


А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, А. О. Петренко

A photograph of several firefighters in full protective gear, including helmets and oxygen tanks, working at a fire scene. They are positioned in a line, facing away from the camera towards a large fire. The scene is illuminated by the bright orange and yellow flames of the fire. The firefighters are wearing yellow and brown protective suits with reflective stripes. One firefighter in the foreground is holding a fire hose. The background is filled with thick smoke and fire.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА
РАБОЧИХ МЕСТАХ С
ПОВЫШЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ
ИЗЛУЧЕНИЕМ**



А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, А. О. Петренко,
В. А. Шаломов, Н. Н. Удянский, Д. Л. Соколов,
Ю. Г. Шаранова

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА
РАБОЧИХ МЕСТАХ С
ПОВЫШЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ
ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Днепр
2017

Печатается по решению
Ученого совета НУГЗ Украины
(протокол № 4 от 21.12.2017 г.)
ISBN 978-617-7540-12-9

УДК 628.87:697.245.386

Обеспечение безопасности жизнедеятельности на рабочих местах с повышенным тепловым излучением / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, А. О. Петренко, В. А. Шаломов, Н. Н. Удянский, Д. Л. Соколов, Ю. Г. Шаранова – Харьков: НУГЗУ, 2017. – 173 с.

В работе проведено ряд исследований, а именно: по термической напряженности на рабочих местах; по количественной оценке теплозащитных материалов с последующей разработкой индивидуальных и коллективных средств защиты. Проведенный анализ условий труда позволил выявить как явные, так и неявные вторичные источники избыточного теплового излучения и определить требования, на основе которых разработать методику по определению терморadiационной напряженности на рабочих местах с избыточным тепловым излучением. Усовершенствованы существующие средства контроля для повышения точности измерений, для расширения объема получаемой информации характеристик теплового излучения, а также для эффективности средств защиты от чрезмерного теплового излучения и для создания новых теплозащитных материалов и покрытий. Разработки, полученные в результате исследований могут быть использованы для защиты работающих на рабочих местах с повышенными тепловыделениями в различных отраслях, в том числе оценка пожарной опасности действия огневого влияния размещенного оборудования и машин на работников.

Для научных, научно-педагогических работников, докторантов аспирантов (адъюнктов), слушателей, курсантов и студентов, владеющих соответствующим математическим аппаратом в пределах учебной программы технического вуза III-IV уровня аккредитации.

Рецензенты: докт. техн. наук., проф. Голинько В. И.
докт. техн. наук., проф. Андронов В. А.

© Беликов А. С., Рагимов С. Ю., Петренко А. О., Шаломов В. А.,
Удянский Н. Н., Соколов Д. Л., Шаранова Ю. Г. 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений и специальных терминов	5
ВВЕДЕНИЕ	8
РАЗДЕЛ 1. Обеспечение безопасности на рабочих местах с повышенным тепловым излучением	10
1.1. Оценка микроклиматических условий в помещениях зданий и их влияние на организм человека	10
1.2. Оценка микроклимата с учетом сочетания температуры воздуха и окружающих поверхностей	11
1.3. Влияние повышенных температур на организм человека	15
1.4. Нормирование высокотемпературного излучения на рабочих местах	21
1.5. Оценка избыточных тепловых излучений технологических источников	25
РАЗДЕЛ 2. Исследование процесса теплообмена между человеком и внутренней средой	33
2.1. Характеристика конвективного и лучистого теплообмена в помещениях зданий и их влияние на обеспечение микроклимата в помещении	33
2.2. Определение коэффициента облученности между поверхностью тела человека и поверхностью расположенной параллельно оси эллиптического цилиндра	34
РАЗДЕЛ 3. Исследование термодинамической напряженности на рабочих местах с высоким тепловыделением	46
3.1. Физическое моделирование изменения энергетической освещенности с учетом параметров источника высокотемпературного излучения	46
3.2. Теоретические исследования интенсивности энергетической освещенности рабочего производства	56
3.3. Построение универсальной номограммы для оценки интенсивности теплового излучения на рабочих местах	65
3.4. Разработка программного обеспечения для обработки результатов физического и математического моделирования и на их основании построение графической картины распределения изотермических кривых теплового излучения в рабочем пространстве	71
РАЗДЕЛ 4. Теоретическое и практическое обоснование измерения тепловых излучений и эффективности применения защитных материалов от ИК-излучения	73
4.1. Теоретическое и практическое обоснование средств применяемых для измерения теплового излучения	73

4.2. Исследования эффективности защитных свойств материалов с учетом спектральных характеристик источников теплового излучения.....	82
4.3. Исследования отражательной способности материалов экспресс–методом.....	89
4.4. Методика исследования эффективности защитных материалов от воздействия ИК–излучения.....	93
4.5. Исследование эффективности защитных материалов от ИК–излучения.....	94
РАЗДЕЛ 5. Исследование терморadiационной напряженности на рабочих местах.....	101
5.1. Исследования условий труда на предприятии изготовления режущих строительных инструментов им. Войкова, г. Запорожье.....	101
5.2. Исследование терморadiационной напряженности на заводе стройматериалов в Ново-Александровке Днепропетровской области.....	113
5.3. Исследование терморadiационной напряженности в цехе изготовления строительных стеклянных изделий филиала ООО «Сантехника».....	119
5.4. Исследование условий труда на термическом участке ООО «Сантехника ЗАЗ».....	122
5.5. Теоретическое обоснование оценки термической напряженности на рабочих местах при тушении пожаров.....	135
РАЗДЕЛ 6. Внедрение результатов исследования	141
6.1 Исследование условий труда на рабочих местах предприятия изготовления строительных инструментов им. Войкова г. Запорожье, цех механической и термической обработки режущего инструмента	141
6.2 Разработка мероприятий и средств защиты по улучшению условий труда на рабочих местах завода стройматериалов Ново-Александровке	147
6.3 Разработка мероприятий и средств защиты от теплового излучения на рабочих местах стеклоvarочного цеха	150
6.4. Внедрение результатов исследования и улучшение условий труда при избыточном тепловом излучении на рабочих местах термического участка ООО «Сантехника ЗАЗ»	153
6.5. Выбор и разработка средств защиты от негативного влияния теплового излучения.....	156
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	162

Перечень сокращений и специальных терминов

- ε – коэффициент пропускания энергии излучения;
 Q_u – энергия излучения, падающая на материал, Вт/м²;
 Q_3 – пропущенная материалом, Вт/м;
 m – коэффициент снижения потока излучения;
 T_3 – температура наружной поверхности экранного ограждения, К;
 T_i – температура поверхности источника теплоизлучения, К;
 μ – коэффициент снижения температуры;
 λ – длина волны инфракрасного излучения, мкм;
 x – показатель условий труда;
 y – показатель утомляемости;
 T_0 – общее время на регламентируемый отдых;
 η – число замеров;
 j – доверительная вероятность;
 X_n – выборочное среднее значение исследуемых параметров;
 X_n, X_1 – результаты изменения исследуемых параметров, образующих выборочное пространство;
 S_n – среднеквадратичное отклонение ряда измерений;
 ε_{np} – относительный доверительный интервал для выборочного среднего;
 t_1 – коэффициент Стьюдента;
 E_0 – облученность на рабочем месте, кВт/м;
 η_3 – количество экранов;
 v – отношение температуры защищаемого объекта и экрана;
 ε_3 – степень черноты экрана;
 ε_2 – степень черноты одежды человека;
 q – тепловой поток через прослойку теплоизоляции, Вт/м²;
 ε_k – критерий Кирпичева;
 λ_r – коэффициент молекулярной теплопроводности;
 δ – толщина воздушной прослойки;
 $T_{31} T_{32}$ – температура на ограничивающих поверхностях этой прослойки;
 C_n – теплоемкость прослойки;
 $\varepsilon_{\lambda T}$ – излучательная монохроматическая способность металла;
 ρ_0 – удельное сопротивление металла, Ом/м;
 $\alpha_{\lambda T}$ – коэффициент монохроматического поглощения;
 $\chi_{\lambda T}$ – коэффициент монохроматического отражения;
 X_λ – область диапазона длин волн;
 $\tau_{\lambda T}$ – коэффициент монохроматического пропускания;
 Q – тепловой поток от источника, кВт/м²;
 q_u – излучаемый тепловой поток, кВт/м²;
 ε – степень черноты пластины датчика;
 σ – постоянная Стефана–Больцмана;
 T_c – температура среды, К;
 a – тепловая активность;
 α – коэффициент конвективной теплоотдачи;

