ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ
НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Часть 3

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Раздел 1

ИСПЫТАНИЯ НА ХОЛОД И СУХОЕ ТЕПЛО

ГОСТ 28236—89
(СТ МЭК 68—3—1—74)

БЗ 5—89/429

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Официальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам, подготовленные техническими комитетами, в которых представлены все заинтересованные национальные комитеты, выражают с возможной точностью международную согласованную точку зрения по рассматриваемым вопросам.

2. Эти решения представляют собой рекомендации для международного пользования и в этом виде принимаются национальными комитетами.

3. В целях содействия международной унификации МЭК выражает пожелание, чтобы национальные комитеты приняли за основу настоящий стандарт МЭК в качестве своих национальных стандартов, насколько это позволяют условия каждой страны.

Любое расхождение со стандартами МЭК должно быть четко указано в соответствующих национальных стандартах.

ВВЕДЕНИЕ

Стандарт МЭК 68—3—1—74 подготовлен Подкомитетом 50В «Климатические испытания» Технического комитета 50 МЭК «Испытания на воздействие внешних факторов».

В ней содержатся основные сведения, дополняющие СТ МЭК 68—2—1: «Испытания А. Холод» и СТ МЭК 68—2—2. «Испытания В. Сухое тепло».

Первый проект документа обсуждался на совещании в Вашингтоне в 1970 г. В результате решений этого совещания в апреле 1971 г. национальным комитетам был представлен на утверждение по Правилу шести месяцев второй проект — документ 50В (Центральное бюро) 161.

За издание стандарта голосовали следующие страны:

Австралия
Бельгия
Великобритания*
Венгрия
Дания
Израиль
Иран
Италия
Нидерланды
Норвегия
Португалия
Румыния
Союз Советских Социалистических Республик
Соединенные Штаты Америки
Турция
Федеративная Республика Германии
Финляндия
Франция
Чехословакия
Швейцария
Швеция
Южно-Американская Республика
Япония

---

* Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии.

УДК 621.38:620.193:006.354 Группа Э29

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Основные методы
испытаний на воздействие внешних факторов
Часть 3

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Раздел 1

ИСПЫТАНИЯ НА ХОЛОД И СУХОЕ ТЕПЛО

Basic environmental testing procedures.
Part 3. Background information.
Section 1. Cold and dry heat tests

ОКСТУ 6000, 6100, 6200, 6300

ГОСТ
28236—89
(СТ МЭК
68—3—1—74)

Дата введения 01.03.90

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Собственная температура влияет на рабочие характеристики и ограничивает работоспособность элементов и аппаратуры. Она зависит как от условий окружающей среды, так и от количества тепла, рассеиваемого самим изделием.

Всякий раз, когда в системе, образованной образцом и окружающей средой, имеет место температурный градиент, возникает процесс теплообмена.

Испытания на холод и сухое тепло характеризуются как резким, так и постепенным изменением температуры и предназначены для нетеплорассеивающих и теплорассеивающих образцов (последние могут быть снабжены системой искусственного охлаждения или не иметь ее).

В зависимости от обстоятельств предусматривается использование камер с применением принудительной циркуляции воздуха или без нее.

Общая блок-схема всех методов приведена в приложении К.

1.1. Окружающая среда, условия проведения

Действительные условия окружающей среды, в которых образец должен работать, обычно не только недостаточно точно известны, но и недостаточно определены, поэтому руководствоваться ими в качестве основы при проектировании, составлении соответствующей НТД и проведении испытаний не представляется возможным.

Издание официальное Перепечатка воспрещена
© Издательство стандартов, 1989

В связи с этим необходимо установить стандартные условия окружающей среды, которые могут быть определены с учетом нижеизложенного.

1.2. **Нетеплорассеивающие образцы**

Если температура окружающей среды постоянна и распределена равномерно и внутри образца тепло не рассеивается, тепловой поток будет устремляться из окружающей среды внутрь образца, когда температура окружающей среды выше температуры внутри образца, и в обратном направлении, когда температура окружающей среды ниже температуры внутри образца. Процесс теплообмена будет продолжаться до тех пор, пока не наступит тепловое равновесие между всеми частями образца и окружающей средой. После этого теплообмен прекращается и возобновляется только в том случае, если изменяется температура окружающей среды. Определить стандартную температуру окружающей среды в данном случае не представляет трудностей при условии, что она постоянна и распределена равномерно. В случае, когда образец не достигает теплового равновесия с окружающей средой, определение стандартной температуры оказывается более сложным и следует применять выводы, изложенные в п. 1.3.

1.3. **Теплорассеивающие образцы**

Если внутри образца происходит выделение энергии при отсутствии теплоотдачи в окружающую среду, то температура образца повышается неограниченно. Следовательно, если устанавливается некоторая постоянная температура образца, то это означает, что тепловой поток постоянно направлен от образца в окружающую среду, в результате чего обязательно происходит охлаждение образца независимо от окружающей среды.

Дальнейшее повышение температуры образца может произойти только в том случае, если температура окружающей среды повышается.

Стандартная температура окружающей среды для этого случая, очевидно, должна быть определена таким образом, чтобы создавались простые и хорошо воспроизводимые условия передачи тепла. Поскольку передача тепла осуществляется посредством трех различных механизмов — конвенции, излучения и теплопроводности, для каждого из них в отдельности и для всех трех одновременно должны быть созданы строго определенные условия.

Если одному из видов испытаний на сухое тепло подвергается несколько образцов в одной камере, то необходимо, чтобы все образцы находились в одинаковых температурных условиях окружающей среды и монтировались идентично. Однако при проведении испытаний на холод было сочтено нецелесообразным проводить различие между испытанием одного образца и испытанием нескольких образцов.

1.4. **Температура окружающей среды**

Потребителям элементов и аппаратуры (особенно аппаратуры) необходимо знать максимальные и минимальные значения температуры окружающей среды, при которых образец будет работать, и эти значения для испытаний должны быть конкретно установлены.

Здесь возникают определенные трудности, обусловленные тем, что процесс теплообмена связан с температурными градиентами, и поэтому температура среды вокруг образца неизбежно различна в разных точках пространства. Следовательно, необходимо конкретно определить, что понимается под термином «температура внешней среды (окружающей атмосферы)».

1.5. **Температура поверхности**

Принимая во внимание, что рабочие характеристики образца зависят главным образом от его собственной температуры, для осуществления контроля и задания температуры может оказаться целесообразным исходить из температур характерных точек на поверхности образца или даже внутри него.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Некоторые виды аппаратуры эксплуатируются или хранятся в условиях высоких или низких температур только в течение периодов времени, которые меньше, чем это необходимо для достижения аппаратурой температурной стабильности. Испытание такой аппаратуры в соответствии с испытаниями А и В, при которых длительность выдержки отсчитывается с момента достижения образцом температурной стабильности, может привести к ее чрезмерной перегрузке.

Во избежание такой перегрузки допускается применять методики, указанные в испытаниях А и В с некоторыми отклонениями и мерами предосторожности, изложенными в разд. 2.

Это относится, например, к некоторым видам авиационной и ракетной аппаратуры.

Хотя аппаратура, имеющая большую тепловую постоянную в сравнении с периодами суточных изменений температуры, как правило, испытывается в соответствии с методиками испытаний А и В при достижении температурной стабильности, бывают случаи, когда желательна точная имитация реальных условий окружающей среды. Для этих случаев может быть применено испытание без достижения образцом температурной стабильности.

Испытание, продолжительность которого меньше периода времени, требуемого для достижения температурной стабильности, может быть также применено в тех случаях, когда необходимо, чтобы температура в крупногабаритной аппаратуре (такой, как силовые трансформаторы и двигатели, имеющие большую тепло-

вую постоянную) достигла высокого или низкого значения за короткий промежуток времени. В этих случаях температура окружающей среды при испытании берется соответственно выше или ниже температуры окружающей среды, которая предполагается в условиях эксплуатации аппаратуры.

3. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

3.1. **Механизм теплообмена**

3.1.1. Конвекция

3.1.1.1. Теплообмен конвекцией у теплорассеивающих образцов при испытании в камере составляет важную часть их общего теплообмена.

Коэффициент теплоотдачи при переносе тепла с поверхности испытуемого образца в окружающую среду зависит от скорости воздуха вокруг образца. Чем больше скорость воздуха, тем эффективнее теплоотдача. Таким образом, при одной и той же температуре окружающей среды температура поверхности испытуемого образца будет тем ниже, чем выше скорость воздуха, его обтекающего. Эта зависимость показана на рис. 2 и 3 приложения В.

Помимо влияния на температуру какой-либо одной точки поверхности испытуемого образца, циркуляция воздуха оказывает влияние также на распределение температуры поверхности испытуемого образца (см. рис. 4 приложения В).

3.1.1.2. Из приложения В следует, что между температурой поверхности и распределением температур, с одной стороны, и скоростью воздуха и направлением воздушного потока, с другой, не существует простой зависимости. Также очевидно, что если бы условия испытаний задавались в соответствии с действительными условиями эксплуатации с помощью конкретных значений скорости и направления воздушного потока, это привело бы к затруднениям при разработке камер.

Потребность в обеспечении точно определенных, воспроизводимых условий испытания, которые давали бы возможность легко производить сравнение результатов испытания с действительными условиями эксплуатации, ведет к применению так называемых «условий свободного обмена воздуха».

3.1.1.3. Условия свободного обмена воздуха — это такие условия неограниченного пространства, когда на движение воздуха влияет только теплорассеивающий образец, а энергия, излучаемая образцом, поглощается. Обеспечение этих условий при проведении испытания затруднительно и не всегда целесообразно (см. разд. 3). Из приложения А следует, что применение условий свободного обмена воздуха в качестве стандартных обычно не

требует дорогостоящих и больших испытательных камер. Так как условия свободного обмена воздуха обеспечивают определенные технические преимущества и выполнить их обычно легче, чем обеспечить заданные условия принудительной циркуляции воздуха, при проведении испытаний теплорассеивающих образцов на холод и сухое тепло их использование является предпочтительным.

Вследствие причин, изложенных в разд. 3, имеются случаи, когда появляются определенные трудности при проведении испытания без принудительной циркуляции воздуха. Поэтому предлагаются два метода, которые предусматривают применение принудительной циркуляции воздуха с малой скоростью воздушного потока.

Первый метод применяется в тех случаях, когда размеры камеры удовлетворяют требованиям, указанным в приложении А, однако нагрев или охлаждение камеры возможны лишь в условиях принудительной циркуляции воздуха.

Второй метод применяется в тех случаях, когда камера слишком мала, чтобы удовлетворить требованиям, указанным в приложении А, или когда первый метод не может быть применен по иным причинам.

3.1.2. Тепловое излучение

3.1.2.1. Как видно из рис. 5 приложения С, при рассмотрении условий в камере для испытания теплорассеивающих образцов необходимо учитывать теплообмен излучением. Если испытуемые образцы и стенки камеры термически черные (коэффициент лучепоглощения приближается к единице), теплообмен испытуемого образца с окружающей средой в результате теплового излучения может составить почти половину общего теплообмена. Таким образом, если теплорассеивающий образец подвергается воздействию определенной температуры окружающей среды в термически белой и в термически черной камерах, температура поверхности испытуемого образца в первом и втором случаях будет существенно отличаться. Следовательно, чтобы получить воспроизводимые результаты испытания, следует задать коэффициент лучепоглощения и температуру стенок камеры.

3.1.2.2. Если испытуемый образец заслонен от стенок камеры другими образцами, нагревательными или охлаждающими элементами, монтажными приспособлениями и т. д., которые не отвечают требованиям, предъявляемым к термическому цвету и температуре стенок камеры, теплообмен между испытуемым образцом и стенками камеры посредством теплового излучения нарушается. Часть стенок камеры, которая находится «в зоне видимости» определенной точки на испытуемом образце, обусловливает «угловой коэффициент излучения» этой точки. На угловой коэффициент излучения каждой точки испытуемого образца не должны оказывать нежелательного влияния предметы, которые не от-

вечают требованиям, предъявляемым к термическому цвету и температуре стенок камеры.

3.1.2.3. В идеальных условиях свободного обмена воздуха тепло, отдаваемое испытуемым образцом, полностью поглощается окружающей средой. Это происходит вследствие естественной конвекции и полного поглощения теплового излучения.

