полированная	20	T	0,07	1
Медь	чистая, тщательно отполированная поверхность	22	T	0,008	4
Медь	шаброванная	27	T	0,07	4
Медь	электролитическая, полированная	–34	T	0,006	4
Медь	электролитическая, тщательно отполированная	80	T	0,018	1
Молибден		600–1000	T	0,08–0,13	1
Молибден		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Молибден	нить	700–2500	T	0,1–0,3	1
Наждак	грубый	80	T	0,85	1
Нержавеющая сталь	катаный	700	T	0,45	1
Нержавеющая сталь	лист, необработанный, слегка поцарапанный	70	LW	0,28	9

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Нержавеющая сталь	лист, необработанный, слегка поцарапанный	70	SW	0,30	9
Нержавеющая сталь	лист, полированный	70	LW	0,14	9
Нержавеющая сталь	лист, полированный	70	SW	0,18	9
Нержавеющая сталь	обработанный пескоструйной установкой	700	T	0,70	1
Нержавеющая сталь	сплав, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35	1
Нержавеющая сталь	тип 18-8, окисленная при 800°C	60	T	0,85	2
Нержавеющая сталь	тип 18-8, отполированная на круге	20	T	0,16	2
Никель	окисленная	200	T	0,37	2
Никель	окисленная	227	T	0,37	4
Никель	окисленная	1227	T	0,85	4
Никель	окисленная при 600°C	200–600	T	0,37–0,48	1
Никель	полированный	122	T	0,045	4
Никель	провод	200–1000	T	0,1–0,2	1
Никель	технически чистый, полированный	100	T	0,045	1
Никель	технически чистый, полированный	200–400	T	0,07–0,09	1
Никель	чистый матированный	122	T	0,041	4
Никель	электролитическая	22	T	0,04	4
Никель	электролитическая	38	T	0,06	4

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Никель	электролитическая	260	T	0,07	4
Никель	электролитическая	538	T	0,10	4
Никель	электроосажденный, полированный	20	T	0,05	2
Никель	электроосажденный на железо, неполированный	20	T	0,11–0,40	1
Никель	электроосажденный на железо, неполированный	22	T	0,11	4
Никель	электроосажденный на железо, полированный	22	T	0,045	4
Нихром	катаный	700	T	0,25	1
Нихром	обработанный пескоструйной установкой	700	T	0,70	1
Нихром	провод, окисленный	50–500	T	0,95–0,98	1
Нихром	провод, чистый	50	T	0,65	1
Нихром	провод, чистый	500–1000	T	0,71–0,79	1
Обои	малозаметный рисунок, красные	20	SW	0,90	6
Обои	малозаметный рисунок, светло-серые	20	SW	0,85	6
Одежда	черная	20	T	0,98	1
Оксид алюминия	активированный, порошок		T	0,46	1
Оксид алюминия	беспримесный, порошок (глинозем)		T	0,16	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Оксид меди	красного цвета, порошок		T	0,70	1
Оксид никеля		500–650	T	0,52–0,59	1
Оксид никеля		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Олово	луженое листовое железо	100	T	0,07	2
Олово	отполированное	20–50	T	0,04–0,06	1
Пенопласт	изоляция	37	SW	0,60	7
Песок			T	0,60	1
Песок		20	T	0,90	2
Песчаник	полированный	19	LLW	0,909	8
Песчаник	шероховатый	19	LLW	0,935	8
Пластик	поливинилхлорид, пластиковый пол, тусклый, структурированный	70	LW	0,93	9
Пластик	поливинилхлорид, пластиковый пол, тусклый, структурированный	70	SW	0,94	9
Пластик	полиуретановая изоляционная плита (фриголит)	70	LW	0,55	9
Пластик	полиуретановая изоляционная плита (фриголит)	70	SW	0,29	9
Пластик	стеклотекстолит (печатная плита)	70	LW	0,91	9
Пластик	стеклотекстолит (печатная плита)	70	SW	0,94	9
Платина		17	T	0,016	4
Платина		22	T	0,03	4
Платина		100	T	0,05	4

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Платина		260	T	0,06	4
Платина		538	T	0,10	4
Платина		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Платина		1094	T	0,18	4
Платина	лента	900–1100	T	0,12–0,17	1
Платина	провод	50–200	T	0,06–0,07	1
Платина	провод	500–1000	T	0,10–0,16	1
Платина	провод	1400	T	0,18	1
Платина	чистая, полиро- ванная	200–600	T	0,05–0,10	1
Плита из прессо- ванных опилок	необработанная	20	SW	0,90	6
Порошок магния			T	0,86	1
Почва	насыщенная во- дой	20	T	0,95	2
Почва	сухой	20	T	0,92	2
Резина	мягкая, серая, шероховатая	20	T	0,95	1
Резина	твердая	20	T	0,95	1
Свинец	блестящий	250	T	0,08	1
Свинец	неокисленный, полированный	100	T	0,05	4
Свинец	окисленная при 200°C	200	T	0,63	1
Свинец	окисленный, се- рый	20	T	0,28	1
Свинец	окисленный, се- рый	22	T	0,28	4
Свинцовый су- рик		100	T	0,93	4
Свинцовый су- рик, порошок		100	T	0,93	1
Серебро	полированный	100	T	0,03	2