q_k – конвективная теплоотдача;
 Δt – шаг по времени;
 Q_{Σ} – суммарный тепловой поток;
 L – яркость источника излучения;
 Ω – телесный угол;
 A_1 – постоянная источника теплоизлучения;
 φ – угол, под которым виден источник;
 t_e – температура внутреннего воздуха, °С;
 φ_e – относительная влажность внутреннего воздуха, %;
 v_e – скорость воздушного потока (подвижность), $\frac{M}{c}$;
 t_r – температура поверхностей, обращенных во внутрь помещения (радиационная температура), °С;
 $t_{o.n.}$ – средняя температура окружающих поверхностей, °С;
 ρ_i – коэффициент облученности;
 P – парциальное давление водяного пара в воздухе, мм рт. ст.;
 R – опытный коэффициент;
 T_i – температура окружающих поверхностей, °С;
 q – значение теплового облучения;
 t_3 – эквивалентная температура;
 $t_{ш}$ – показание шарового термометра;
 u – скорость движения воздуха, м/с;
 $t_{см}$ – температура смоченного термометра, °С;
 $t_{эф}$ – эффективная температура, °С;
 W_{II} – приведенная влажность, %;
 $t_{3,эф}$ – эквивалентная эффективная температур, °С;
 $dF_q \cos \beta_2$ – проекция площадки dF_q на сферу радиусом R с центром в dF_{cm} ,
 когда угол между направлением излучения и нормалью к поверхности dF_q равен β_2 ;
 R – расстояние между элементарными площадками dF_{cm} и dF_q ;
 \bar{X} и \bar{Y} – координаты точки касания C_1 на окружности;
 X и Y – текущие координаты точек касательной;
 \bar{X}' и \bar{Y}' – производные по параметру γ ;
 $Y_1 = m_1$ – уравнение прямой, ограничивающей потолок перед человеком;
 ε – степень черноты объектов, между которыми происходит лучистый теплообмен;
 J – плотность тока, $\frac{A}{M^2}$;
 γ – электропроводность среды, $\frac{1}{OM \cdot M}$;
 φ – потенциал в рассматриваемой точке поля, B ;
 R_o – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(m^2 K)/Вт$;
 R_k – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(m^2 K)/Вт$;

τ_v – натурная температура на поверхности ограждающей конструкции внутри помещения, °C;

τ_n – натурная температура на поверхности ограждающей конструкции снаружи помещения, °C;

Q_v^x – теплотери на нагрев вентиляционного воздуха, Вт;

$Q_{ст}^x$ – теплотери через стену, Вт;

$Q_{ок}^x$ – теплотери через окно, Вт;

$Q_{инф}^x$ – теплотери связанные с инфильтрацией воздуха, Вт;

$Q_{т.м.}^x$ – теплотери через тепловые мосты, Вт;

$Q_{с.р.}^{см}$ – теплоступления от солнечной радиации через стену, Вт;

$Q_{с.р.}^{ок}$ – теплоступления от солнечной радиации через окно, Вт;

$Q_{экс}$ – теплоступления с эксфильтрационным воздухом, Вт;

Q_v – теплоступления с вентиляцией, Вт;

$K_{ок}$ – коэффициент теплопередачи окна, $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$;

t_n^B – температура наружного воздуха по параметру B, °C;

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

$\sum \beta$ – коэффициент, учитывающий добавочные теплотери;

$K_{т.м.}$ – коэффициент теплопередачи теплового моста, $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$;

$F_{т.м.}$ – площадь теплового моста, m^2 ;

G_i – массовый расход инфильтрационного воздуха, $кг/ч$;

k – коэффициент, учитывающий вид остекления;

L – объемный расход вентиляционного воздуха, $m^3/ч$;

ρ – плотность внутреннего воздуха, $кг/m^3$;

$Q_{тен.ном.}$ – тепловые потери помещением, рассчитанные в ходе первого этапа, Вт;

$Q_{тен.ном.}^{тр}$ – нормируемые тепловые потери от трубопроводов, которые расположены в наружной ограждающей конструкции, Вт;

δ_i, λ_i – толщина и коэффициент теплопроводности конструктивных слоев ограждения от трубопровода к наружному воздуху, $m, m^2 \cdot ^\circ C/Bm$;

$\delta_{ут}, \lambda_{ут}$ – толщина и коэффициент теплопроводности утепляющего слоя, $m, m^2 \cdot ^\circ C/Bm$;

α_n – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены наружному воздуху, $m^2 \cdot ^\circ C/Bm$.

ВВЕДЕНИЕ

Здоровье и работоспособность человека в основном зависят от санитарно-гигиенических условий в том числе, микроклимата и параметров воздушной среды внутри помещений жилых и производственных зданий.

Микроклимат помещения — состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха [14].

Комфортными считаются такие условия, при которых человек, находясь в рабочей или обслуживаемой зоне помещения не испытывает дискомфорта (перегрева или переохлаждения). Состояние комфорта – это субъективное чувство, возникающее у людей под влиянием комплексного воздействия параметров микроклимата [15, 16]. С технической точки зрения поддержания условий микроклимата, важными являются параметры, которые возможно изменять системами жизнеобеспечения круглогодично. В частности, интерес представляют факторы, связанные с теплоощущением. Системы жизнеобеспечения зданий позволяют регулировать температуру внутреннего воздуха $t_{в}$, °С, относительную влажность, $\varphi_{в}$, % и подвижность, $v_{в}$, м/с, поддержание параметров микроклимата необходимых для проживания и высокой продуктивности труда на рабочих местах.

Основой для выбора параметров микроклимата в помещении являются условия жизнедеятельности человека и требования технологического процесса по [14, 15, 16].

Анализ результатов исследований [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], посвященных параметрам микроклимата и воздействию их на самочувствие и работоспособность человека, позволили выделить еще один параметр – лучистая температура поверхностей обращенных во внутрь помещения. Температура поверхностей обращенных во внутрь помещения (радиационная температура поверхностей), t_p , °С, в ряде случаев существенно влияет на формирование микроклимата помещения и при оценке воздействия на организм человека ее необходимо учитывать. Более того, повышение или уменьшение значения радиационной температуры ограждающих поверхностей обращенных во внутрь помещения t_p , при обеспечении микроклиматических условий в течении года позволяет снижать значение температуры внутреннего воздуха, $t_{в}$, °С, чем может быть достигнут эффект энергосбережения топливных ресурсов при обеспечении оптимальных микроклиматических условий [14, 15, 16].

Воздействию высоких температур подвергаются работники на предприятиях строительной индустрии (производство кирпича, стекла, полимеров, цемента, гипса, извести и т.д.); металлургии; химии; машиностроения. В результате постоянного воздействия высоких температур в горячих цехах рабочих профессий: операторы, футеровщики, машинисты технологического оборудования, фрезеровщики, и другие категории работников страдают нарушениями функционального состояния центральной нервной системы, патологическими изменениями органов зрения,

подвержены заболеваниям органов дыхания, пищеварения, кровообращения, ишемической болезни в 2–3 раза чаще чем в среднем по другим предприятиям. Не принятие должных мер по оценке пожарной опасности при тушении пожара приводит к серьезным травмам и даже летальному исходу работников, связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций.

Установлено, что значительная часть работников подвергается влиянию инфракрасного излучения (ИК–излучению) с длиной волны спектра излучения 0,76...700 Мкм.

РАЗДЕЛ 1

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ С ПОВЫШЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

1.1. Оценка микроклиматических условий в помещениях зданий и их влияние на организм человека.

Здоровье и безопасность жизнедеятельности человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной средой.

В санитарных и гигиенических целях нужно стремиться к созданию в среде обитания человека оптимальных микроклиматических условий. Несомненно, что существуют такие микроклиматические условия, которые являются наиболее предпочитаемыми. Их обычно называют комфортными, обеспечивающими человеку «высшее уравнивание» с внешней средой [24, 25, 26, 27].

Отечественными и зарубежными гигиенистами [17, 26, 28, 29] установлена связь между микроклиматом в жилище, на рабочем месте и состоянием здоровых людей. Обеспечение заданных показателей микроклимата является одной из основных задач специалистов по его обеспечению. За рубежом исследования теплоощущений человека в помещении легли в основу значительного числа национальных и международных стандартов на микроклиматические условия [27, 28, 29, 30]. С учетом проведенных исследований, для человека зону наиболее предпочитаемых температур можно охарактеризовать не только с точки зрения испытываемых им субъективных ощущений, но и чисто физиологических. В связи с этим под зоной теплового комфорта следует понимать такой комплекс микроклиматических условий, при котором терморегуляторная система организма находится в состоянии наименьшего напряжения, а протекание всех остальных физиологических функций происходит на уровне, наиболее благоприятном для работы, отдыха и восстановления сил организма после предшествовавшей рабочей нагрузки.

При всех условиях работы отдых и восстановление сил происходит в помещении, для чего микроклимат его должен быть таким, чтобы восстановительные процессы в организме протекали на самом оптимальном уровне, а функция терморегуляции, подобно всякой другой, находилась бы в состоянии покоя или наименьшей активности [31, 32].

Мы, в последнее время все чаще сталкиваемся с понятием «комфорт», но не всегда четко представляем его смысл. Комфортное состояние человека определяется многими факторами. Поэтому встает вопрос о дискомфорте, мы не всегда можем назвать вызвавшие его причины.