Большая часть аппаратуры и элементов обычно работает в среде, которая по своим характеристикам ближе к черному телу (имеет высокий коэффициент поглощения). Кроме того, значительно легче изготовлять камеры с цветом внутренней поверхности, близким к термически черному, чем к термически белому. Особенно трудно сохранять термически белый цвет камер в течение длительного времени вследствие явления старения. Фактически большинство красок и материалов (неполированных) ближе к термически черному цвету, а не к термически белому (см. приложение I). Если температура стенок камеры изменяется в пределах 3% от заданной температуры испытания, измеренной в Кельвинах, а коэффициент лучепоглощения изменяется от 0,7 до 1, то получающееся в результате изменение температуры поверхности испытуемого образца обычно не превышает 3 К. Так как мощность теплового излучения пропорциональна разности четвертых степеней температур поверхности испытуемого образца и стенки камеры, то тепловое излучение менее значительно при низких температурах и поэтому требования к термическому цвету и температуре стенок камер для испытаний на воздействие низких температур являются менее жесткими.

3.1.2.4. Теплообмен излучением в значительной степени зависит от температуры стенок камеры. Эта зависимость является основной причиной, вызывающей необходимость применения поправок, приведенных в приложении Е, когда испытание проводится с принудительной циркуляцией воздуха и разница между температурой поверхности образца и температурой окружающей среды значительна.

3.1.3. Теплопроводность

3.1.3.1. Теплообмен теплопроводностью зависит от тепловых характеристик монтажа и соединений.

3.1.3.2. Многие типы теплорассеивающей аппаратуры и теплорассеивающих элементов предназначены для монтажа на радиаторах или других приспособлениях с хорошей теплопроводностью, которые обеспечивают эффективный отвод определенного количества тепла за счет теплопроводности.

В таком случае в соответствующей НТД должны быть определены тепловые характеристики монтажных приспособлений и эти характеристики должны обеспечиваться при проведении испытаний.

3.1.3.3. Если аппаратура или элемент могут монтироваться разными способами, при которых имеет место различная теплопроводность монтажных приспособлений, следует учитывать наихудший вариант. Наихудший вариант определяется, принимая во внимание следующее:

а) испытание теплорассеивающих образцов на воздействие сухого тепла

Поскольку тепло переносится от испытуемого образца к монтажным приспособлениям, наихудшим считается вариант, когда передача тепла минимальна, т. е. когда монтажные приспособления имеют низкую теплопроводность (образец теплоизолирован);

б) испытание нетеплорассеивающих образцов на воздействие сухого тепла

До тех пор пока не будет достигнуто тепловое равновесие, передача тепла будет происходить от стенок камеры через монтажные приспособления к испытуемому образцу. В этом случае наихудший вариант имеет место тогда, когда теплопроводность монтажных приспособлений высокая. Теплоемкость монтажных приспособлений должна быть низкой во избежание длительного времени нагрева монтажных приспособлений и, соответственно, замедления переноса тепла от стенок камеры к испытуемому образцу;

в) испытание теплорассеивающих и нетеплорассеивающих образцов на холод

Поскольку перенос тепла происходит в направлении от испытуемого образца через монтажные приспособления к стенкам камеры, наихудшим вариантом (температура образца самая низкая) является тот, при котором теплообмен происходит наиболее интенсивно, т. е. когда теплопроводность монтажных приспособлений высокая.

3.1.4. Принудительная циркуляция воздуха

3.1.4.1. Если размеры камеры соответствуют требованиям, указанным в приложении А, обогрев и охлаждение камеры могут вызвать необходимость в применении принудительной циркуляции воздуха.

В этом случае следует убедиться, что температура характерных точек на поверхности испытуемого образца существенно не зависит от установленной в камере скорости принудительной циркуляции воздуха (измерения проводятся внутри камеры при температуре, соответствующей температуре воздуха в лаборатории). Если температура поверхности в любой точке испытуемого образца вследствие применения принудительной циркуляции воздуха в камере не снижается более чем на 5°С, испытание проводится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к испытанию в камере без принудительной циркуляции воздуха; при этом охлаждаю-

щее действие принудительной циркуляции воздуха в расчет не принимается как не имеющее практического значения.

3.1.4.2. В случае, когда камера слишком мала, чтобы удовлетворять требованиям, указанным в приложении А, или когда температура поверхности, измеренная в соответствии с п. 2.1.4.1, снижается более чем на 5°С, проводится предварительное испытание вне испытательной камеры.

Измеряется температура ряда характерных точек на поверхности испытуемого образца, находящегося вне камеры, с тем чтобы принять ее за основу при определении температуры поверхности в заданных для испытания условиях. Измерения производятся под нагрузкой, установленной в соответствующей НТД для данной температуры испытания.

Если разность температур ΔT_1 между температурой окружающей среды и температурой поверхности мала, то можно допустить, что для разных температур окружающей среды ΔT_1 одинаково при условии, что различие в температуре окружающей среды ΔT_2 невелико.

Погрешность не превышает 3°С, если $\Delta T_1 < 25$°С, а $\Delta T_2 < 30$°С.

Математические зависимости, позволяющие определить температуры поверхности при разных температурах окружающей среды, приведены в приложении Е. При помощи номограмм в приложении Е можно определить температуру поверхности при любой температуре окружающей среды, если известна температура поверхности при какой-либо определенной температуре окружающей среды. Пользуясь номограммой, можно расширить диапазон расчета температур поверхности в заданных условиях испытания, если известны температуры поверхности в условиях лаборатории. Номограммы в приложении Е могут быть использованы, по крайней мере, до $\Delta T_1 = 80$°С и $\Delta T_2 = 65$°С.

3.1.4.3. Выбор характерных точек для ведения контроля температуры как при использовании первого метода, так и при использовании второго метода должен осуществляться на основе подробных сведений об испытуемом образце (распределение температуры, точки, критичные к температуре, и т. д.). Поскольку такой выбор требует достаточной квалификации, для типовых испытаний в качестве предпочтительного метода рекомендуется метод без применения принудительной циркуляции воздуха как обеспечивающий более высокую степень воспроизводимости.

Иногда одного предварительного испытания достаточно для обеспечения работы камеры в течение целой серии подобных испытаний (например, при испытании аналогичных элементов), тогда как в других случаях может понадобиться производить проверку перед каждым отдельным испытанием (например, при испытании различных типов аппаратуры).

4. ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

4.1. Общие положения

Воссоздавать условия свободного обмена воздуха при проведении испытания трудно и нецелесообразно, однако имитация воздействий этих условий вполне реальна. Даже в очень больших камерах циркуляция воздуха и распределение температуры вокруг образца не будут точно такими же, как в действительных условиях свободного обмена воздуха.

Тем не менее, как установлено экспериментальным путем и в ходе испытаний, условия в достаточно большой камере без принудительной циркуляции воздуха влияют на температуру поверхности испытуемого образца примерно так же, как и в условиях свободного обмена воздуха.

Требования к размерам камеры в зависимости от размеров испытуемого образца и величины его теплорассеяния, обеспечивающие имитацию воздействий условий свободного обмена воздуха, представлены в приложении А.

Указанные требования применимы в том случае, когда контроль температуры окружающей среды производится в нижней части испытательной камеры, где воздух подвергается сильному влиянию конвективного тепла, рассеиваемого испытуемым образцом.

В некоторых случаях, однако, испытание без принудительной циркуляции воздуха встречает ряд трудностей. Обогрев или охлаждение части существующих в настоящее время камер не может производиться без принудительной циркуляции воздуха, особенно это касается камер для испытаний крупногабаритных образцов и камер для испытаний большого числа элементов одновременно.

В табл. 1 указаны параметры испытательной камеры, оказывающие значительное влияние на результаты испытания теплорассеивающего образца.

Таблица 1

Механизмы теплообмена	Конвекция		Излучение	Теплопроводность
	Свободный обмен воздуха	Принудительная циркуляция воздуха		
Параметры камеры	Размеры; температура воздуха	Скорость воздуха; температура воздуха	Температура стенок; лучепоглощательная способность стенок; угловой коэффициент	Тепловые характеристики монтажных приспособлений

4.2. **Методы, обеспечивающие требуемые условия в испытательной камере**

4.2.1. Конструкция камер, позволяющая имитировать воздействия условий свободного обмена воздуха

Нагревательные и охлаждающие элементы не должны находиться в рабочем объеме камер, так как регулирование температуры в камерах предполагает изменение температуры этих элементов. Следует избегать значительных колебаний температуры стенок камер, чтобы свести до минимума проблемы, связанные с излучением.

Наилучшие результаты получаются тогда, когда обогреваются все стенки камеры. Циркуляция жидкости обеспечивает обогрев или охлаждение всех стенок камеры, не вызывая при этом значительных изменений их температуры. Лучепоглощательная способность стенок камеры должна удовлетворять условиям испытания.

Если поддержание температуры испытания внутри камеры осуществляется за счет циркуляции воздуха, то испытуемый образец может быть предварительно заключен в кожух, а затем помещен в камеру. Объем воздуха должен соответствовать условиям испытания, а стенки кожуха должны удовлетворять требованиям с точки зрения лучепоглощательной способности.

4.2.2. Конструкция камер с принудительной циркуляцией воздуха

Камеры с принудительной циркуляцией воздуха предназначены для образцов, которые нельзя испытывать в камерах со свободным обменом воздуха либо из-за больших размеров образцов, либо из-за большой величины их теплорассеяния. Так что все требования, предъявляемые к камерам со свободным обменом воздуха, остаются в силе, за исключением требований к размерам.

Циркуляция воздуха должна быть достаточной, чтобы предотвратить перегрев образца; в то же время нельзя допускать чрезмерного охлаждения образца. Результаты воздействия циркуляции воздуха более подробно охарактеризованы в приложении В. Скорость воздушного потока, равная 0,5 м/с, может считаться практически достаточной во всех случаях. Однако возможность регулирования скорости воздуха имеет определенные преимущества.

Воздушный поток должен быть, по возможности, однородным и направленным вертикально вверх, с тем чтобы уменьшить влияние конвекции на однородность потока.

Однородный поток воздуха получается в том случае, когда вентилятор создает повышенное давление в форкамере, откуда выход воздуха осуществляется через фильтр (например, из стекловолокна). В форкамере могут быть размещены также и нагревательные элементы, регулирующие температуру в камере. В слу-

чае необходимости нагревательные элементы и фильтр могут быть конструктивно объединены в один узел в виде ткани с вплетенными в нее обогревательными элементами.

4.2.3. Коэффициент лучепоглощения стенок

Если предполагается имитация условий свободного обмена воздуха в неограниченном пространстве, то стенки камеры должны быть термически черными. Из табл. 4 приложения I видно, что коэффициент лучепоглощения 0,70 достигается сравнительно легко. Большинство матовых красок вполне пригодно для окраски стенок камер, работающих при умеренных температурах.

4.2.4. Тепловые характеристики монтажных приспособлений

См. п. 2.1.3 и приложение D, где даны некоторые характеристики проволочных выводов, а также приложение G, в котором указана теплопроводность различных материалов. В случае, если теплопроводность монтажных приспособлений и (или) выводов (например, выводных проводов) имеет существенное значение, необходимо, чтобы длина их была одинаковой при всех испытаниях.

5. ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. **Температура**

При испытаниях теплорассеивающих образцов в условиях, отличающихся от условий свободного обмена воздуха, необходимо выполнять измерения температуры в различных точках образца или внутри него.

Рекомендации приведены в приложении С.

5.2. **Скорость воздуха**

Сведения о скорости воздуха в испытательной камере, может быть, и не являются важными для характеристики испытаний, однако они весьма полезны для обеспечения однородных условий внутри камеры в случае одновременного испытания группы образцов в одной камере с принудительной циркуляцией воздуха.

Рекомендации приведены в приложении Н.

5.3. **Коэффициент лучепоглощения**

Поскольку теплообмен излучением имеет важное значение при испытании теплорассеивающих образцов, следует определить коэффициент лучепоглощения стенок камеры и затем его периодически контролировать.

Необходимые рекомендации приведены в приложении I.

6. МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ

6.1. **Общие положения**

Для достижения воспроизводимости методика испытания на воздействие температуры должна быть разработана таким обра-

зом, чтобы самая высокая (низкая) температура, достигаемая в определенной точке образца, в равной мере не зависела от температуры испытательной лаборатории. При проведении испытаний, продолжительность которых мала по сравнению с временем, необходимым для достижения образцом температурной стабильности, следует учитывать следующие меры предосторожности.

6.2. **Скорость воздуха, окружающего испытуемый образец**

Эффективность теплообмена между воздухом в камере и испытуемым образцом зависит от скорости воздуха.

Желательна точная имитация скоростей воздуха, связанных с высокими (низкими) температурами в естественных условиях окружающей среды. Однако вследствие ограниченной информации о естественных условиях окружающей среды, а также трудностей в воспроизведении определенных скоростей воздуха (включая степень турбулентности и т. д.) в испытательных камерах такая имитация обычно невозможна. Поэтому чтобы охватить все возможные случаи, необходимо выбрать самые жесткие условия испытания («наихудший случай»).