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Серебро	чистая, полиро- ванная	200–600	T	0,02–0,03	1
Снег: см. Вода					
Строительный раствор		17	SW	0,87	5
Строительный раствор	сухой	36	SW	0,94	7
Тип 3М, 35	Виниловая изоля- ционная лента (несколько цве- тов)	< 80	LW	Ок. 0,96	13
Тип 3М, 88	Черная винило- вая изоляцион- ная лента	< 105	LW	Ок. 0,96	13
Тип 3М, 88	Черная винило- вая изоляцион- ная лента	< 105	MW	< 0,96	13
Тип 3М, Super 33+	Черная винило- вая изоляцион- ная лента	< 80	LW	Ок. 0,96	13
Титан	окисленная при 540°C	200	T	0,40	1
Титан	окисленная при 540°C	500	T	0,50	1
Титан	окисленная при 540°C	1000	T	0,60	1
Титан	полированный	200	T	0,15	1
Титан	полированный	500	T	0,20	1
Титан	полированный	1000	T	0,36	1
Углерод	графит, поверх- ность, обработан- ная напильником	20	T	0,98	2
Углерод	графитовый по- рошок		T	0,97	1
Углерод	ламповая копоть	20–400	T	0,95–0,97	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Углерод	порошок древесного угля		T	0,96	1
Углерод	сажа от свечи	20	T	0,95	2
Фарфор	белый, блестящий		T	0,70–0,75	1
Фарфор	покрытый глазурью	20	T	0,92	1
Хром	полированный	50	T	0,10	1
Хром	полированный	500–1000	T	0,28–0,38	1
Цинк	лист	50	T	0,20	1
Цинк	окисленная поверхность	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Цинк	окисленная при 400°C	400	T	0,11	1
Цинк	полированный	200–300	T	0,04–0,05	1
Черепица	покрытый глазурью	17	SW	0,94	5
Чугун	болванки	1000	T	0,95	1
Чугун	в виде отливки	50	T	0,81	1
Чугун	в расплавленном виде	1300	T	0,28	1
Чугун	необработанный	900–1100	T	0,87–0,95	1
Чугун	обработанный	800–1000	T	0,60–0,70	1
Чугун	окисленная	38	T	0,63	4
Чугун	окисленная	100	T	0,64	2
Чугун	окисленная	260	T	0,66	4
Чугун	окисленная	538	T	0,76	4
Чугун	окисленная при 600°C	200–600	T	0,64–0,78	1
Чугун	полированный	38	T	0,21	4
Чугун	полированный	40	T	0,21	2
Чугун	полированный	200	T	0,21	1

35 – Таблицы коэффициентов излучения

1	2	3	4	5	6
Шлак	котла	0–100	T	0,97–0,93	1
Шлак	котла	200–500	T	0,89–0,78	1
Шлак	котла	600–1200	T	0,76–0,70	1
Шлак	котла	1400–1800	T	0,69–0,67	1
Штукатурка		17	SW	0,86	5
Штукатурка	намет штукатурки шероховатый	20	T	0,91	2
Штукатурка	штукатурная пли- та, необработан- ная	20	SW	0,90	6
Эбонит			T	0,89	1
Эмаль		20	T	0,9	1
Эмаль	лак	20	T	0,85–0,95	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit <http://www.w3.org/XML/>

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

List of effective files

20235111.xml a15
20235211.xml a10
20235311.xml a11
20236711.xml a22
20237111.xml a11
20238511.xml a8
20238711.xml a7
20250411.xml a18
20254903.xml a71
20257011.xml a22
20257111.xml a7
20257311.xml a14
20273211.xml a11
20275211.xml a14
20279811.xml a6
20281011.xml a3
20287311.xml a4
20292411.xml a2
20295011.xml a4
20295711.xml a1
20295811.xml a1
20295911.xml a1
20296111.xml a1
20296211.xml a1
20296311.xml a1
20296411.xml a1
20296511.xml a1
20296611.xml a1
20296711.xml a1
20296811.xml a1
20296911.xml a1
20297011.xml a1
20297211.xml a1
20297311.xml a1
20297411.xml a2
20297511.xml a1
20297611.xml a1
20299611.xml a1
R133.rcp a4
config.xml a5



Corporate Headquarters
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-800-727-3547
Website: <http://www.flir.com>