Отдельные авторы по-разному определяют понятие «тепловой комфорт» [33, 34, 35, 36]. Проанализировав вышеперечисленные источники, понятие теплового комфорта можно сформулировать: тепловой комфорт – это микроклиматические условия, обеспечивающие оптимальный уровень физиологических функций, в том числе и терморегуляторных при субъективном ощущении комфорта.

Параметры микроклимата и их различные комбинации, оказывают

значительное влияние на теплоощущение. Наиболее важные из них можно представить в виде схемы (рис. 1.1). Расчет параметров микроклимата в значительной степени осложняется тем, что их число велико, и трудно среди них выявить определяющие.

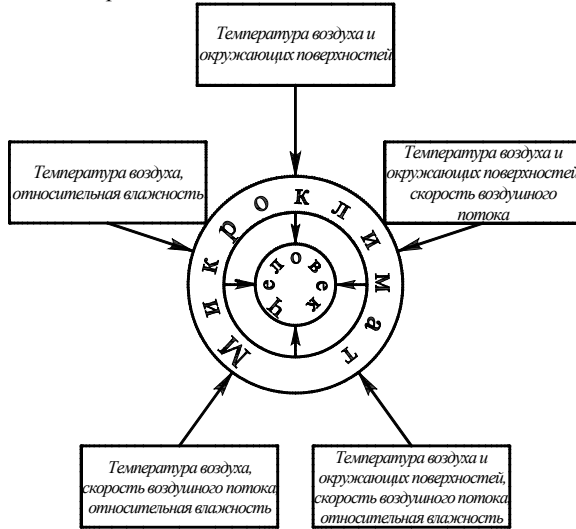


Рис. 1.1. Система воздействующих факторов среды помещения, оказывающих существенное влияние на теплоощущения человека

Поэтому методы расчета теплоощущения разрабатываются в зависимости либо от назначения помещения (жилые, общественные, промышленные), либо от системы, обеспечивающей микроклимат (воздушное отопление, радиационное охлаждение и т. д.).

1.2. Оценка микроклимата с учетом сочетания температуры воздуха и окружающих поверхностей.

Показатели, относящиеся к этой группе, широко используются в инженерной практике. По мнению физиологов, тепловое состояние нельзя характеризовать всего лишь двумя параметрами. Поэтому на все остальные параметры накладываются ограничения, что в значительной мере сужает область применения этого показателя микроклимата. Некоторые показатели часто перерабатывались и дополнялись (например, оперативная температура и модифицированная оперативная температура).

Согласно формулировке Уинслоу, Харрингтона и Гейджа, оперативная температура – это температура окружающей среды, в которой тело человека путем радиации и конвекции отдает столько же тепла,

сколько и в окружении с одинаковой температурой воздуха и стен и при максимальной скорости движения воздуха 0,07 – 0,08 м/с [17].

Математическая запись оперативной температуры для обнаженного человека в состоянии покоя:

$$t_o = 0,48t_{o.n.} + 0,52t_e \quad (1.1)$$

то же, для одетого человека:

$$t_o = 0,55t_{o.n.} + 0,45t_e \quad (1.2)$$

где t_e – температура воздуха, °С;

$t_{o.n.}$ – средняя температура окружающих поверхностей, °С.

На основе результатов исследований явного теплообмена человека (конвекцией и радиацией) Нильсен и Педерсен [33] предложили использовать следующее эмпирическое соотношение в качестве характерного показателя *результатирующей температуры*:

$$t_{рез} = 0,557t_e + 0,443t_{o.n.} \quad (1.3)$$

Показатели комфорта, по Раберу и Гатчинсону [34]:

$$t_e + t_{o.n.} = 42,2 \quad (1.4)$$

Результаты исследований по изучению соотношения между температурой воздуха и окружающих поверхностей и теплоощущениями человека представлены на рис. 1.2. Более высокая температура стен соответствует более низкой температуре воздуха. Это имеет место в случае лучистого отопления.

Диаграмма приятного теплоощущения, разработанная Гайа [17], первоначально предназначалась для расчета микроклимата промышленных сооружений при скорости воздушного потока до 1,5 м/с. Венцель и Мюллер [17] показали, что диаграмму можно использовать и в других помещениях при изменении температуры воздуха и окружающих поверхностей в диапазоне 10-30 °С (рис. 1.3).

Согласно венгерскому техническому кодексу, при проектировании лучистого отопления результирующую температуру необходимо рассчитывать по следующей формуле:

$$t_{рез} = 0,5t_{o.n.} + 0,5t_e \quad (1.5)$$

Общая результирующая температура

$$t_e = 1 - R t_e + R t_p \quad (1.6)$$

где R – опытный коэффициент;

t_p – радиационная температура, рассчитываемая по формуле

$$t_p = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \varphi_i T_i^4} - 273 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.7)$$

где φ_i – коэффициент облученности;

T_i – температура окружающих поверхностей.

Формула эквивалентной температуры

$$t_s = 0,45t_e + 0,55t_p \quad (1.8)$$

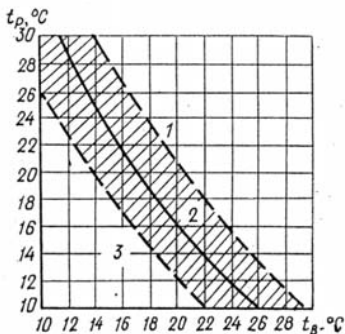


Рис. 1.2. Диаграмма теплоощущений по данным Бедфорда и Лизе [17]
 t_p – радиационная температура, °C; t_a – температура воздуха, °C; 1 – жарко; 2 – приятно; 3 – холодно

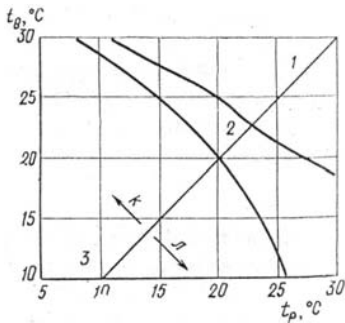


Рис. 1.3. Диаграмма теплоощущений по данным Гайя [17]
 t_p – радиационная температура, °C; t_a – температура воздуха, °C; 1 – жарко; 2 – комфортно; 3 – холодно; к – конвективное отопление; л – лучистое отопление

Миссенар предлагает использовать значения скорости воздушного потока 0,1 м/с [21]. Для области комфортного теплоощущения Бедфорд предлагает принимать значение эквивалентной температуры Миссенара 18,5 °C, а Яглоу и Кренко – диапазон 16,5 – 20 °C.

Согласно расчетам Батурина [17], результирующая температура определяется по формуле:

$$t_{рез} = t_a - 0,83q \quad (1.9)$$

где q – значение теплового облучения.

$$q = 5,4(t_{o.n.} - t_a) \quad (1.10)$$

$t_{o.n.}$ – средняя температура окружающих поверхностей, °C.

Значение $t_{o.n.}$ можно определить с помощью эмпирического соотношения, выведенного Бедфордом на основе своих опытов:

$$t_{o.n.} = 0,4t_a - 0,36t_p + 10,1 \quad (1.11)$$

Результирующая температура, таким образом, определяется с помощью соотношения:

$$t_{рез} = 0,82t_a + 0,36t_p - 4,55 \quad (1.12)$$

Если $t_a = t_p$, то

$$t_{рез} = 0,55t_a + 0,45t_p \quad (1.13)$$

Ощущаемую температуру по Ричелу – Райсу (в венгерской практике – результирующая температура) выражают следующим образом:

$$t_{рез} = \frac{\alpha_a t_a + \alpha_p t_{o.n.}}{\alpha_a + \alpha_p} \quad (1.14)$$

где $t_{o.n.}$ – средняя температура окружающих поверхностей, °С.
 При малых скоростях воздушного потока $\alpha_k \approx \alpha_p$ получаем:

$$t_{pec} = \frac{t_a + t_{o.n.}}{2} \quad (1.15)$$

Диаграмма Ричела – Райса, учитывающая температуру воздуха и окружающих поверхностей помещения, по мнению авторов, применима во всех случаях [35]. На диаграмме показаны характерные линии областей теплоотдачи Нильсена и Педерсена, кривая Гайя, а также области теплоощущения с учетом влияния тепловой изоляции одежды (рис. 1.4).

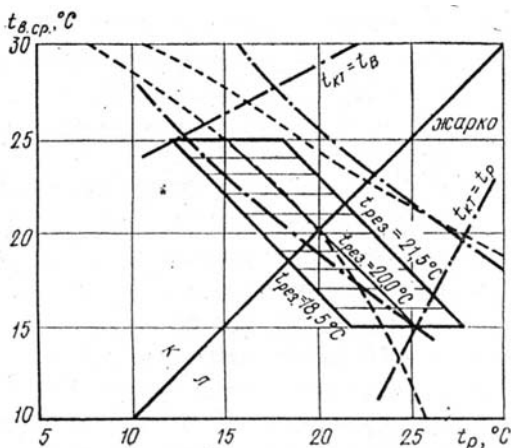


Рис. 1.4. Диаграмма теплоощущения, по данным Ричела и Райса
 t_p – радиационная температура; t_a – температура воздуха; k – конвективное отопление; $л$ – лучистое отопление

При построении диаграммы $t_{o.n.} - t_k$ (рис. 1.5) Мачкаши пользуется следующей формулой:

$$t_{o.n.} = t_k - \frac{Q}{7,25} \quad (1.16)$$

где t_k – температура поверхности тела человека;
 °С; Q – теплоотдача человека во время работы, Вт.