При испытании нетеплорассеивающих образцов увеличение скорости воздуха вызывает повышение (при испытании на холод — понижение) температуры образца. Поэтому для этого испытания рекомендуется применять высокую скорость воздуха в испытательной камере (предпочтительно не менее 2 м/с в незаполненном рабочем объеме камеры).

При испытании теплорассеивающих образцов увеличение скорости воздуха ведет к снижению температуры самых горячих точек испытуемого образца, если эта температура выше температуры окружающего воздуха. Поскольку это случается часто, то такое испытание должно проводиться, по возможности, без принудительной циркуляции воздуха (условия свободного обмена воздуха).

В том случае, когда нагрев (охлаждение) камеры возможен только при помощи циркуляции воздуха, может быть применен метод А испытания Bd (Ad).

6.3. **Выдержка**

Для достижения воспроизводимости следует точно построить график изменения температуры воздуха в камере во времени на весь период выдержки. В тех случаях, когда возможна полная имитация реальных условий окружающей среды, график изменения температуры во времени может быть построен специально для имитируемых условий.

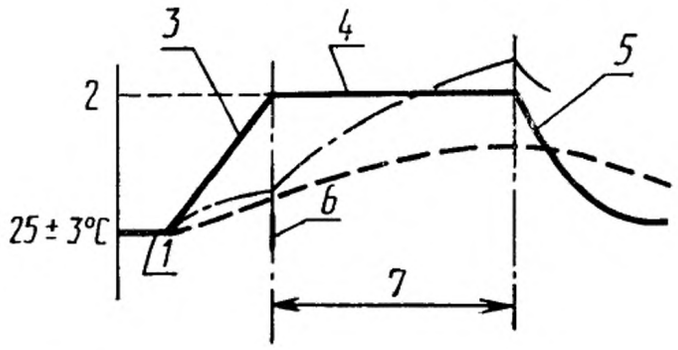
В большинстве случаев рекомендуется пользоваться графиком (см. рис. 1).

Следует заметить, что предлагаемый график изменения температуры во времени отличается от испытаний А и В следующим:

а) более узким диапазоном начальной температуры (25±3)°С;

б) определенной скоростью изменения температуры воздуха в камере в период установления температуры испытания;

в) длительность выдержки отсчитывается с момента достижения в камере заданного значения температуры воздуха.



1 — образец, внесенный в испытательную камеру; *2* — температура испытания; *3* — скорость изменения температуры 0,7—1°С в минуту; *4* — температура воздуха в камере; *5* — скорость изменения температуры 0,5°С в минуту; *6* — образец включен (для испытаний в рабочем состоянии); *7** — заданная длительность выдержки

— — — — — — температура нетеплорассеивающих образцов

—·—·— температура теплорассеивающих образцов

Рис. 1

* Заданная длительность выдержки отсчитывается с момента достижения в камере заданного значения температуры воздуха с допуском 3°С.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Рекомендуемое

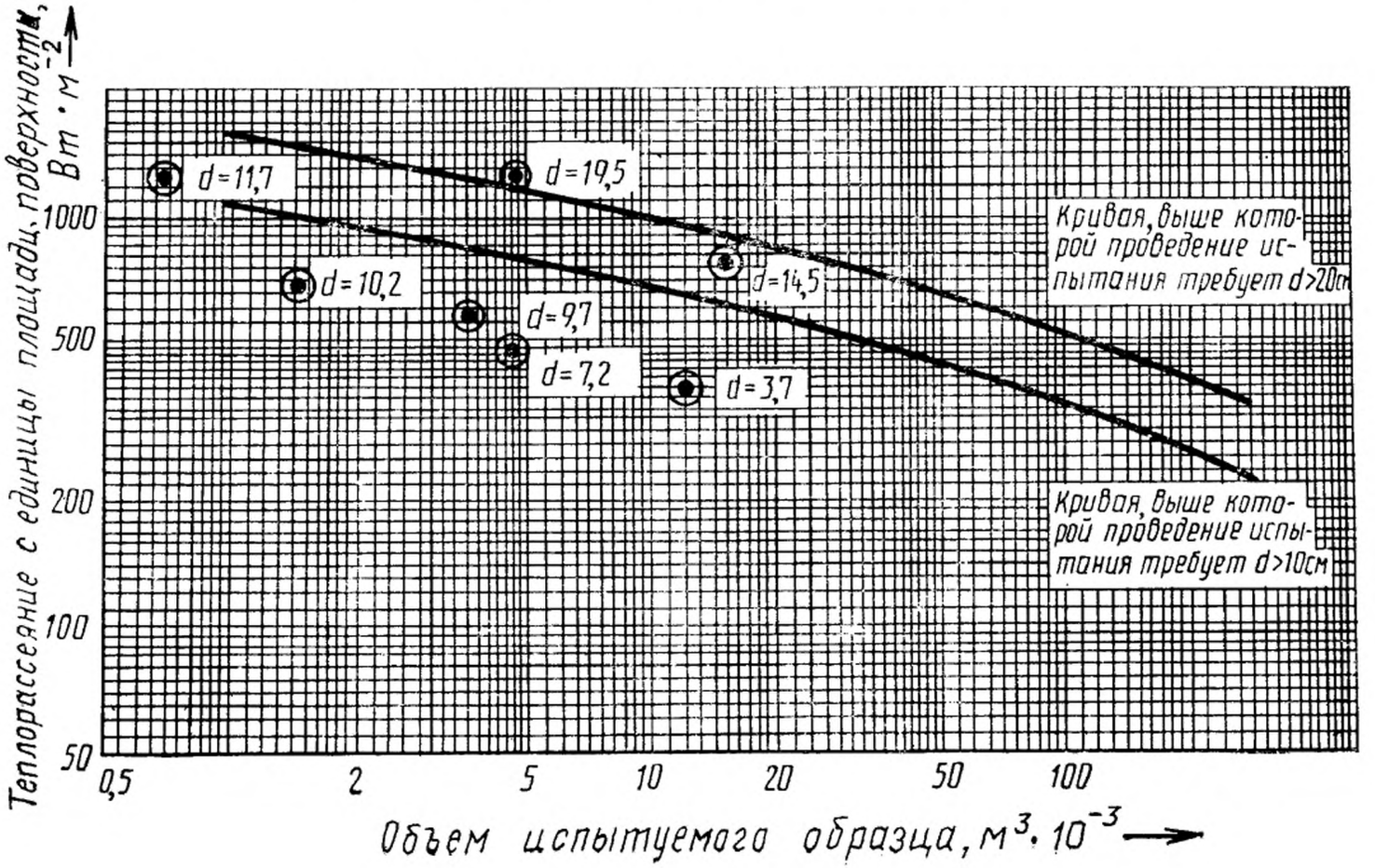
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ КАМЕРЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦА ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА

Рис. 2 является результатом ряда экспериментов, проведенных с целью определения минимально допустимых размеров камеры сухого тепла, в которой при испытании определенного типа образцов температура поверхности образца была бы приблизительно такой же, как и в условиях свободного обмена воздуха.

Образцы различных габаритов с неодинаковым теплорассеянием с единицы поверхности подвергались воздействию температуры окружающей среды (которая определена в СТ МЭК 68—1 (ГОСТ 28198), равной 70°С, в камерах сухого тепла различного объема. Критерием, по которому определялись минимально допустимые размеры камеры, служило требование, чтобы температура поверхности испытуемого образца не превышала более чем на 5°С температуру поверхности, полученную в камере наибольшего объема, размер которой был очень велик по сравнению с размерами испытуемых образцов. Температура стенок камеры отличалась от температуры окружающей среды не более чем на 5°С.

Испытуемые образцы имели форму куба и были почти термически белыми, чтобы имитировать наихудший вариант, при котором все тепло рассеивается посредством конвекции. Стенки камеры были близки к термически черному цвету.

Теплорассеяние с единицы площади поверхности испытуемого образца, при котором разность температур поверхности образца в камере очень большого объема и в камере меньшего объема достигает 5°С



— экспериментальные данные

d — расстояние между поверхностью испытуемого образца и стенкой камеры, см

Рис. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Справочное

ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА НА УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЯ В КАМЕРЕ И НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ИСПЫТУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

1. **Расчет воздействия воздушного потока на температуру образца и на температурный градиент в камере**

v — скорость воздуха, $м \cdot с^{-1}$;
$\lambda(v)$ — коэффициент теплопередачи, $Вт \cdot м^2 \cdot К^{-1}$;
P — количество тепла, переносимого в единицу времени, Вт;
F — эффективная площадь теплорассеивающей поверхности, $м^2$;
t — время;
G — масса входящего или выходящего воздуха в единицу времени, $кг \cdot с^{-1}$;
C_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, 1000 $Дж \cdot кг^{-1} \cdot К^{-1}$;
γ — плотность воздуха, 1,29 $кг \cdot м^{-3}$;
S — площадь поперечного сечения камеры, $м^2$;
T — температура, К.

1.1. Температура образца

$$T=\frac{1}{\lambda(v)} \cdot \frac{P}{F}, \qquad (1)$$

где $\lambda(v)=a+bv$; $a \sim 10$; $v<\frac{a}{b}<3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Экспериментальные данные показывают, что при малой скорости воздуха, которая имеет место во время испытаний, $b \sim 3$; b увеличивается с возрастанием скорости воздуха; при 3 $м \cdot с^{-1}$ $b \sim 8$.

Если $v=0{,}3$ $м \cdot с^{-1}$, ошибка в $T \leqslant 10\%$.

1.2. Градиент между входящим и выходящим воздухом

$$\Delta T_{\text{воздуха}}=\frac{P}{C_p G}=\frac{P}{C_p S v \gamma}. \qquad (2)$$

Подставив числовые значения, получим для камеры в форме куба со стороной 0,5 м, скоростью воздушного потока в ней 0,3 $м \cdot с^{-1}$ и расстоянием мощности 100 Вт следующее

$$S=0{,}25 \text{ м}^2; \quad \Delta T_{\text{воздуха}}=\frac{100}{1{,}29 \times 1000 \times 0{,}25 \times 0{,}3} \sim 1^\circ\text{C}. \qquad (3)$$

При рассеянии мощности до 100 Вт сколько-нибудь значительных проблем не возникает. При рассеянии 1 кВт требуется большая камера (например, камера в форме куба со стороной 1,5 м).

Если градиент является приемлемым, то допустимо увеличение скорости воздушного потока.

Экспериментальные данные о влиянии циркуляции воздуха на температуру поверхности проволочного резистора. Циркуляция воздуха с радиальным направлением потока

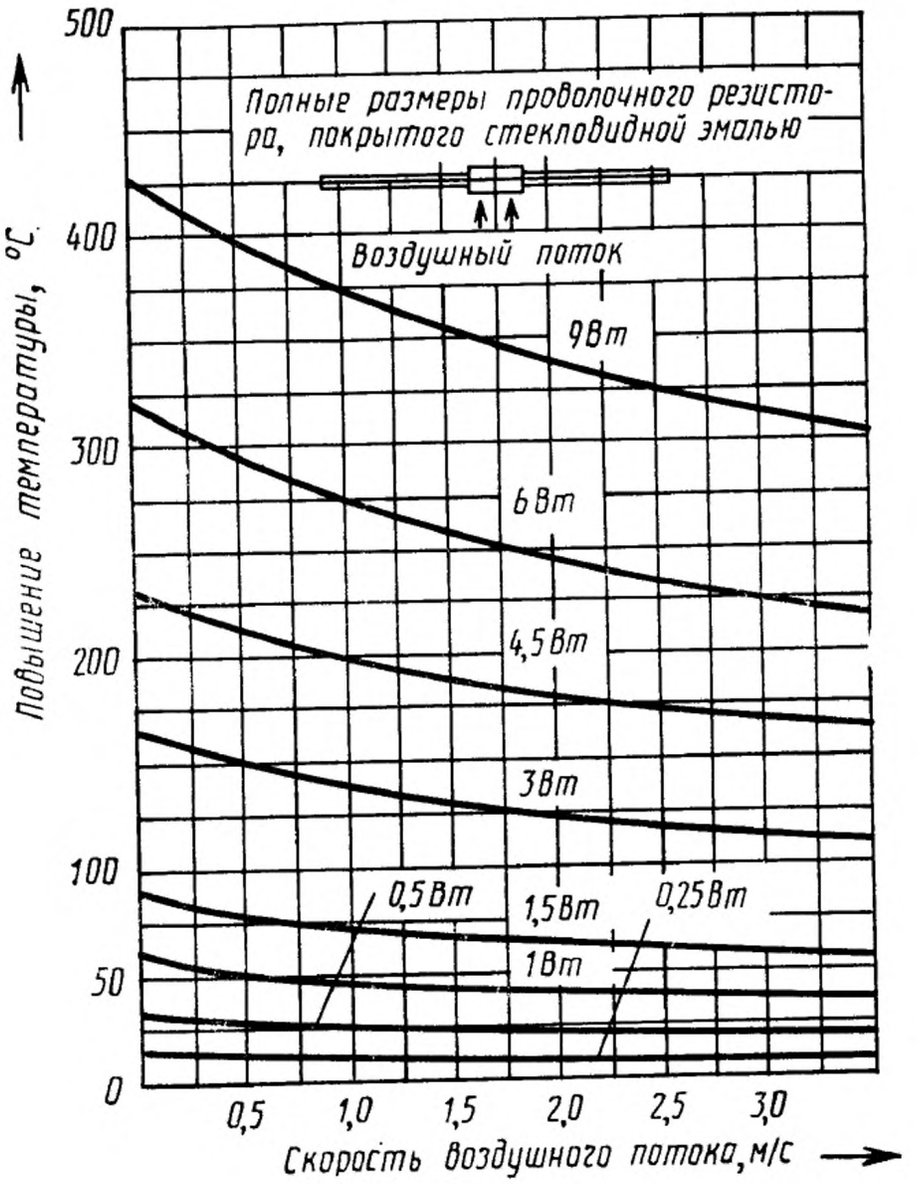


Рис. 3

Экспериментальные данные о влиянии циркуляции воздуха на температуру поверхности проволочного резистора. Циркуляция воздуха с осевым направлением потока

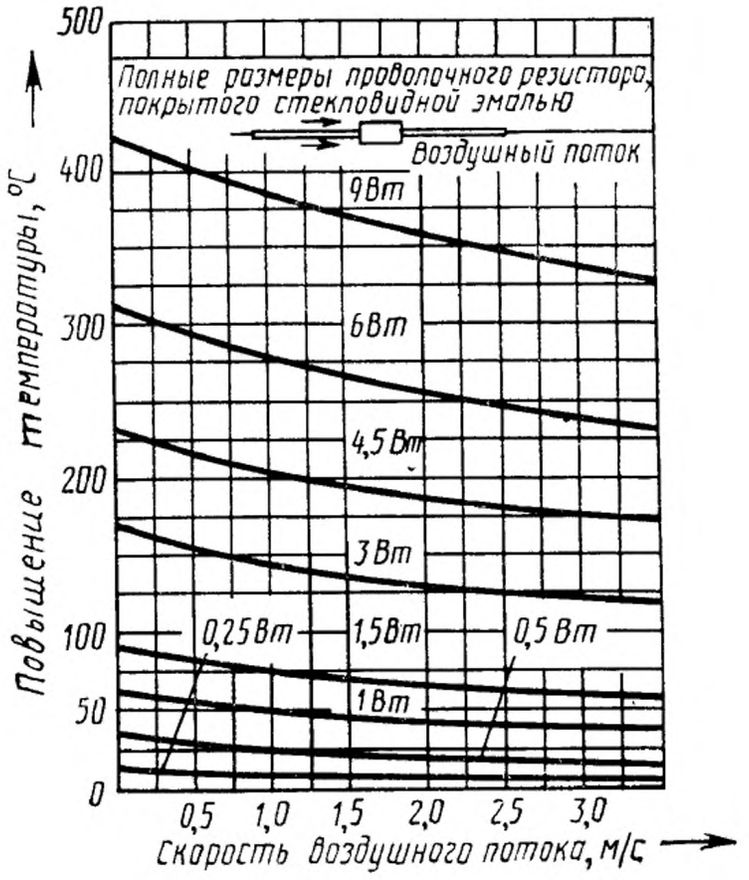
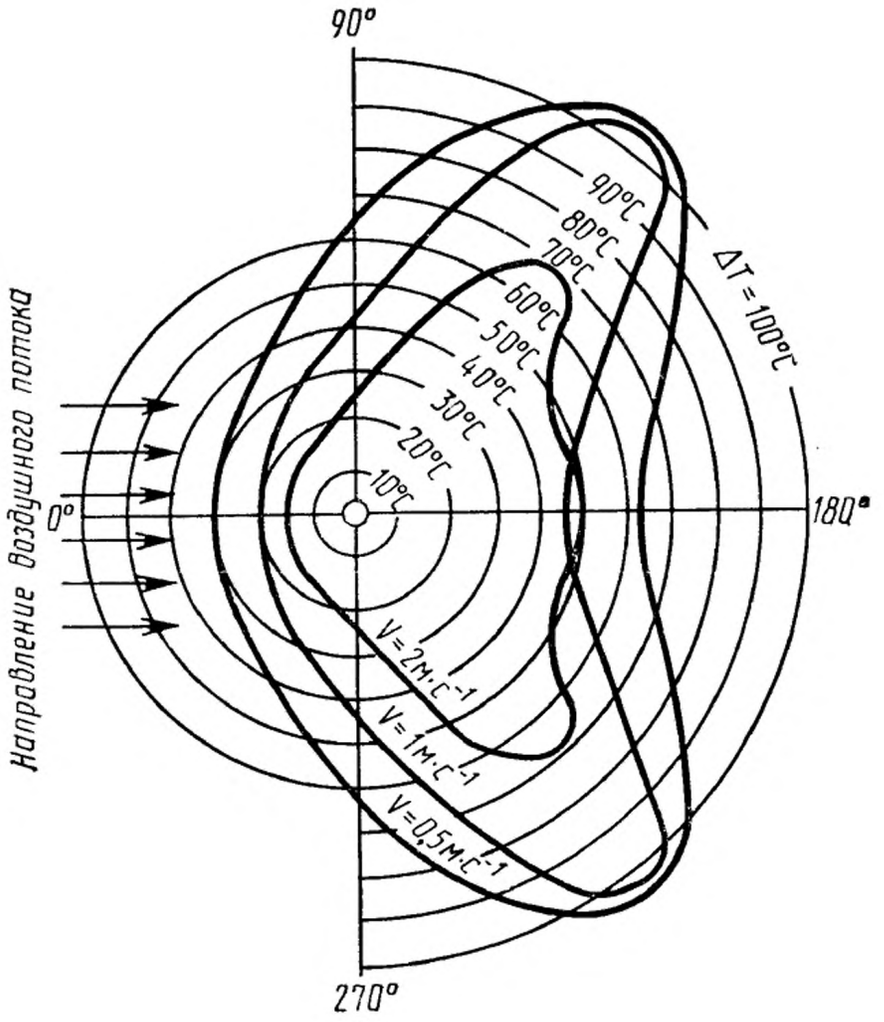


Рис. 4

Распределение температуры по цилиндру с однородным тепловыделением при циркуляции воздуха со скоростью 0,5; 1 и 2 м · с$^{-1}$



ΔT — превышение температуры поверхности образца над температурой окружающей среды;
v — скорость воздуха, м · с$^{-1}$;
Температура воздуха =70°С;
Диаметр цилиндра =6 мм;
Теплорассеяние с единицы поверхности —1,5 кВт · м$^{-2}$.

Рис. 5

Примечание. При построении кривых теплопроводность образца не принималась во внимание (наихудший вариант).

ПРИЛОЖЕНИЕ С
Справочное

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦА НА ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Сравнение повышения температуры в зависимости от величины теплорассеяния термически белых и термически черных образцов, помещенных в камеру с термически черными стенками, температура воздуха в которой равна 70°С (данные получены экспериментальным путем).
См. также приложение Е

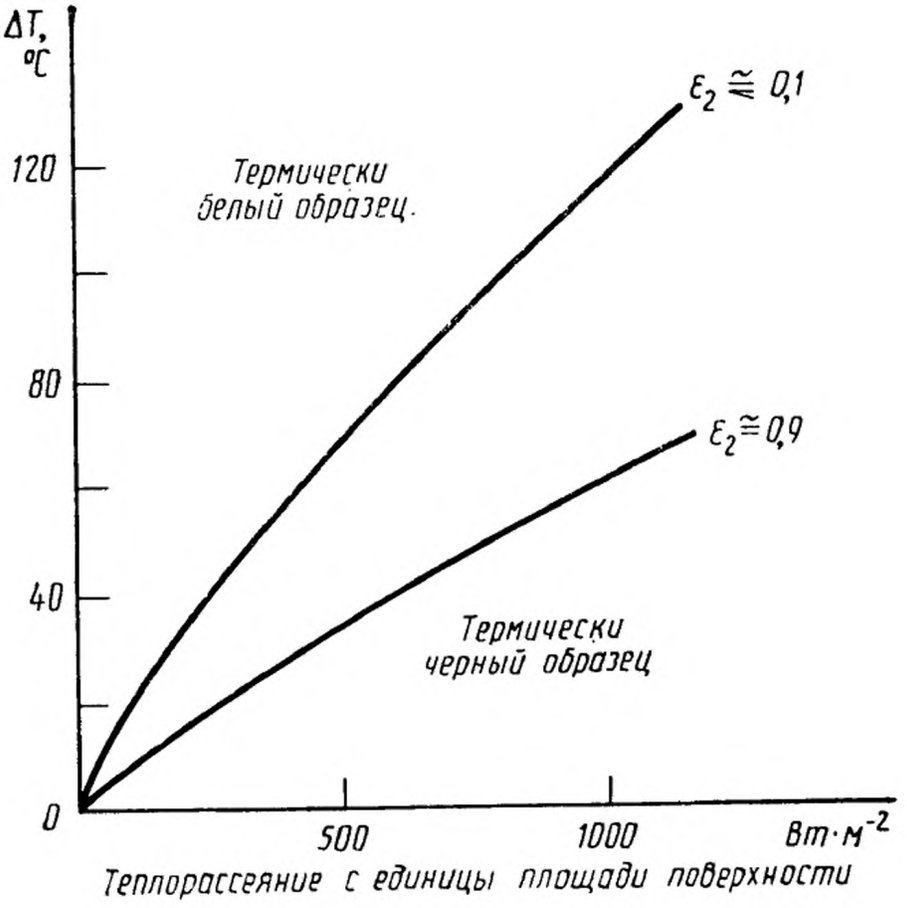
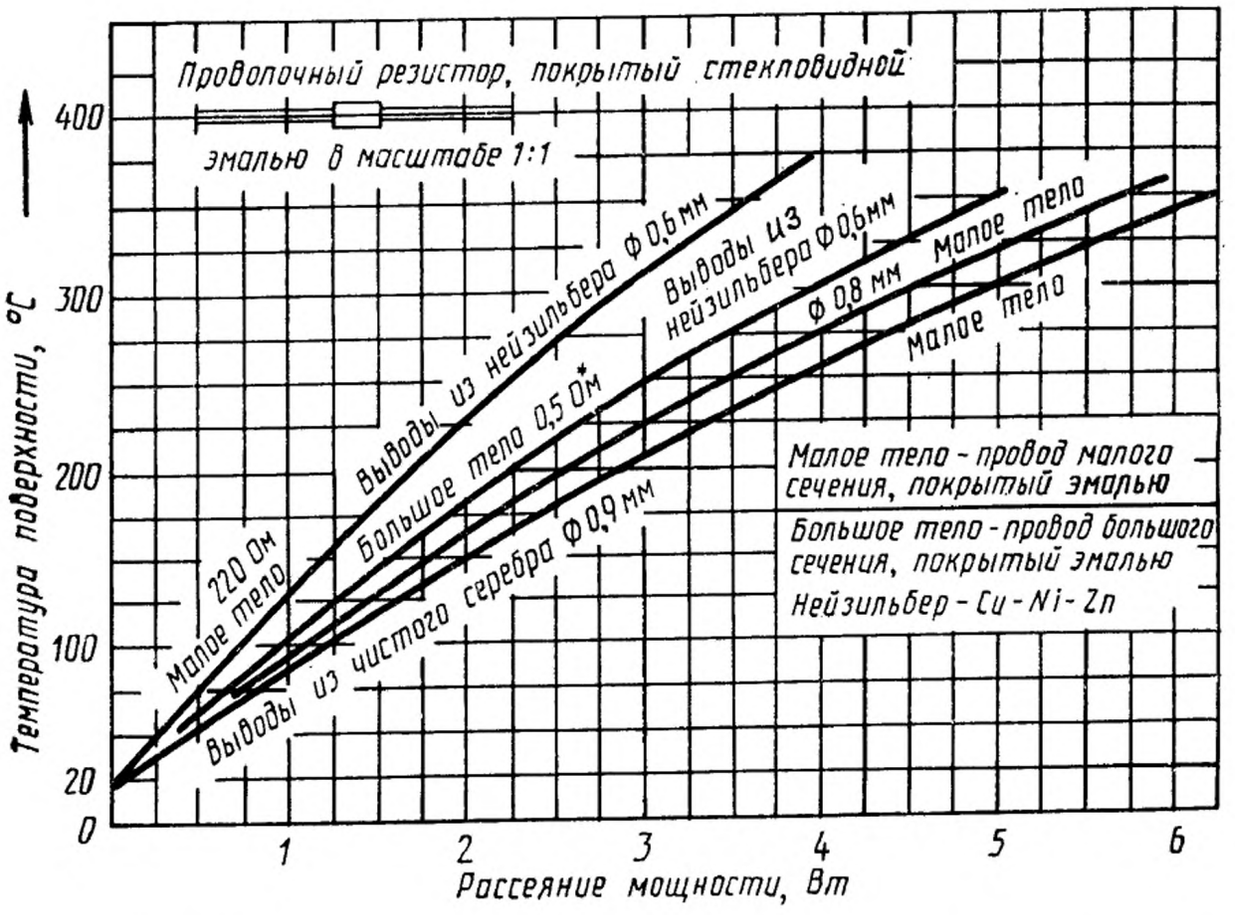


Рис. 6

ПРИЛОЖЕНИЕ D
Справочное

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПРОВОЛОЧНЫХ ВЫВОДОВ И МАТЕРИАЛА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТА



* Провод большого сечения, используемый для обмотки резистора, также способствует быстрому отводу тепла от «нагретой точки»

Рис. 7

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
Справочное

РАСЧЕТ И НОМОГРАММЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

1. **Система условных обозначений**

P — количество тепла, переносимого в единицу времени, Вт;
A_2 — площадь поверхности образца, м^2;
A_1 — площадь поверхности стенок камеры, м^2;
T_a — температура стенок камеры, К;
T_s — температура поверхности образца, К;
ε_1 — коэффициент лучепоглощения стенок камеры;
ε_2 — коэффициент излучения образца;
σ — постоянная Стефана-Больцмана

$$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4};$$

a — средний размер образца, м;
α — коэффициент теплоотдачи конвекции (Вт · м$^{-2}$ · К$^{-1}$).
Величина α зависит от $(T_s - T_a)$ и a.