Данная методика имела ряд ограничений, которые сужали возможность ее использования: воздух неподвижен, температура воздуха 15 – 25 °С, распределение температуры воздуха и поверхностей равномерное, относительная влажность воздуха 30 – 70 %.

Указанные недостатки методики, не позволяют объективно оценить ощущения человека с учетом состояния воздействия среды помещения.

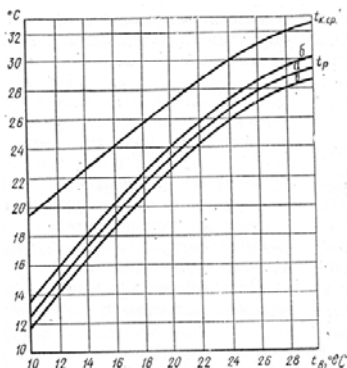


Рис. 1.5. Диаграмма комфорта, по данным Мачкаши [36]

$t_{к.ср.}$ – средняя температура поверхности тела человека; а – линия комфорта; б – верхняя граница комфорта; в – нижняя граница комфорта.

1.3. Влияние повышенных температур на организм человека

В настоящее время строительная индустрия, несмотря на общее снижение темпов строительства, переживает значительные изменения и совершенствование технология. Такие технологии предусматривают широкое использование новых конструкционных материалов на основе полимерных, композиционных, стеклянных и базальтовых материалов. Это позволяет значительно сократить трудоемкость и увеличить производительность при возведении строительных объектов промышленного и гражданского назначения. Однако, современные технологии производства строительных материалов и конструкций предусматривают интенсификацию и повышение энергонасыщенности. Особо энергоемкими являются: производство цемента, стекла, процессы тепловой обработки бетона, цеха подготовки арматуры для железобетона; производство кирпича, силикатных изделий и шифера; цеха обжига сантехнической керамики и т.д. Все это свидетельствует о значительной зависимости стройиндустрии от различных энергоисточников с высоким тепловыделением. К производствам с интенсивным тепловыделением необходимо отнести рабочие места стекольных заводов. Так, стекловаренная печь и машина вертикального вытягивания стекла являются источниками лучистого тепла в пределах $3000 \text{ Вт/м}^2 - 7000 \text{ Вт/м}^2$. Поверхность стекловаренной печи при температуре $90-190^\circ\text{C}$ являются источником лучистого тепла $500 \text{ Вт/м}^2 - 2000 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 1 м от ее поверхности. Температура воздуха при работе на полуавтоматах стеклоизделий летом составляет 40°C при относительной влажности 23-70%. Температура воздуха у загрузочных карманов этих печей у рабочего места засыщика шахты летом достигает $60-63^\circ\text{C}$ при тепловом излучении до 3000 Вт/м^2 . Также высок уровень запыленности и шума. Причем, продолжительность облучения превышает 5-15 минут, что

сказывается на работниках [65, 66, 69, 70, 147].

В печных цехах цементного производства поверхности вращающихся печей достигают 250°C. Средняя температура воздуха у головки печи в теплый период достигает 31-54°C, на участках шихтоподачи 31-54°C. Футеровка печи производится во время работы при температуре воздуха 40-60°C и выше. Тепловое облучение достигается 3500 Вт/м². Дополнительно влияет на работоспособность запыленность и шум.

В кирпичном производстве садчики кирпича работают при температурах 30-40°C, а выставщики – 40-50°C. Причем до 70% рабочего времени они проводят внутри печи. Интенсивность теплового излучения достигается 400-700Вт/м². Обжиг кирпича проводят при температуре 850-1350 °С. В помещениях кольцевых печей при выставлении изделий температура воздуха составляет в рабочей зоне 50-60°C при излучении до 15000Вт/м². При садке кирпича температура доходит до 40-50°C при теплоизлучении 1000-2000Вт/м². При этом возникают сильные конвективные тепловыделения, которые также играют большую роль в формировании микроклимата [67, 68, 148-150]. Турбосиловые цеха имеют как основные так и вспомогательные агрегаты и элементы технологического оборудования. Температура поверхности агрегатов достигает 60-96°C. Интенсивность теплового излучения 300-1000 Вт/м², но при работе на угле – на площадках золоудаления 100-3500 Вт/м². В химических цехах при производстве красок и прочей химической продукции, используемых в стройиндустрии (тканые и нетканые материалы) химическое волокно и прочее. Температуры даже в зимний период достигают 33-41°C. При производстве гипса, изделий из него также используются высокоинтенсивные источники теплового излучения.

При изготовлении металлорежущих изделий (диски болгарок, пилы, сверла, фрезы, долота и пр.) также используются термические закладочные, отпускные печи, при этом температуры достигают 30-40°C. Тепловые излучения – до 2000 Вт/м².

Наиболее вредны резкие переходы из нагретых зон в холодные совершаемые несколько раз за смену. Особенно это сказывается при работе различного рода печей в зимнее время. Выход и вход в кольцевую печь достигает 80-100 раз за смену. Комплексное воздействие неблагоприятных факторов часто усиливает воздействие других вредных факторов. Как показывает анализ состояния охраны труда на предприятиях стройиндустрии, где присутствует избыточное тепловое излучение, при комплексном подходе оценки условий труда наиболее значимым является тепловой фактор (табл.1.1).

При этом для сравнения, нами в качестве базовых предприятий использовались: Баловский завод ЖБИ, Запорожский инструментальный завод Войнова, Запорожский завод промарматуры, завод каменного литья и изготовления минеральной теплоизолирующей ваты, а также Днепродзержинский завод ЖБИ, Днепродзержинский цементный завод, Ново-Александровский кирпичный завод и др.

Согласно ст. 43 Конституции Украины «Каждый работник имеет право

на надлежащие, безопасные и здоровые условия труда» [16].

Как показал анализ условий труда в строительной индустрии одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющие на условия труда, является, избыточное тепловое излучение, которое, снижает работоспособность и сказывается на здоровье работающих [17, 151, 157]. Установлено, что тепловое излучение влияет на внутренние органы и центральную нервную систему. Изменения терморегуляторных функций зависит от уровня температуры воздуха в рабочей зоне, тяжести труда и других факторов, а также в значительной степени от особенностей воздействия теплового излучения [18, 19, 20].

Таблица 1.1. Результаты исследований условий труда на рабочих местах в цехах с повышенными тепловыделениями

Участок цеха	Запыленность (доломит, феррохром, углерод, мг/м ³)		Загазованность воздуха СО, мг/м ³		Шум, ДБА		Тепловые излучения, Вт/м ²		Температура воздуха, К		Скорость движения воздуха, м/с	
	факт	ПДК	факт	ПДК	факт	ПДК	факт	ПДК	факт	ПДК	факт	ПДК
Печи обжигла извести	23	4	2,8	20	89	75	3500	140	301	301	1,2	0,2-0,5
Участок каменного дигтя	25	4	2,8	20	89	75	5582	140	311	301	1,3	0,2-0,5
Пропарочные камеры ЗЖБИ	24	4	2,8	20	87	75	700	140	301	301	0,8	0,2-0,5
Кузнечно-термическое отделение ЗЖБИ	55	4	2,8	20	87	75	1500	140	302	301	0,8	0,2-0,5
Плавающие печи базальта и минеральной ваты	15	4	11,2	20	86	75	3500	140	299	301	1,2	0,2-0,5
Плавающие печи металла и закалочные ванны	10	4	2,8	20	89	75	7600- 10000	140	313	301	0,9	0,2-0,5

Медиками в ряде работ [11, 12, 13, 21, 22, 152, 156] доказано значение спектрального состава излучения при формировании физиологических реакций. Так, проф. Левицким В.А. была выдвинута концепция различия воздействия на человека лучистого и конвективного тепла, и оно определяется различными механизмами восприятия этих видов тепла, а также специфическим действием длинноволновой части спектра. Отличие заключается в следующем: местом приложения конвекционного тепла является поверхность тела - тело нагревается в результате соприкосновения кожи с окружающей воздушной средой; местом приложения ИК радиации служит не только кожа, но глубжележащие ткани организма (рис.1.6) вследствие прозрачности кожи (рис.1.7) для различных участков спектра оптического излучения.