2. **Теплообмен излучением**

Количество тепла, переносимого только посредством излучения от изделия в камере к окружающим стенкам, вычисляют по формуле

$$P = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{A_2}{A_1}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right)} \cdot A_2 (T_S^4 - T_a^4). \qquad (4)$$

Для камеры с неограниченным объемом, т. е. при свободном обмене воздуха, $A_1 \gg A_2$, отсюда

$$P = \varepsilon_2 \sigma A_2 (T_S^4 - T_a^4). \qquad (5)$$

Тот же самый результат получается для термически черных стенок ($\varepsilon_1 = 1$) независимо от размеров камеры.

Используем при упрощении выражение

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{A_2}{A_1}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right)}. \qquad (6)$$

Тогда общий случай примет вид

$$P = \sigma F A_2 (T_S - T_a)(T_S + T_a)(T_S^2 + T_a^2) = \sigma F A_2 (T_S - T_a) f(T_a, T_S) \qquad (7)$$

или

$$\frac{P}{F A_2 (T_S - T_a)} = \sigma f(T_a, T_S). \qquad (8)$$

Это соотношение представлено на рис. 8 приложения Е.

3. Теплообмен излучением и конвекцией

3.1. Перенос тепла

Допустим, что стенки камеры имеют температуру, равную температуре воздуха в камере. Тогда получим

$$\frac{P}{A_2} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{A_2}{A_1}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right)}(T_s^4 - T_a^4) + \alpha(T_s - T_a). \qquad (9)$$

Для условий свободного обмена воздуха и для термически черных стенок в упрощенном виде имеем

$$\frac{P}{A_2} = \varepsilon_2\sigma(T_s^4 - T_a^4) + \alpha(T_s - T_a), \qquad (10)$$

что можно переписать следующим образом:

$$\frac{1}{\alpha}\frac{P}{A_2} = \left(T_s + \frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha}T_s^4\right) - \left(T_a + \frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha}T_a^4\right). \qquad (11)$$

Введем новые переменные:

$$x_s = T_s + \frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha}\cdot T_s^4,$$

$$x_a = T_a + \frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha}\cdot T_a^4$$

и получим

$$\frac{P}{A_2} = \alpha(x_s - x_a). \qquad (12)$$

Это соотношение может быть легко представлено в виде номограммы. В качестве примера приведены две номограммы (для удобства температура в номограммах указана в градусах Цельсия).

3.2. Номограммы

Из п. 1 видно, что α зависит от $T_s - T_a$ и от среднего размера образца a. Примеры номограммы, где $\varepsilon_2 = 0{,}7$, составленные для двух различных значений α, приведены на рис. 9 и 10.

При расчете номограмм использовались следующие величины:

	Рис. 9	Рис. 10
Средний размер образца	$a = 0{,}2$ м	$a = 0{,}05$ м
Средняя разность температур	$T_s - T_a = 35°\text{C}$	$T_s - T_a = 100°\text{C}$
Коэффициент теплообмена конвекций для указанных выше размера образца и разности температур	$\alpha = 5$ Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$; $\frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha} = 0{,}8\cdot10^{-8}\cdot\text{К}^{-3}$; $\frac{\varepsilon_2\sigma}{\alpha} = 0{,}5\cdot10^{-8}\cdot\text{К}^{-3}$.	$\alpha = 8$ Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$

Пример использования номограмм

Условие: Образец, рассеивающий определенную мощность в условиях свободного обмена воздуха, температура которого 20°С, имеет температуру поверхности 70°С.

Какова будет температура его поверхности при рассеянии той же мощности в условиях свободного обмена воздуха при температуре 55°С?

Решение: Так как $T_s - T_a = 50$°С, то величина α, используемая в номограмме на рис. 9, близка к действительной величине.

Проведем прямую линию на рис. 9 от точки +20°С на шкале T_a к точке +70°С на шкале T_s, отметим точку ее пересечения с **ОСЕВОЙ ЛИНИЕЙ.** Теперь проведем прямую линию от точки +55°С на шкале T_a через точку пересечения на **ОСЕВОЙ ЛИНИИ** к шкале T_s и получим новую точку пересечения со шкалой T_s: +98°С. Это и есть искомая температура поверхности.

Примечание. На рис. 11 показана зависимость разности температур от коэффициента излучения испытуемого образца ε_2 в случае, когда $a = 0{,}1$ м, $\varepsilon_1 = 1{,}0$, а температура воздуха в лаборатории $T_{a_0} = 20$°С.

4. Соотношение номограмм, используемых в испытаниях А и В

Сравнивая рис. 9 и 10, можно заметить, что разности температур в незначительной степени зависят от величины α. Поэтому в испытаниях А и В приведена только одна номограмма (основанная на $\alpha = 5$ Вт $\cdot$ м$^{-2} \cdot$ К$^{-1}$).

Соотношение между температурой поверхности образца T_s и рассеянием тепла P в единицу времени при температуре окружающей среды T_a

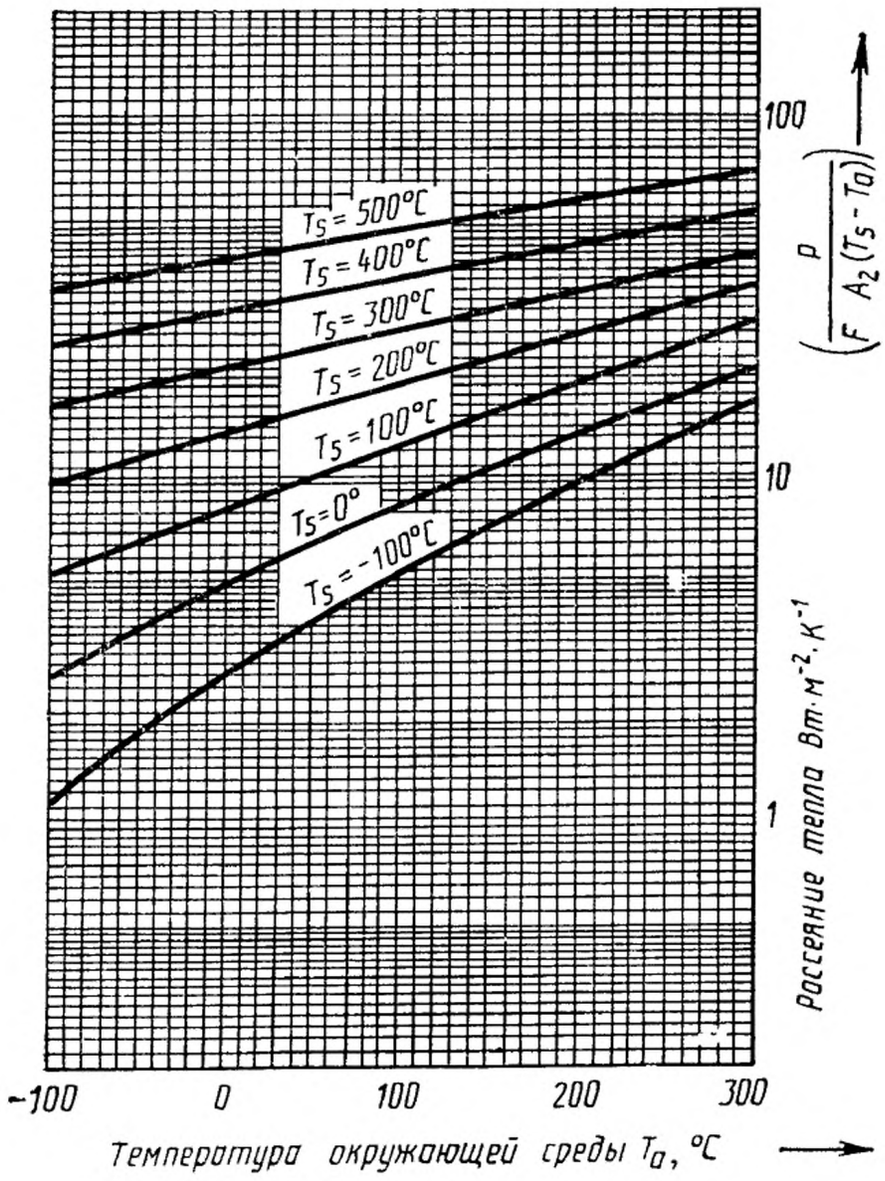


Рис. 8

Номограмма для определения температур поверхности образца T_s при различных температурах окружающей среды T_a. Средний размер образца $a=0{,}2$ м, коэффициент излучения образца $\varepsilon_2=0{,}7$

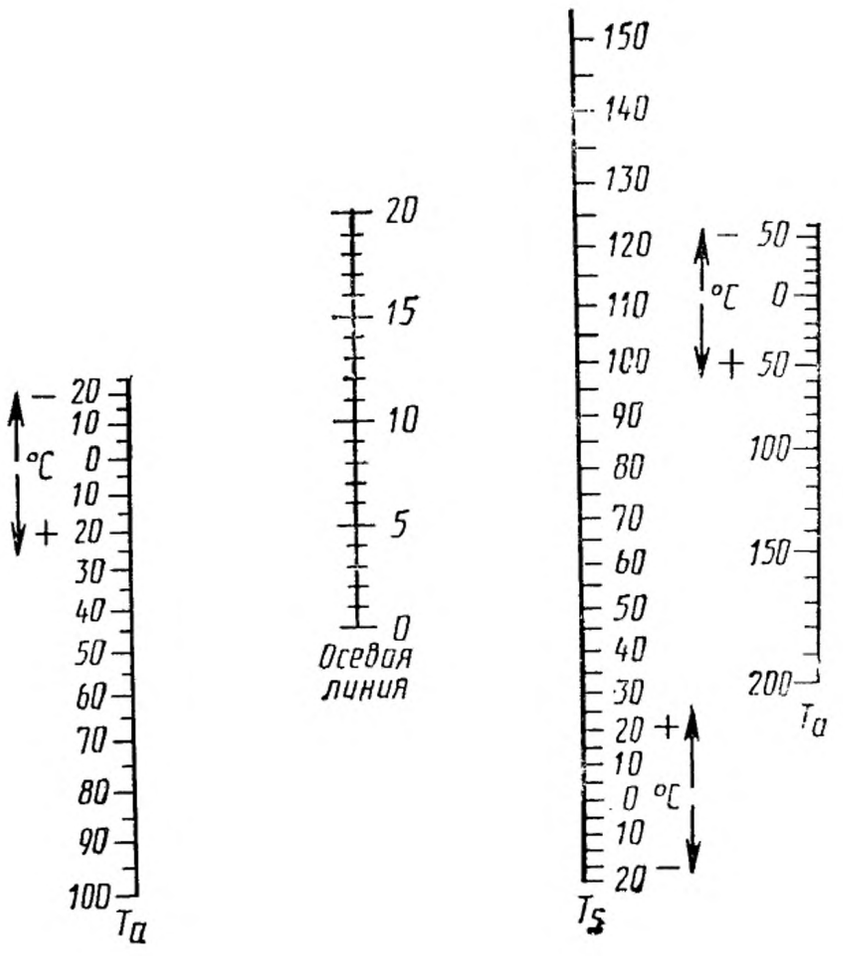


Рис. 9

Номограмма для определения температур поверхности образца T_s при различных температурах окружающей среды T_a. Средний размер образца $a=0{,}05$ м, коэффициент излучения образца $\varepsilon_2=0{,}7$