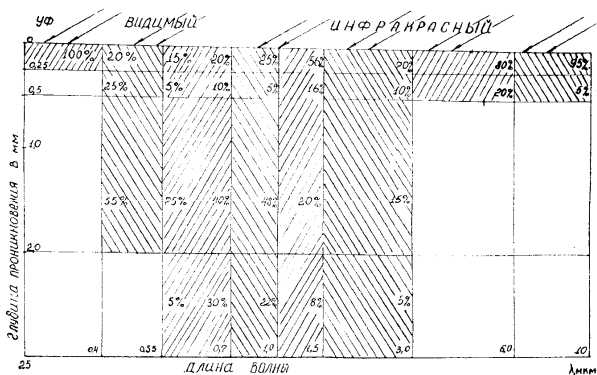


Рис. 1.6. Глубина проникновения оптического излучения в ткани человека

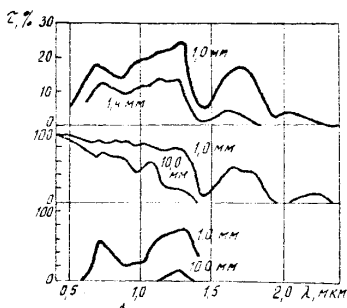


Рис. 1.7. Отражательная способность человеческой кожи

В зависимости от степени проникновения излучения в ткани и компонентов крови организма, развивающиеся ответные реакции обеспечиваются различными терморегуляторными механизмами (рис.1.8).

Исследованиями в ряде работ [14, 19, 23, 24] Левицкого В.А., Никитского И.Н, Зайдшура И.А., Летавета А. А. и Малышевой А.Е., Жирновой Г.Е., Еловской А.Т., Познанской И.Б., Курляндской И.Б. и др. при изучении реакций организма на облучение оптическим излучением с $\lambda=1,1\text{мкм}$, $3,0\text{мкм}$ и $4,5\text{мкм}$ была установлена различная динамика повышения кожной и подкожной температуры в зависимости от спектрального состава излучения при одной и той же интенсивности излучения. Наиболее сильно выражено ощущение тепла при $\lambda=3\text{мкм}$. Исследования времени переносимости при действии ИК радиации с $\lambda=3,6\text{мкм}$ и $\lambda=1,07\text{мкм}$ показали ту же зависимость: так, при интенсивности $1395,6\text{ Вт/м}^2$ время переносимости излучения с $\lambda=3,6\text{мкм}$ составило 159 с, а излучение с $\lambda=1,07\text{мкм}$ - 305с т.е. время переносимости уменьшения почти в 2 раза. Наблюдается различная степень затруднения передачи нервного возбуждения в синапсах в зависимости от спектрального состава излучения и его интенсивности различное действие на тонус сосудов. ИК облучение поверхности тела человека обуславливает образование биологически активных веществ, концентрация которых в крови и качественный состав зависит от спектрального состава излучения.

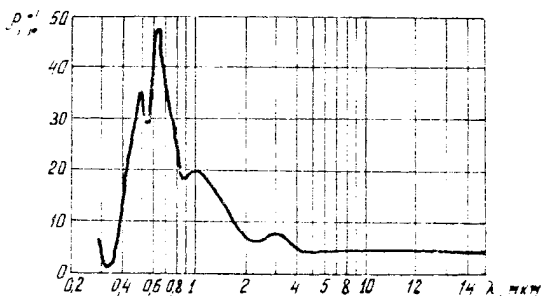


Рис. 1.8. Спектральное пропускание человеческой кожи, воды и оксигемоглобина

Проведенные исследования [25-28, 153] биологических эффектов длинноволнового облучения с длиной волны 8-10-20 мкм показывают качественные различия в динамике выброса катехоламинов, ацетихолина, активности ацетилхлинэстеразы. Выявлена более низкая тепловая чувствительность кожи и гипоталамуса к длинноволновому тепловому

излучению, длинноволновое излучение обладает более сильным раздражающим эффектом при субъективной оценке в сочетании с большей выраженностью отраженных сосудистых реакций, все это свидетельствует о том, что при исследовании тепловой облученности рабочих мест в производственных условиях для правильной оценки воздействия излучения на организм рабочего и выбора рациональных методов защиты [11, 29, 71. 155], необходимо знать спектральный состав воздействующего излучения. На основании анализа имеющихся литературных данных, целесообразно измерение интенсивности интегрального потока излучения, проводить в диапазонах: 1,5мкм – 3,0мкм – 4,5мкм. В отношении длинноволнового участка спектра данных очень мало, однако необходимо измерения проводить в следующих диапазонах спектра: 1,5-3,0-6,0-10мкм.

Дальнейшее дробление длинноволновой части спектра для измерения нецелесообразно, так как при температуре источников ниже 35°C ($\lambda=10\text{мкм}$) человеческое тепло само будет излучателем тепла.

Исследования, проведенные в Киевском институте гигиены труда и профзаболеваний, подтвердили, что имеются различия в биологическом воздействии I теплового излучения с длиной волны 6,7 и 9 мкм. Все вышесказанное подтверждает различие в воздействии на организм теплового облучения с различными длинами волн, а также в предельно допустимых уровнях теплового облучения, что необходимо всегда учитывать при оценке условий труда.

1.4. Нормирование высокотемпературного излучения на рабочих местах.

При рассмотрении процессов теплового облучения надо принимать во внимание, что температурное состояние нашего тела не всегда совпадает с субъективным тепловым ощущением. Температурные рецепторы не чувствуют различия в длине волны принимаемого теплового излучения. Температура же нагрева большинства производственных источников теплового излучения предприятий от 80°C до 1600°C, максимум излучения у них приходится на длину волны от 0,76 до 3-9мкм. Часто, на одном и том же месте, находятся объекты к с более низкой температурой нагрева (50-100°C), как ограждения, трубопроводы и другие. Они излучают поток более длинноволнового теплового излучения. Для оценки воздействия теплового излучения, как указывалось ранее, также важное значение имеют спектральный состав и интенсивность облучения. Интенсивность теплового облучения колеблется на рабочих местах от 60Вт/м² до 1000Вт/м² и выше. Каждая часть поверхности тела человека осуществляет лучистый теплообмен лишь с определенными поверхностными частями окружающих предметов, расположенных внутри телесного угла 2 π -стерадиан, т.е. в полусфере. Величина облученности элементарной площадки тела зависит от её ориентации в пространстве относительно источника теплового излучения. Эта величина имеет векторный характер и многозначна в каждой точке

пространства. Терморadiационная напряженность характеризуется тремя основными показателями: пространственной неравномерностью, (полусферической и векторной характеристикой) теплообмена поверхности тела человека, спектральным составом излучения. Поэтому поле лучистой энергии лучше всего характеризовать величиной энергетической освещенности или облученности, т.е. потоком теплового излучения, падающим на единицу площади и равным лучистому теплообмену абсолютно черной поверхности при температуре абсолютного нуля. При этом терморadiационная напряженность характеризуется абсолютными значениями (безотносительно к человеку). В зависимости от температуры и излучательной способности, теплообмен излучением различен для разных частей тела. Вследствие вышесказанного, гигиеническое нормирование радиационной напряженности целесообразно производить по допустимым параметрам энергетической освещенности (облученности), т.к. нормируемая величина не должна зависеть от физиологических характеристик поверхности человека и его одежды.

В настоящее время даже в ГОСТ 12.4.123-83 нет четко обусловленного нормирования допустимой интенсивности теплоизлучения для спектрального интегрального диапазона. Тем более не существует единых норм для определения предельно допустимой интенсивности теплового излучения в различных областях спектра.

На основе исследований в работе авторов [27, 30-33, 71-73, 154] приводятся предельно допустимые интенсивности теплового излучения по времени переносимости (табл. 1.2, 1.3, 1.4) приводятся эти данные.

Таблица 1.2. Предельно допустимые интенсивности теплового излучения по времени переносимости

Плотность теплового облучения Вт/м ²	Время переносимости
279÷558	Неопределенно долго
558÷1047	3÷5 мин
1047÷1745	40÷50 мин
1745÷2093	20÷30 мин
2093÷2781	12÷20 час

Согласно требований ДНАОП 0.03.1.23-82 при интенсивности теплового излучения более 350Вт/м² и облучении более 25% поверхности тела продолжительностью непрерывной работы и регламентированный перерыв устанавливается в соответствии с данными приведенными в табл.1.5.

Анализ показал, что приведенные данные не учитывают воздействия всего спектра излучения на организм человека [74-77, 79].