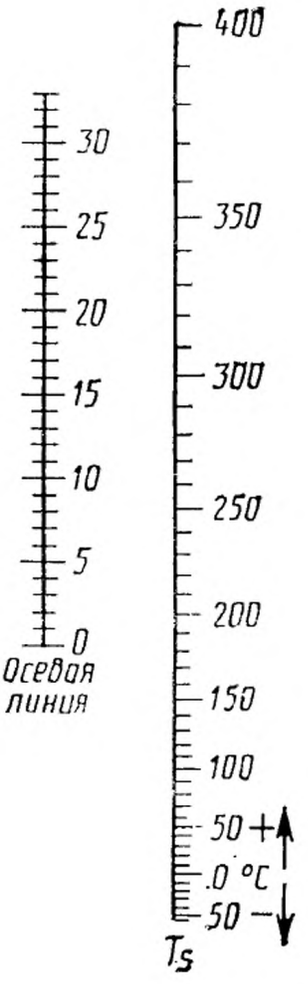
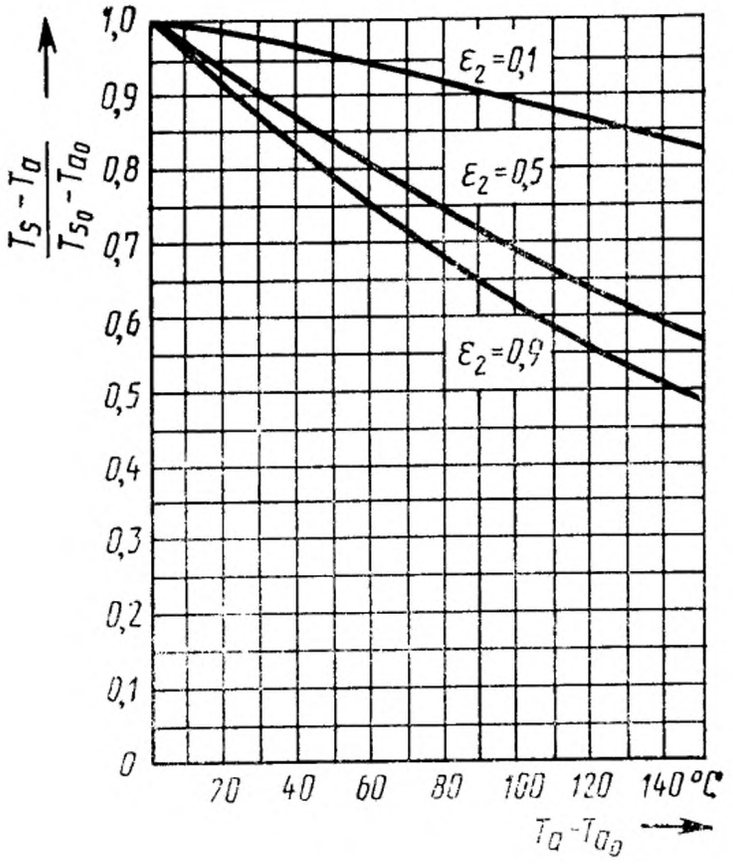


Рис. 10

Соотношение между превышением температуры образца над температурой окружающей среды и коэффициентом излучения образца ε_2



T_{a_0} — температура воздуха в лаборатории (+20°С);

T_{s_0} — температура поверхности образца во время выдержки при температуре воздуха в лаборатории в условиях свободного обмена воздуха. Средний размер образца a=0,1 м

Рис. 11

ПРИЛОЖЕНИЕ F
Справочное

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НАИБОЛЕЕ ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 2

Материал	T, °С	Теплопроводность, $Вт \cdot м^{-1} \cdot К^{-1}$
Серебро	20	411
Медь красная (очень чистая)	20	395
Медь промышленная	20	372
Золото чистое	20	311
Алюминий	20	279
Дюралюминий (Al—Cu)	20	165
Магний чистый	20	143
Электрон (Ni—St)	20	116
Латунь	20	81—116
Цинк	20	113
Олово	20	66
Сталь пудлинговая	0	59
Сталь	200	52
Чугун с содержанием углерода 3%	20	58
Хромированная сталь	20	40
Хромоникелевая сталь	20	14,5
Никель	18	59,5
Нейзильбер (Ni—Cu—Zn)	0	29,3
Свинец чистый	0	35,1
Графит спрессованный	20	12—174
Огнеупорная глина	100	0,5—1,2
Бетон	20	0,8—1,4
Кирпич сухой	20	0,38—0,52
Листовое стекло	20	0,76
Мрамор	20	2,8
Бакелит	20	0,233
Резина	20	0,13—0,23
Плексиглас	20	0,184
Целлулоид	20	0,215
Древесина бука, вдоль волокон	20	0,35
Древесина дуба, поперек волокон	20	0,17—0,21
Древесина дуба, вдоль волокон	—	0,37
Сосновая древесина, поперек волокон	20	0,14
Сосновая древесина, вдоль волокон	—	0,26

ПРИЛОЖЕНИЕ G
Справочное

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. **Общие положения**

Описание обычных приборов, используемых для измерения температуры воздуха и жидкостей, например, ртутных или спиртовых термометров, не является целью данного приложения. Эти приборы и меры предосторожности, которые следует принимать при их использовании, хорошо известны и описаны в соответствующей технической литературе. То же самое относится и к методам измерения с помощью термометров сопротивления (особенно платиновых термометров сопротивления), а также термисторов и термопар, которые обычно используются для измерения температуры твердых тел. Теплоемкость измерительного устройства должна быть мала по сравнению с теплоемкостью испытываемого образца. Кроме того, тепловое сопротивление между измерительным устройством и образцом должно быть мало, а количество тепла, передаваемое соединительным проводам, минимально. Мощность, питающая датчик, должна быть невелика, чтобы не было нежелательного самонагрева датчика или нагрева испытуемого образца за счет датчика.

В том случае, когда между теплорассеивающим испытуемым образцом и стенками испытательной камеры имеет место теплопередача, очень важно знать температуру поверхностей материалов, участвующих в теплообмене. Существуют два метода измерения температуры поверхности. В одном из них измерительное устройство находится в непосредственном контакте с поверхностью, температуру которой следует измерить, в другом — непосредственный контакт отсутствует.

В случае, если измеряемая поверхность загрязнена слоем материала, который трудно удалить, метод, при котором измерительное устройство находится в непосредственном контакте с поверхностью, не допускается. Например, при испытании космических аппаратов.

2. **Методы, основанные на использовании явлений изменения цвета или явлений плавления**

Материалы, цвет которых изменяется в зависимости от температуры, применяются уже много лет. Некоторые из них, как, например, жидкие кристаллы, непрерывно меняют свой цвет в пределах определенного температурного диапазона.

Температура определяется путем сравнения цвета материала с цветом, приведенным в колориметрической таблице.

Некоторые материалы резко изменяют свой цвет при повышении температуры до определенной величины, причем цвет материала при последующем снижении температуры не восстанавливается.

Выпускаются цветные карандаши и специальные лаки для нанесения слоев таких материалов на поверхности, температура которых измеряется.

Известны также клейкие ленты, которые изменяют свой цвет при повышении температуры выше определенного значения и служащие в качестве индикаторов температуры.

В других случаях для измерения используются материалы с определенной температурой плавления.

Во всех приведенных примерах, когда резко меняется свойство материала может быть определено только то значение температуры, при котором происходит изменение цвета или состояния.

Для определения нескольких величин температуры может быть использован набор малогабаритных индикаторов, охватывающих различные температурные диапазоны.

Точность измерений, достигаемая с помощью упомянутых индикаторов, зависит от целого ряда факторов, которые рассматриваются ниже.

2.1. В тех случаях, когда для определения температуры используют изменение состояния материала, обычно необходим набор индикаторов, чувствительных к различным температурам. Если состояние одного индикатора изменяется, а состояние следующего за ним в ряду индикатора нет, то температура поверхности находится в пределах между температурами, к которым чувствительны эти индикаторы. Максимальная ошибка измерения в этом случае будет равна разности этих двух температур при условии, что предопределенные значения температур, к которым чувствительны индикаторы, не изменялись под воздействием других факторов.

2.2. Ошибки измерений температуры с помощью индикаторов, изменяющих свой цвет, могут быть вызваны старением. Если такие материалы в течение долгого времени использовались при температурах лишь немного ниже номинальной температуры перехода от одного цвета к другому, то не исключена возможность, что при измерении изменение цвета произойдет при температуре ниже номинальной.

2.3. На материалы, чувствительные к температуре, может также влиять присутствие жидкостей, паров или газов.

2.4. Если поверхность образца подвергается воздействию теплового излучения, должны быть приняты определенные меры предосторожности.

2.4.1. Если индикатор покрывает небольшую часть поверхности, подверженной воздействию излучения, то следует принять меры к тому, чтобы индикатор не нагревался вследствие излучения. Для этого достаточно защитить его материалом, отражающим лучи.

2.4.2. Если индикатор покрывает значительную часть поверхности, подверженной воздействию излучения, то лучепоглощательная способность индикатора не должна заметно отличаться от лучепоглощательной способности поверхности, иначе на температуру поверхности будет оказано влияние со стороны индикатора.

2.5. Пользуясь указанными методами в условиях изменения температуры, следует помнить, что индикатор может отражать изменение температуры с запаздыванием во времени, что приводит к неточному измерению фактической температуры при ее изменении.

3. **Методы, основанные на использовании датчиков инфракрасного излучения**

Основные положения, относящиеся к использованию инфракрасного излучения, изложены в приложении I.

Для определения температуры необходимо знать коэффициент излучения лучеиспускающей поверхности. Картина инфракрасного излучения, полученная при сканировании, будет фактически картиной распределения энергии излучения, а не температуры. Наилучшие результаты получаются при использовании метода сравнения двух небольших участков поверхности, имеющих одинаковую температуру, один из которых имеет поверхностное покрытие из материала с известным коэффициентом излучения.

Площадь, занятая датчиком, должна быть меньше площади поверхности, температура которой измеряется. Поэтому в случае, когда образцы слишком малы для обычных детекторов излучения, может возникнуть необходимость в использовании инфракрасного электронного микроскопа. Для того чтобы получить большую точность измерения температуры, лучше пользоваться устройством, улавливающим излучение с небольшой поверхности испытуемого образца.

Необходимо подчеркнуть, что выбранный участок поверхности должен быть достаточно плоским для того, чтобы избежать значительного излучения не в направлении датчика. Кроме того, следует принять меры, чтобы к датчику не поступало излучение от посторонних источников как непосредственным путем, так и в результате отражения на поверхность измерения.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н
Справочное

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУХА

Известно несколько приборов для измерения скорости воздуха:

1. Одним из самых старых приборов является чашечный анемометр, используемый главным образом в метеорологии. Скорость вращения крестообразно расположенных чашечек под воздействием потока воздуха соответствует скорости ветра; шкалу калибруют в м/с. Диапазон измерений очень широк, и в серийном производстве чашечные анемометры выпускаются различных размеров. При помощи малогабаритного анемометра может быть измерена скорость воздуха в малом объеме, например, внутри испытательной камеры.

2. Термометр Ката — особый вид стеклянного термометра, в котором используется охлаждающее действие конвекции. Принцип действия термометра заключается в измерении времени, необходимого для охлаждения предварительно нагретого термометра, например, с 38 до 35°С. Термометр применяется для измерений в пределах диапазона скоростей приблизительно от 0,05 до 10 м/с и при температурах приблизительно от —10 до +30°С. Однако, этот способ неудобен, так как после каждого измерения термометр должен вновь нагреваться.

3. Охлаждающее действие конвекции используется также в термоанемометре с нитью накала и в термоанемометре, чувствительным элементом которого является резистор с отрицательным ТКС. В обоих случаях на чувствительный элемент подается ток определенной величины и производится его нагрев до эталонной температуры. При прохождении потока воздуха через элемент температура последнего понижается. Величина охлаждения дает возможность определить скорость воздуха. Чувствительный элемент в первом случае представляет собой свободно натянутую платиновую нить, а во втором случае является резистором с отрицательным ТКС. Так как такие элементы могут быть малых размеров и иметь низкую теплоемкость, то они могут иметь низкую тепловую постоянную, что дает возможность измерить воздушный поток очень малой площади поперечного сечения. Эти приборы имеют особое значение для измерения малых скоростей воздуха. Серийное производство предусматривает их использование в температурном диапазоне приблизительно от —30 до +100°С. Что касается термоанемометра с нитью накала, то охлаждающее действие зависит от угла между осью нити накала и направлением воздушного потока. Поскольку охлаждающее действие минимально, когда воздушный поток параллелен нити, то, поворачивая термоанемометр с нитью накала, можно с высокой точностью определить направление воздушного потока.

Способы, основанные на использовании чашечных анемометров и термометра Ката, приемлемы только для больших камер (например, таких, в которые может войти человек), тогда как способы, основанные на использовании термоанемометров, приемлемы для малых камер.

Другие способы, пригодные для измерения скорости воздуха в климатических камерах, описаны в популярной литературе.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЛУЧЕПОГЛОЩЕНИЯ

1. **Введение**

Как уже упоминалось в приложении С, теплообмен лучеиспусканием между двумя телами, имеющими разные температуры поверхности, например, между испытуемым образцом и стенками испытательной камеры, зависит от излучательной способности образца и лучепоглощательной способности стенок камеры. Поэтому для того, чтобы иметь возможность сделать вывод относительно поведения образцов в условиях эксплуатации на основании результатов испытания, необходимо знать излучательную и лучепоглощательную способность поверхностей, участвующих в теплообмене лучеиспусканием. Особенно это важно для теплорассеивающих образцов.

В настоящем приложении рассматриваются, главным образом, методы определения излучательной и лучепоглощательной способности, обеспечивающие достаточную точность и имеющие практическое значение для климатических испытаний, а также требующие сравнительно небольшого количества оборудования и малых затрат времени. Точные измерения, такие, как определение излучательной и лучепоглощательной способности в камерах, имитирующих условия в космическом пространстве, требуют применения более дорогостоящих методов. Если имеет место солнечная радиация, то необходимо принимать во внимание различие спектров падающих и уходящих волн и, следовательно, степень поглощения солнечной радиации. Относительно данных методов должны быть сделаны ссылки на соответствующую литературу.

2. **Теория излучения**

Приведенная ниже теория излучения относится к методам определения коэффициента излучения и лучепоглощения, изложенным в п. 4.

Мощность излучения M, излучаемая в полусферу с единицы поверхности реального тела при определенной температуре, связана с соответствующей мощностью излучения черного тела M_s при той же температуре следующим выражением

$$M = \varepsilon M_s.$$

M_s — определяется по закону Стефана-Больцмана

$$M_s = \sigma T^4, \qquad (14)$$

где T — температура, К:

σ — постоянная Стефана-Больцмана

$$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4};$$

ε — интегральный коэффициент полусферического излучения.

Распределение энергии излучения в спектре абсолютно черного тела при температуре T определяется по формуле Планка, а длина волны $\lambda_{макс}$ максимальной интенсивности излучения — по закону смещения (Вина)

$$\lambda_{макс} T = 2{,}89 \cdot 10^{-3}\ \text{м} \cdot \text{К}. \qquad (15)$$

На практике равенство (14) обычно применяется в таком виде

$$M_s = C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4,$$

где $C_s = 5{,}67\ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4} = 20{,}4\ \text{кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot h^{-1} \cdot \text{К}^{-4}$,

где h — время, ч.

Для реального тела имеем следующее выражение

$$M = C\left(\frac{T}{100}\right)^4 = \varepsilon C_s\left(\frac{T}{100}\right)^4. \qquad (16)$$

Для теплообмена излучением между двумя телами при температурах T_1 и T_2 поток тепла на единицу поверхности Q_{12} определяется по формуле

$$Q_{12} = \varepsilon_{12} C_s\left\{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right\}. \qquad (17)$$

Величина ε_{12} коэффициента лучистого теплообмена зависит от конфигурации участвующих в теплообмене поверхностей, от коэффициента излучения образца ε_2 и коэффициента лучепоглощения ε_1 стенок камеры.

Рассмотрим формулу коэффициента лучистого теплообмена двух концентрических сфер, расположенных одна в другой, или двух бесконечно длинных цилиндров, расположенных аналогичным образом, характеризующих случай, часто встречающийся при испытаниях на воздействие внешних факторов, когда испытанию в закрытой испытательной камере подвергается трехмерный образец. Допуская диффузное отражение и применимость закона Ламберта, получим

$$\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_2}{1 + \frac{A_2}{A_1}\left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - \varepsilon_2\right)}, \qquad (18)$$

где A_1, A_2 — площади рассматриваемых поверхностей. На практике это означает, что чем меньше площадь поверхности (образца) A_2 по сравнению с площадью поверхности (стенок камеры) A_1, тем меньше будет влияние коэффициента лучепоглощения ε_1 стенок камеры на величину коэффициента лучистого теплообмена ε_{12}.

3. Практическое применение теории излучения

3.1. Величина ошибки

Логарифмическое дифференцирование равенства (16) дает

$$\frac{dM}{M} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + 4\frac{dT}{T}. \qquad (19)$$

Точность определения ε выражается ошибкой измерений T и M. Так как в обычных условиях испытаний (исключая имитацию условий космического пространства) T находится в пределах от 200 до 400 К, ошибка в измерении температуры, например, при измерении температуры 200 К, равная 0,25 К, приведет к общей ошибке в 0,5%. При теплообмене излучением ошибки измерений двух температур имеют большое значение, т. е. необходимо точное измерение разности обеих температур (T_1—T_2) и одной из двух температур T_1 или T_2.

В величины M и Q входит электрическая мощность, которая рассеивается в образце и отводится через его поверхность. Эта мощность становится равной мощности излучения только в том случае, когда теплопередача конвекцией становится равной нулю (т. е. только при барометрических давлениях ниже величины, лежащей около 0,01 $Н \cdot м^{-2}$ в случае отсутствия отвода тепла через монтажные приспособления).

3.2. Диапазон волн и энергетический спектр теплового излучения

На рис. 12 приведены длины волн $\lambda_{макс}$ для различных температур, выраженных в Кельвинах, при которых согласно закону смещения (Вина) (уравнение (15) интенсивность теплового излучения достигает максимума. В пределах температурного диапазона, представляющего особый интерес для кли-

Закон смещения (Вина)

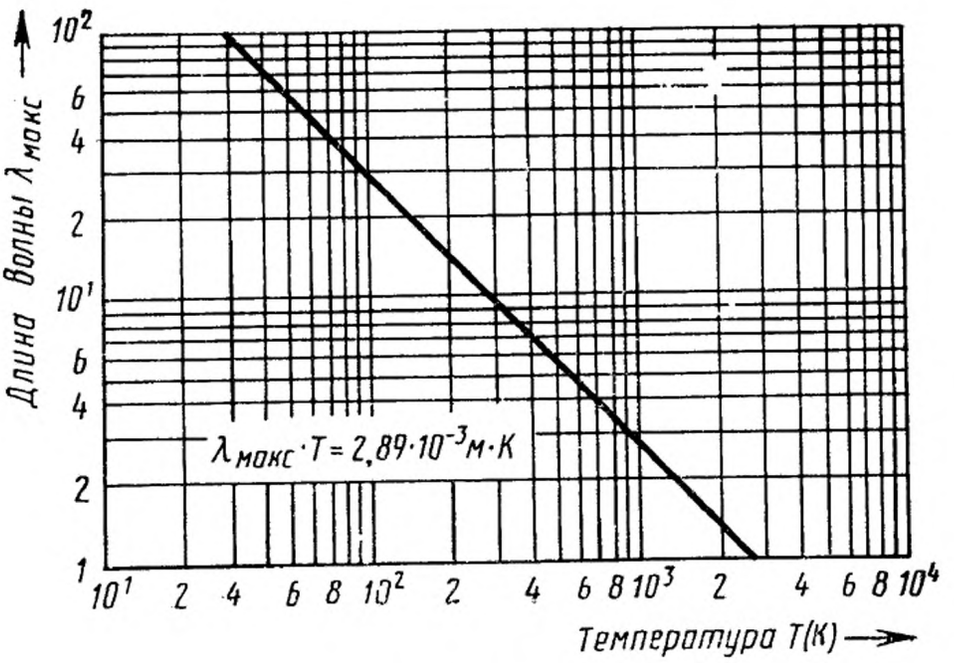


Рис. 12

Соотношение между величинами $-\frac{M_0 \ldots \lambda}{M_s}$ и λT

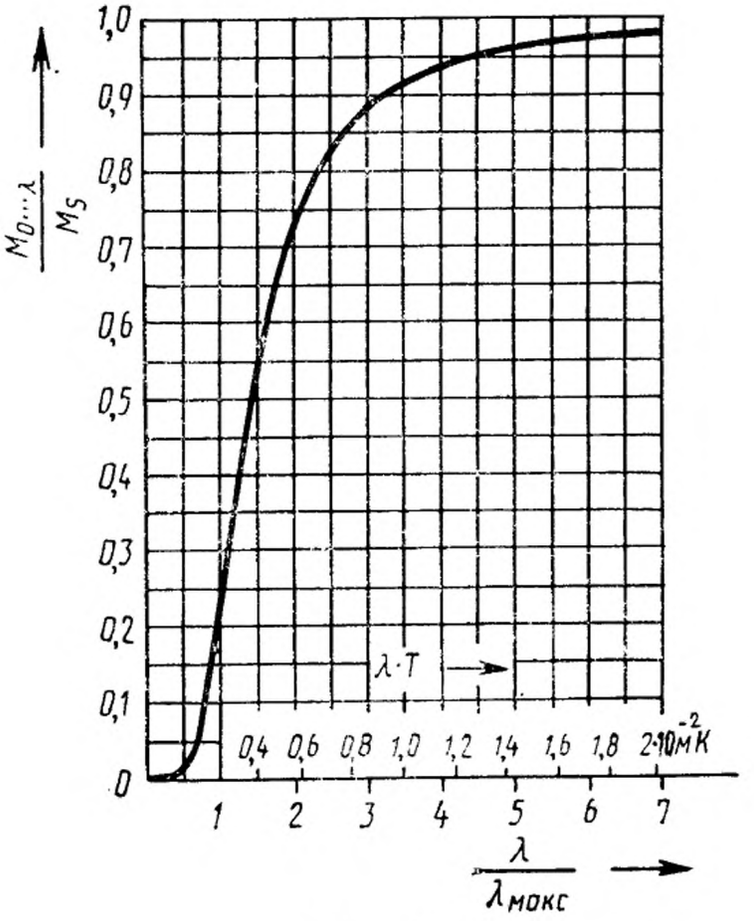


Рис. 13

матических испытаний, $\lambda_{макс}$ в большинстве случаев находится в дальней инфракрасной области спектра.

Если формулу Планка в приведенном виде проинтегрировать в пределах от 0 до λ и взять отношение величины $M_0 \ldots \lambda$ к суммарной мощности излучения M_s при той же температуре T, то получим приведенную на рис. 13 зависимость этого отношения от величин λT и $\lambda/\lambda_{макс}$ соответственно.

Отсюда следует, что доля мощности излучения в диапазоне от 0 до $\lambda_{макс}$ составляет только 25% суммарной мощности излучения, поскольку 72% мощности излучается в диапазоне от 0 до $2\lambda_{макс}$, а 88% суммарной мощности излучения — в диапазоне от 0 до $3\lambda_{макс}$. Таким образом, для измерения излучения в пределах вышеупомянутого диапазона температур требуются детекторы излучения, которые сохраняют чувствительность в дальней инфракрасной области спектра. Для оптической системы таких устройств можно использовать, например, материал KPS 5 (44% TlBr и 56% TlJ) с предельной длиной волны около 45 мкм

3.3. Суммарное излучение

Значения удельной суммарной мощности излучения, полученные для ряда температур T по закону Стефана-Больцмана (уравнение (14), приведены в табл. 3. Уровни минимальной мощности излучения, которые могут быть измерены имеющимися в настоящее время детекторами, лежат в пределах от 10^{-10} до 10^{-8} Вт. При сравнении измеряемых уровней мощности излучения с данными, приведенными в табл. 3, следует обратить внимание на то, что поверхность, с которой улавливается излучение, и детектор образуют телесный угол, представляющий сравнительно малую часть полусферы. Поэтому в этом случае измеряется коэффициент излучения, перпендикулярного к поверхности ε_n.

Таблица 3

Полусферическое суммарное излучение для различных температур

T, К	M_s, Вт · м$^{-2}$	T, К	M_s, Вт · м$^{-2}$
4	$1{,}45 \cdot 10^{-5}$	300	459
10	$5{,}67 \cdot 10^{-4}$	400	1450
50	$3{,}54 \cdot 10^{-1}$	500	3540
100	5,67	1000	56700
200	90,7	2000	907000

4. Методы определения коэффициентов излучения и лучепоглощения

4.1. Общие положения

В указанных ниже пунктах рассматриваются наиболее общие методы определения коэффициентов излучения и лучепоглощения стенок камеры, применимые к испытаниям А и В.