В методических рекомендациях «Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников», Киевский институт гигиены труда и профзаболеваний, Киев, 1986г., предлагается

следующая разбивка интегрального теплового потока по диапазонам и по допустимым нормам облучения:

$$A (0,76-1,5\text{мкм}) - 90\text{Вт/м}^2 \text{ В } (1,5 - 3,0\text{мкм}) - 120\text{Вт/м}^2$$

$$C (3,0- 5,0\text{мкм}) - 150\text{Вт/м}^2 \text{ (} 5,0\text{мкм и более)} - 120\text{Вт/м}^2$$

Таблица 1.3. Допустимое тепловое излучение в зависимости от спектрального состава

Область спектра, мкм	Максимально допустимая плотность облучения, Вт/м ²	Поглощенное излучение, Вт/м ²
0,6÷1,3	2212	1600
0,3÷3,5	1193	1075
0,7÷3,0	1130	1040
0,7÷8,0	803	754

Таблица 1.4. Время переносимости повышения теплового излучения в зависимости от ее плотности и длины волны

Плотность теплового облучения, Вт/м ²	Длина волны, мкм	
	$\lambda=3,6$	$\lambda=1,07$
	Время в секундах	
1396	159	305
2791	27,3	37,5
4187	12,8	21,2
5582	9,5	14,5

Таблица 1.5. Допустимая продолжительность инфракрасного излучения регламентированный перерыв на протяжении года

Интенсивность ИК облучения Вт/м ²	Продолжительность непрерывных периодов облучения, мин	Продолжительность перерыва, мин	Суммарное облучение на протяжении смены, %
350,0	20,0	8,0	До 50
700,0	15,0	10,0	До 45
1050,0	12,0	12,0	До 40
1400,0	9,0	13,0	До 30
1750,0	7,0	14,0	До 25
2100,0	5,0	15,0	До 15
2450,0	3,5	17,0	До 15

Если для оценки результатов исследований интенсивности облучения принять нормы интегрального облучения 140 Вт/м², то можно сделать следующие выводы: Во-первых, энергия облучения на рабочих местах достигает 1400-1000 Вт/м² и имеет разный спектральный состав. Во-вторых, почти по всем спектральным диапазонам интенсивность облучения

превышает нормированное значение на значительном расстоянии от источника излучения (табл. 1.1), что отрицательно влияет на организм человека.

В-третьих, учитывая, что каждый источник имеет с учетом каждой операции технологического процесса различную интенсивность излучения, необходимо определить интегральную интенсивность теплового излучения от одного или группы источников в направлении защищаемого объекта.

В-четвертых, для оценки условий труда и для эффективной защиты работающих по интегральной облученности, с учетом неявных вторичных источников тепла необходимо построить векторное распределение тепловых полей в рабочем пространстве цеха и на рабочем месте.

Характеристики тепловой нагрузки рабочих мест подтверждаются многочисленными данными, полученными и другими исследователями.

Значительное число работ посвящено разработке методов исследования тепловых излучений, их влиянию на обслуживающий персонал, рассмотрены наиболее распространенные направления по борьбе с лучистым теплом.

Значительные тепловые нагрузки способствуют прогрессивному развитию профессиональных заболеваний [21, 70, 78].

По данным Павленко М.Е., Карнаух Н.Г. имеются существенные различия в условиях труда и состоянии здоровья работников горячих цехов. Частота первичного выхода на инвалидность рабочих энегронасыщенных предприятий за 70-80 годы составила 8 на 1000 рабочих - 3,6 случая для горячих цехов и 3,7 случаев в холодных цехах. Такое кажущееся снижение в горячих цехах объясняется медленным и скрытым воздействием теплового излучения. Причинами этих случаев являются: болезни кровообращения – 23,6%, несчастные случаи и травмы – 18,2%, злокачественные новообразования – 12,1%, болезни нервной системы и органов чувств – 11,5%, органов дыхания – 8,7%, органов пищеварения – 7,3% [17, 30, 71, 78].

Среди рабочих горячих цехов с возрастом уменьшается доля здоровых лиц от одной возрастной группы к другой: горячие цехи – от 20 до 29 лет – 87,1%, до 50 лет и старше – 41,7%; холодные цехи – от 20 до 29 лет – 87,1%, до 50 лет и старше – 66,7%.

При составлении таблицы функционального развития и состояния здоровья по схеме, рекомендованной Сомовым, получены следующие данные: в горячих цехах – очень хорошее – 20,7%, хорошее – 48,8%, удовлетворительное – 24,9%, неудовлетворительное – 5,6, в холодных цехах – очень хорошее – 21,8%, хорошее – 53,8%, удовлетворительное – 21,1%, неудовлетворительное – 3,3%.

Общая заболеваемость за 2000-2008 годы составила у рабочих горячих цехов 1154,7 случая, на 1000 рабочих, у рабочих холодных цехов – 995,7 случаев на 1000 рабочих, то есть на 16% меньше. Если же взять литейные и термические цеха по отношению к холодным, то эта величина составит 28,1%.

Частота обращаемости в больницу на 1000 человек составила: для

мужчин горячих цехов – 1210,6, для мужчин холодных цехов – 1090,5, для женщин горячих цехов – 947,6, для женщин холодных цехов – 812,8.

Если взять показатели профессиональной заболеваемости по заводам Украины, мы получим 0,65 случаев на 1000 рабочих, ремонтно-механические – 0,21, железнодорожные – 0,11. В среднем по горячим цехам – 1,95 случая, по холодным – 0,16. Структура профессиональных заболеваний: пневмокониозы – 26,8%, отравления СО – 46,8%, вибрационная болезнь – 7,2%, перегревание – 3,2%, электроофтальмология – 3,0%. Перечисленные заболевания составляют 87,0% от общего числа [71, 80].

Павленко М.Е. приводит данные о том, что заболевания и обращаемость в больницу рабочих горячих профессий выше, чем рабочих холодных профессий. Сварщики, операторы горячих цехов, термисты, имеют 114,2 случая и 812 дней нетрудоспособности на 1000, строгальщики имеют 78,2 случаев и 615,4 дня нетрудоспособности. Интенсивность облучения и ее колебания оказывают сильное влияние. У длительно облучавшихся тепловым излучением частота заболеваемости выше на 21,2%, что составит 60,9-64,8%, а в днях нетрудоспособности выше на 13,7%. Кардиосклероз, атеросклероз, ишемическая болезнь встречается у рабочих горячих цехов - 0,7-0,75 дня временной нетрудоспособности. При анализе среди профессий в горячих цехах на первое место по нетрудоспособности выступают кузнецы, термисты – 5,1 случая, 66,8 дней, стекловары подручные - 4,5 случая, 63 дня [3, 13, 20, 71].

По сравнению с рабочими холодных цехов, рабочие горячих цехов в 1,5 раза больше подвергаются неврозам, а вегетативным расстройствам - в 2 раза. По результатам анализа медицинских осмотров на первое место выявляются заболевания органов дыхания, пищеварения, нервной системы, органов кровообращения, которые у рабочих горячих цехов встречаются в 2-3 раза выше, чем в среднем по заводу.

Приведенный анализ показал, что наиболее неблагоприятными являются рабочие места с повышенными тепловыделениями. Для создания комфортных условий труда разработки эффективных средств защиты рабочих и проводить аттестацию условий труда с расширением по их излучения и необходимо иметь тепловой паспорт, который учитывает интенсивность избыточных тепловых излучений. Для получения картин облучения на рабочих местах лучше применять графоаналитический метод с дальнейшей обработкой на ЭВМ.

1.5. Оценка избыточных тепловых излучений технологических источников.

В настоящее время существует множество приборов для измерения температуры поверхностей, степени черноты, радиационного теплового излучения. Такие приборы имеют большую чувствительность, другие модели измеряют тепловые параметры также как спектральные характеристики источника излучения, но имеют малый динамический диапазон. Каждый

прибор может иметь специфические высокоэффективные параметры.

Но в области охраны труда при аттестации рабочих мест по тепловому фактору необходимо получать специфическую информацию, куда входят:

1. Диапазон измерения от 50-100 Вт/м² до 16000 Вт/м².
2. Иметь разрешающую способность позволяющую определять с высокой точностью изменения в интенсивности радиационного потока.
3. Измерять интенсивность теплового излучения технологических источников в спектральном диапазоне от 0,76 мкм до 10,0 мкм (интегральном) так и по отдельным участкам спектра с узким интервалом т.к. реакция организма может быть на отдельные спектральные полосы.
4. Возможность получать круговую диаграмму тепловых полей как вокруг кругового источника, так и в полусфере при использовании источников теплового излучения в виде термических печей и пр.
5. Возможность пошагового сканирования по дуге 360°С

На основании существующих приемников теплового излучения разработаны и разрабатываются в настоящее время множество измерительных приборов для различных областей применения. Большинство из них узкоспециализированы и не всегда применимы для решения задач по охране труда. Рассмотрим некоторые из них, получившие распространение в практике гигиенистов.

В настоящее время чаще всего для определения облученности применяются выпускаемые серийно приборы-измерители полусферического излучения типа ЛИОТ-Н. Он обладает низкой чувствительностью и точностью. Он считается инспекторским и применяется по сей день. Находят применение в прикладной биофотометрии термоэлектрические приемники ЛЭТИ и ВНИИОФИ [34-36, 78, 81].

Также применяется более чувствительный прибор, называемый 2П-радиометром. Это неселективный приемник теплового излучения термоэлектрического типа, сконструированный Е.А.Насоновым на основе пиранометра Янишевского. Чувствительность его повышена рядом конструктивных изменений. Показания прибора переводятся в единицы облученности Вт/м при помощи номограмм, а также при применении АЦП и цифровых дисплеев.