Следует заметить, что коэффициент лучепоглощения некоторых материалов и обработанных поверхностей ощутимо меняется в зависимости от температуры. Поэтому определение коэффициента лучепоглощения необходимо производить в диапазоне температур, соответствующих данному испытанию.

4.2. Определение величины коэффициентов излучения и лучепоглощения стенок камеры

4.2.1. *Измерение температуры поверхности образца с известной величиной теплорассеяния при теплообмене между образцом и окружающими стенками камеры в вакууме*

Если образец имеет размеры, близкие к размерам испытуемого образца, и коэффициент излучения его известен, то метод обеспечивает максимальное соответствие условий, имитированных в испытательной камере, действительным

условиям внешней среды. Эффективная лучепоглощательная способность стенок камеры в таком случае может быть определена путем вычислений на основе данных, полученных при измерениях. Этот метод применяется только тогда, когда разность температур стенок камеры невелика (т. е. находится в пределах, предписанных для испытаний на сухое тепло).

4.2.2. *Определение коэффициентов излучения поверхности методом сравнения ее излучения с излучением поверхности, коэффициент излучения которой известен, в случае, если обе поверхности имеют одинаковую температуру*

Для этого метода можно с успехом применять детекторы излучения с дополнительными делениями, полученными в результате калибровки по коэффициенту излучения ε, что дает возможность проводить сравнительные измерения.

Для калибровки часть поверхности в непосредственной близости от участка поверхности, коэффициент излучения которой следует определить, покрывается пленкой с известным коэффициентом излучения. Тепловое сопротивление этих двух выбранных участков поверхности должно быть, по возможности, мало, так, чтобы обе поверхности имели одинаковую температуру.

Сначала измеряют температуру излучения участка поверхности с известным коэффициентом излучения, при этом на шкале коэффициента излучения устанавливается известное значение. Затем детектор направляют в сторону испытуемой поверхности, а шкалу коэффициента излучения регулируют до тех пор, пока не дойдут до прежнего показания температуры излучения. Значение ε, считываемое со шкалы коэффициента излучения, представляет среднюю величину, которая выше фактической. Прибор улавливает как отраженные, так и испускаемые лучи; величина отраженного излучения меняется в зависимости от расстояния между поверхностью и детектором. Поскольку среднее значение ε включает оба вида изменения, а истинная величина ε относится только к непосредственному излучению, то из этого следует, что среднее значение ε больше истинной величины. Тем не менее, на практике точность измерений этим методом достаточна.

Если требуются более точные измерения, то можно произвести сравнение эталонов с известным коэффициентом излучения и испытуемых частей стенок, которые для этого извлекаются из камеры, при этом возникает необходимость в соответствующих специалистах и оборудовании.

4.3. Проверка поверхности стенок камеры на минимальную величину коэффициента лучепоглощения

В требованиях к лучепоглощательной способности стенок камеры, которые представляются при испытаниях А и В, указаны минимальные значения коэффициентов лучепоглощения. Поэтому во многих случаях достаточно убедиться, что коэффициент лучепоглощения стенок камеры превышает определенную величину. Этого можно достичь, укрепив на стенке камеры пластину, коэффициент лучепоглощения которой равен заданной минимальной величине. Сканируя стенки и пластину с помощью детектора излучения, достаточно отметить большую или меньшую степень черноты пластины по сравнению со степенью черноты стенок камеры.

5. **Величины коэффициентов излучения**

Величины коэффициентов лучепоглощения различных материалов приводятся в соответствующей литературе и в табл. 4.

6. **Способы повышения лучепоглощательной способности стенок камеры**

6.1. Покрытия и другие способы обработки поверхности

Для того чтобы получить коэффициенты лучепоглощения больше минимальных величин, предписанных для испытаний А и В, поверхность можно покрыть соответствующим лаком или обработать другим способом (например, подвергнуть пескоструйной обработке, химическому чернению).

Следует заметить, что термически черный цвет не обязательно предполагает оптический черный цвет стенки камеры; так, например, признаны вполне приемлемыми стенки камеры, покрытые соответствующим белым лаком.

6.2. Механические структуры

Лучепоглощательную способность можно значительно повысить, используя

для стенок камеры ячеистые структуры. Этот способ применим, главным образом, для камер, имитирующих условия в космосе. Для испытательных камер, которые, кроме испытаний на холод и сухое тепло, применяются при испытаниях образцов в условиях влажности, он менее пригоден из-за трудности чистки таких поверхностей.

ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

В табл. 4 приведены величины интегральных коэффициентов полусферического излучения ε и коэффициентов излучения, перпендикулярного к поверхности ε_n для различных материалов.

Можно отметить, что для тел с гладкими чисто металлическими поверхностями средняя величина отношения $\varepsilon/\varepsilon_n$ равна 1,2; для неметаллических тел с гладкими поверхностями средняя величина равна 0,95, а для неметаллических тел с шероховатыми поверхностями величина $\varepsilon/\varepsilon_n$ равна 0,98.

Коэффициент излучения металлов с повышением температуры увеличивается, а коэффициент излучения неметаллов и окисей металлов с повышением температуры уменьшается.

Таблица 4

Коэффициенты излучения при температуре t, °С

Поверхность	t, °С	ε_n	ε
Золото полированное	130	0,018	—
	400	0,022	—
Серебро	20	0,020	—
Медь полированная	20	0,030	—
Медь полированная, слегка тусклая	20	0,037	—
Медь шероховатая	20	0,070	—
Медь черная, окисленная	20	0,78	—
Медь окисленная	130	0,76	0,725
Алюминий полированный, листовой	170	0,039	0,049
	500	0,050	—
Алюминий, покрытый бронзовой краской	100	0,20—0,40	—
Литье силуминовое, полированное	150	0,186	—
Никель чистый, неполированный	100	0,041	0,046
Никель полированный	100	0,045	0,053
Марганец полированный листовой	118	0,048	0,057
Хром полированный	150	0,058	0,071
Сталь очищенная травленая	150	0,128	0,158
Сталь очищенная шлифованная наждаком	20	0,24	—
Сталь, покрытая ржавчиной	20	0,61	—
Стальной прокат	20	0,77	—
	130	0,60	—
Чугун	100	0,80	—
Сталь сильно ржавая	20	0,85	—
Сталь окисленная	80	0,613	—
Сталь нержавеющая (X5CrNi189): полированная	50	0,11	0,11
	115	0,12	0,13
	180	0,13	0,14

Продолжение табл. 4

Поверхность	t, °С	ε_n	ε
подвергнутая пескоструйной обработке, шероховатость поверхности (средне арифметическое отклонение Ra=2,1 мкм) (ИСО Р468)	—70	0,44	0,43
	+40	0,46	0,45
	+150	0,48	0,47
Цинк, окисленный до серого цвета	20	0,23—0,28	—
Свинец, окисленный до серого цвета	20	0,28	—
Висмут чистый	80	0,340	0,366
Наждак крупнозернистый	80	0,855	0,84
Глина обожженная	70	0,91	0,86
Лак для радиаторов	100	0,925	—
Краска (свинцовый сурик)	100	0,93	—
Эмаль лаковая	20	0,85—0,95	—
Лак черный матовый	80	0,970	—
Лак бакелитовый	80	0,935	—
Кирпич, строительный раствор, штукатурка	20	0,93	—
Стекло	90	0,940	0,876
Поверхность льда, вода	0	0,966	0,918
Лед (грубый)	0	0,985	—
Водомерное стекло, покрытое сажей (угольной краской)	20	0,96	—
Бумага	95	0,92	0,89
Древесина (бук)	70	0,935	0,91
Кровельный картон	20	0,93	—

ПРИЛОЖЕНИЕ К
Справочное

ОБЩАЯ БЛОК-СХЕМА ИСПЫТАНИЙ НА ХОЛОД И СУХОЕ ТЕПЛО

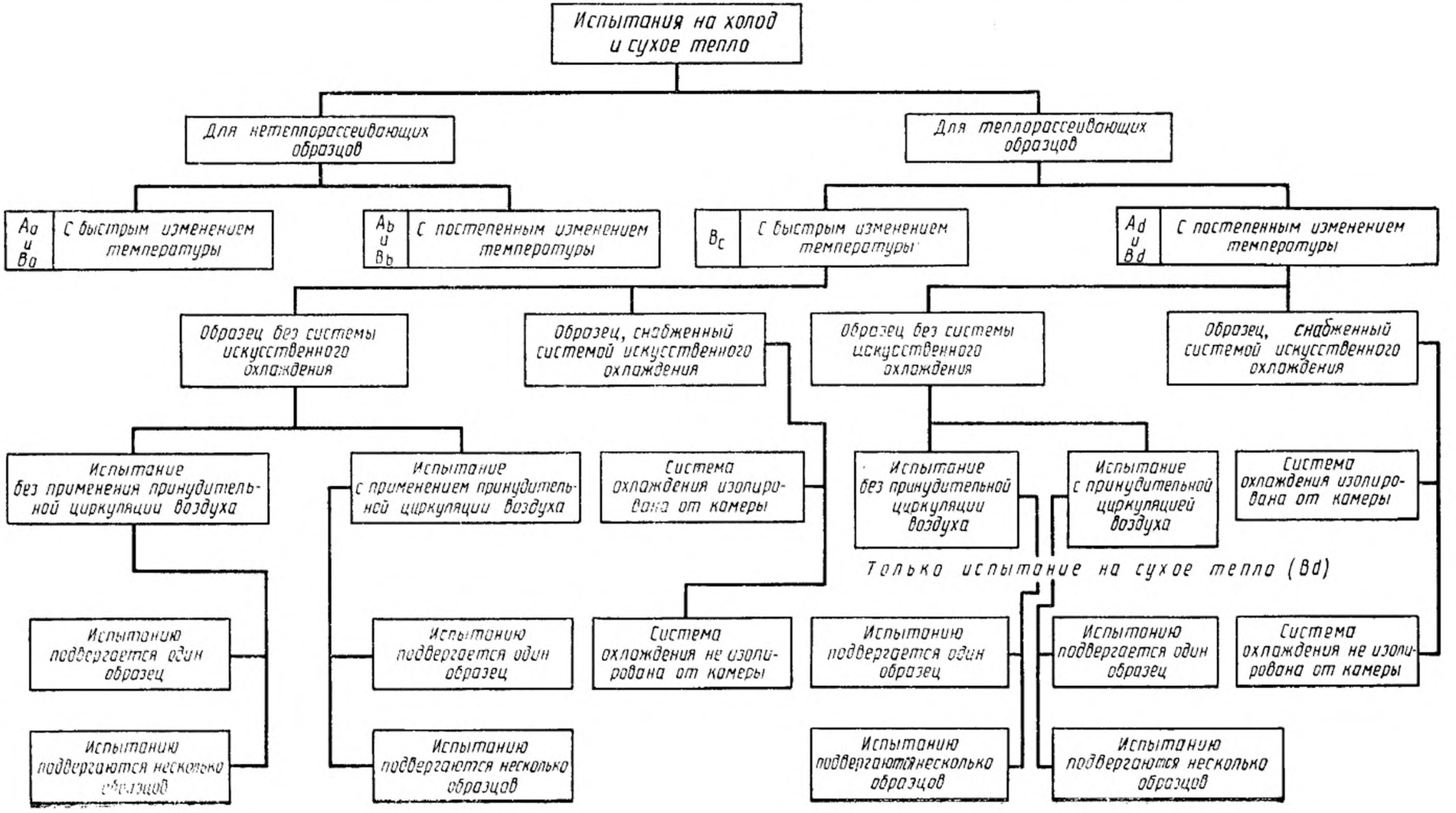


Рис. 14

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.08.89 № 2566 введен в действие государственный стандарт СССР ГОСТ 28236—89, в качестве которого непосредственно применен стандарт Международной Электротехнической Комиссии СТ МЭК 68—3—1—74, с 01.03.90

2. Замечания к внедрению ГОСТ 28236—89
Техническое содержание Стандарта МЭК 68—3—1—74 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 3. Дополнительная информация. Раздел 1. Испытания на холод и сухое тепло» принимают для использования и распространяют на изделия электронной техники народнохозяйственного назначения.

Редактор *Н. Е. Шестакова*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Р. Н. Корчагина*

Сдано в набор 30.08.89 Подп. в печ. 29.11.89 2,75 усл. печ. л. 2,75 усл. кр.-отт. 2,67 уч.-изд. л.
Тир. 10 000 Цена 15 к.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1016

gost.e-ecolog.ru