Для измерений интенсивности радиации с точностью до десятых долей Вт при излучениях не выше 350 Вт/м от 7 Вт/м в ряде случаев используется прибор на основе гальванометра ГСа-1 и термостолбика, разработанных, авторами Шуваевым Э.А., Петровым СВ., а также абсолютный актинометр Кондратьева-Яшумовой (на принципе регуляторного режима). В этом случае измерения проводят путем измерения времени нагрева сплошного зачерненного цилиндра и по графику находят интенсивность теплового излучения.

Из зарубежных разработок в нашей стране применяется переносной прибор МРО, изготавливаемый объединением «Польские оптические

заводы». Прибор состоит из электронно-измерительного блока и набора шести сменных фотометрических головок для измерения оптического излучения в УФ-В и УВ-А областях и в ИК области спектра до 30кВт/м". Общий вес комплекта 9,5кг. А также прибор для измерения ИК-радиации "ВМ 2.2", изготовитель Германия, 4 предела измерений в интегральной области от 100 до 3000 Вт/м, вес около 1,5кг [37, 71, 82-86].

При отсутствии приборов, интенсивность теплового излучения можно определить, воспользовавшись графиком Ключина и специальными расчетами [38].

Проведенные многими авторами исследования показывают, что картина терморadiационной напряженности имеет сложный характер, как качественный, так и пространственный. Поэтому, применение в качестве измерительных приборов радиометров Миссенара, глобтермометров, актинометра ЛИОТ-Н и других приемников сферического излучения не дает истинной картины терморadiационной напряженности [37, 71, 87].

Радиометр Сизяковой и др. с углом визирования менее 2П-стерадиан также не позволяет получить точной картины [37, 71].

Из проведенного анализа существующих приемников оптического и ИК-излучения, разработанных приборов и устройств и используемых, как в Украине, так и в ближнем и дальнем зарубежье, в настоящее время кроме вышеперечисленных требования для решения ряда задач по охране труда, возникла необходимость в:

- существенном совершенствовании фоторадиометрических методов и создании новых портативных приборов;
- разработке приборов принципиально новых типов, определяющих более сложные (по сравнению со световыми величинами) параметры энергетической освещенности;
- повышении точности и уменьшения времени измерения энергетической освещенности с учетом основных характеристик;
- создании методов и приборов для измерения характеристик облучения (освещенности) в УФ, видимой и ИК-областях спектра;
- переходе от приборов, измеряющих одну величину, к универсальному прибору с набором фотометрических головок для измерения различных величин оптического и энергетического излучения.

Однако в настоящее время не существует такого универсального прибора, хотя выше приведенные требования к проведению исследования остаются.

Для точной картины состояния тепловых полей на рабочих местах необходимо комплексное использование существующих методов и вновь созданных. Исследование должны проводиться по специальной методике алгоритму, где учтен был бы весь арсенал разработанных приборов, но не используемых ранее комплексно для достижения поставленной цели.

Как показывают проведенные нами исследования график Ключика дает

большую погрешность. Другие номограммы позволяют определить облученность рабочего места с достаточной точностью, однако необходимо вводить параметры источника излучения, такие как степень черноты, яркость, температура. Температура идет в четвертой степени и малейшая ошибка в ее определении приводит к большим погрешностям. Тем более работа с диаграммами неоперативная и требует затрат времени, имеют относительно большую погрешность [71, 87]. Наиболее удачной является номограмма [39], которая позволяет использовать замеры существующими приборами на безопасном расстоянии и получить достаточную точность. Однако и она имеет недостаток – ввиду криволинейных графиков, трудно интерполировать промежуточные значения и задача углов. Поэтому возникла необходимость в создании номограммы, которая бы вобрала в себя все положительное от ранее разработанных, и позволила бы использовать для замеров теплового излучения существующие приборы обеспечения и повышения точность и безопасность замеров на рабочих местах с высокими значениями избыточного теплового излучения, которое отрицательно влияло бы на показания приборов, на здоровье оператора исследователя. Наиболее доступными являются разработки ИТТФ АН Украины в Киеве, позволяющие с достаточной точностью измерять температуру, радиационные тепловые потоки, конвекторы тепла. Комплекс из универсальной номограммы и довольно точных приборов, но имеющих малый верхний предел измерения, позволяет получить точную информацию о состоянии теплового облучения в опасных рабочих зонах.

Проведенный анализ контроля терморadiационной напряженности показал, что применяемые в настоящее время в Украине контрольно измерительные приборы: радонетр 2П, ЛЭГИ, Миссенара, глобтермометр, актинометры ЛИОТ-Н и других приемников сферического излучения не дало истинного представления о терморadiационной напряженности на рабочих местах с источниками повышенного тепловыделения. Из-за сложности возникающей термозащитной напряженности и не качественной оценки затруднено прогнозирование и применение эффективных защитных средств. [62, 71, 87, 88]. Различие тепловых источников излучения и отличительные особенности процесса теплообмена и характера преобразования тепловых излучений (в существующих приборах не позволяет в настоящее время достичь высокой сходимости измерений, что затрудняет построение карт прогноза терморadiационной напряженности).

1.6. Основные направления снижения неактивного влияния повышенных температур на рабочих местах.

Вопросы борьбы с негативным влиянием высоких температур в горячих цехах на предприятиях строй индустрии (производство цемента, извести, гипса, кирпича, каменное литье и т.д.), на предприятиях черной и цветной металлургии, химической промышленности, машиностроение и т.д. занимает одно из важнейших мест. Следует отметить работы в этой области ученых Б.И.Злобинского,

М.М.Зиньковского, А.Ф.Бабалова, Л.А.Глушченкова, И.Г.Халецкого, А.А.Малыха, С.В.Петрова, А.Ф.Шорина, Э.В.Молчановой, А.А.Дмитриевского, Е.Н.Афанасьевой, М.И.Привалева, Ф.И.Иванченко, Б.А.Павленко, Л.В.Остапенко, Ф.И.Шлейфман, Н.Ф.Галанина, И.М.Эрмана, Н.Г.Карнауха, Г.Е.Жирновой, В.И.Илющенко, Э.Е. Стрежекурова и др. [10-12, 59, 71].

Для улучшения условий труда на рабочих местах с повышенным тепловыделением в настоящее время применяют различные средства защиты от теплового излучения согласно ГОСТ 12.4.123-83 «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования». Средства защиты от инфракрасных излучений по своему назначению подразделяют на устройства: оградительные; герметизирующие; теплоизолирующие; для вентиляции воздуха; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления; диски безопасности [40, 71, 89]. Все методы защиты человека от внешнего-температурного влияния и теплового излучения подразделяются на общие, которое обеспечивают защиту от одного из факторов.

К основным средствам защиты относятся – устранение источника высокотемпературного излучения; охлаждение горячих поверхностей; теплоизоляция поверхностей высокотемпературных источников; экранирование; хранение средств душирования; крепление вентиляции и воздухообмена; средства индивидуальной защиты; организация рационального режима труда и отдыха [41-45].

Снижение температуры в источнике возможно за счет совершенствование технологий (что не всегда возможно с учетом экономических затрат и технического уровня) автоматизации и дистанционного усовершенствования производственными процессами и т.д.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 и ДСН 3.36.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, не должна превышать: 35 Вт/м² при облучении более 50 % поверхности тела; 70 Вт/м² при облучении от 25 до 50 % поверхности тела; 100 Вт/м²; при облучении не более 25 % поверхности тела, от открытых источников (нагретые металл и стекло открытое пламя). Интенсивность теплового облучения не должна превышать 140 Вт/м² при облучении не более 25 % поверхности тела и обязательном использовании средств индивидуальной защиты.

Нормы ограничивают и температуру нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне, которая не должна превышать 45 °С, а температура на его поверхности должна быть не выше 35 °С.

Поэтому одним из эффективных средств снижения интенсивности и инфракрасного излучения и температуры на поверхности источника излучения является теплоизоляция оборудования (печи, аппараты, трубопроводы). В качестве теплоизоляции принимают материалы с широкой теплопроводностью. Однако, как показывает анализ [65-68], теплоизоляция тепловых агрегатов

требует значительных затрат и не всегда приемлема. Вентиляция воздуха, как показали исследования [46] не защищает от излучательной теплоты т.к. инфракрасные лучи мало поглощаются воздушной средой и при достижении поверхности других тел превращающихся в тепловую энергию.

Одним из широко применяемых способов снижения от действия тепловых излучений является применение: оградительных устройств экранирования (устройство термического сопротивления на пути теплового потока).

Оградительные экранирование устройства занимают одно из основных мест при защите рабочих мест от ИК-излучений. Оградительные устройства подразделяются:

- в зависимости от вида материала на непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные;
- по способу крепления на объекты на: съемные и встроенные;
- по принципу действия на: тепло отражающие, теплоотводящие, теплопоглощающие и комбинированные.

Поглощаемая энергия в непрозрачных экранах электромагнитных колебаний, взаимодействуя с материалом экрана, превращается в тепловую энергию. Это ведет к нагреванию экрана и экран становится источником теплового излучения. Экранируемая энергия в виде излучения направлены в сторону источника излучения ее условно рассматривают как пропущенное излучение источника. К непрозрачным экранам относятся: металлические (в т.ч. алюминиевые), альфоловые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др.

В прозрачных экранах выполненных из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а также пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу), вододисперсные завесы и т.д., излучений, взаимодействуя с веществом экрана, минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран [10, 47].

Полупрозрачные экраны занимают промежуточное положение между прозрачными экранами. К ним относятся: металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

Деление экранов по принципу действия является условным, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая его способность более выражена. Наиболее эффективными являются отражательные экраны. Теплоотражающие экраны обладают низкой степенью черноты поверхности, вследствие чего они основную часть падающей на них лучистой энергии отражают в обратном направлении. В качестве теплоотражающих материалов экранов используют: альфоль, листовой алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Температура наружной поверхности экрана должна быть близка к температуре окружающей среды, т.к. при этом конвективный нагрев воздуха

помещения от поверхности экрана будет минимальным. Заданное относительное снижение температуры с помощью защитного экрана может быть определено по зависимости [90]:

$$M = \frac{T - 273}{T_{\text{эк}} - 273} \quad (1.17)$$

где T – температура источника излучения, К; $T_{\text{эк}}$ – температура энергии, К; M – заданное относительное снижение температуры.

Отражательные экраны могут быть разнообразны по конструкции: стационарные, передвижные и т.д. температура экрана со стороны рабочего места не должна превышать 318°K согласно ДСН 3.36.042-99 и ДНАОП 0.03.1.23-82.

В теплопоглощающих экранах в качестве материалов используют: минеральную и стекло вату, асбест, вспученный керамзит, пемзу и т.д. Применяемые материалы обладают высоким термическим сопротивлением и малым коэффициентом теплопроводности. Уравнение поглощения лучистой энергии какой либо средой определяется зависимостью:

$$P = P_0 \cdot e^{-\kappa b} \quad (1.18)$$

где P и P_0 – интенсивность излучения в данной точке, соответственно при отсутствии среды, Вт/м²; κ – коэффициент поглощения теплоты среды; b – толщина среза, мм.

Теплоотводящие экраны устанавливают на пути выхода лучистой энергии с активной зоны (лотки печей, горные участки контроля за качеством и т.д.).

В качестве тепло отводящих экранов водяные завесы, свободнопадающие в виде пленки, орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла (акварильные экраны), металла (змеевики) и др.

Эффективность защиты от теплового излучения с помощью защитных экранов можно по формуле:

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} \times 100 \% \quad (1.19)$$

где Q – интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м²; Q_3 – интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м².

Теплосберегающие экраны часто выполняют многослойными со свободным просасыванием воздуха между слоями, либо с принудительным. При этом, толщина прослоек должна быть не менее 10 мм и не более 20-25 мм. За счет просасывания воздуха значительно возрастает эффективность экранирования. При применении теплоотводящих полостных экранов с проточной водой, температура отходящей воды не должна превышать 35 °С.

Как показали исследования теплоотражательные экраны в процессе эксплуатации теряют свои теплоотражательные характеристики из-за загрузки поверхности. Не всегда из-за загрязнения поверхности. Не всегда из-за технологии производства они могут обеспечивать надлежащую защиту рабочих

мест. Теплозащитные экраны мало эффективны при значительной интенсивности высокотемпературных источников теплового излучения. По этому в последние годы в большей степени находят комбинированные экраны с одновременным эффектом отражения и поглощения тепловой энергии [48-50].

Как показал анализ при подборе экранов следует учитывать спектр и интенсивность излучения, облученности рабочих мест и температуру влияния. С учетом характеристик излучателя оценивается температура, его отражательное, поглощающие или отводящие способности материала и средств. На участках производств, где невозможно применить защитные экраны единственно возможные средством уменьшения неблагоприятного воздействия теплового излучения, способствующим быстрой отдаче избытком поступающего тепла является душирование рабочих мест или рабочего производства.

Воздушное душирование эффективно при спектральном составе излучения, которое в основном, поглощается кожей. При воздействии излучения, которое проникает в глубь тела, эффективность воздушного душирования снижается. Для правильного подбора режимов воздушного душирования необходимо пользоваться рекомендациями [34, 37, 38]. Как правило воздушное душирование применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием лучистого потока теплоты большой интенсивности (более 350 Вт/м^2). При этом поток воздуха направляют непосредственно на рабочего, что позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду. Скорости потока воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а также от интенсивности облучения, но она не должна, превышать $3,5 \text{ м/с}$, так как это вызывает у рабочего неприятные ощущения (например, шум в ушах). Эффективность воздушных душей появляется при охлаждении подаваемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды (водо-воздушный душ) [32].

Важное место для защиты работающего в горячих производства имеет применение средств индивидуальной защиты (использование для защиты глаз и лица щитков и очков со светофильтрами, защита поверхности тела спецодеждой из льняной и полулльняной пропитанной парусины). А также, лечебно-профилактические мероприятия (организация рационального режима труда и отдыха, организация периодических медосмотров и др.).

Сочетание приведенных выше мер и средств (СЗТИ) в комплексе позволяет решить задачу – обеспечение безопасных условий труда на рабочих местах со значительным тепловым излучением.

Проведенный анализ состояния рабочих мест в горячих производства показал, что при выборе и применением средств защиты от тепловых излучений (СЗТИ) необходимо учитывать терморadiационную напряженность на рабочих местах, спектральный состав и векторное распределение теплового излучения, продолжительностью ИК-излучения и его направленность. Комплексный подход к решению вопросов по защите от тепловых излучений должен снизить возникновение профессиональных заболеваний, уменьшить утомляемость работающих, максимально снизить теплотепери технологического оборудования.

РАЗДЕЛ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДОЙ

2.1. Характеристика конвективного и лучистого теплообмена в помещениях зданий и их влияние на обеспечение микроклимата в помещении.

Создание здоровых условий труда, обеспечение производительности труда и в целом безопасности жизнедеятельности определяются внешней и внутренней средой.

Ограждающие конструкции зданий играют ведущую роль в формировании микроклимата помещений и обеспечении санитарно-гигиенических условий труда; подобно одежде, они защищают человека от неблагоприятных воздействий внешней среды и позволяют ему практически жить в любых климатических условиях земного шара [26].

Поверхности помещения можно разделить на три группы: охлаждающие, нагревающие и нейтральные. К охлаждающим поверхностям в холодный период года следует отнести внутренние поверхности наружных ограждений и остекления, к нагревающим - отопительные панели или другие нагревательные приборы, к нейтральным - внутренние ограждающие конструкции, предметы и т.п.

Каждая поверхность отдает тепло излучением и поглощает лучистое тепло, приходящее от окружающих поверхностей. Нагретые поверхности теряют больше тепла, чем поглощают. Более холодные, наоборот, получают больше тепла, чем отдают. Между различно нагретыми поверхностями в результате происходит теплообмен излучением [21, 39 – 46].

Для оценки воздействия теплового излучения также важное значение имеют спектральный состав и интенсивность облучения. В связи с тем, что терморационная напряженность характеризуется неравномерностью в пространстве, оценку его необходимо вести раздельно для каждой точки. Величина облученности элементарной площадки тела зависит от ее ориентации в пространстве относительно источника теплового излучения. Эта величина имеет векторный характер и многозначна в каждой точке пространства.

В зависимости от температуры и излучательной способности внутренних поверхностей помещения, теплообмен излучением различен для разных частей тела, как рассматривалось в первом разделе данной работы. Вследствие этого, гигиеническое нормирование температурной напряженности целесообразно производить по допустимым параметрам температурной облученности, т.к. нормируемая величина не должна зависеть от физиологических характеристик поверхности тела человека [43, 44, 46].

Рассматривая тепловой режим помещения, принято говорить о внутренней температуре помещения. Хотя определять тепловой комфорт человека только этим параметром было бы неправильно. Как было

рассмотрено выше, основные теплотери телом человека (более 50% от суммарных теплотерь) происходят лучистой (радиационной) теплоотдачей, которая в свою очередь зависит от разности температур между телом человека и температурой окружающих его поверхностей. В случае, когда температура окружающих поверхностей ниже, чем температура поверхности тела человека возникает интенсивный отток тепла (ощущение холода) с тела человека и наоборот, когда температура окружающих поверхностей выше температуры тела человека возникает интенсивный приток тепла (перегрев).

На организм человека и условия его безопасности оказывает, влияние температуры всех поверхностей ограничивающих помещение и имеет важное гигиеническое значение.

Поэтому для оценки условий микроклимата с точки зрения безопасности жизнедеятельности возникла необходимость проведения исследований лучистого теплообмена тела человека с окружающей средой внутри помещения.

2.2. Определение коэффициента облученности между поверхностью тела человека и поверхностью расположенной параллельно оси эллиптического цилиндра.

Рассмотрим теплообмен между телом человека и расположенной перед ним плоскостью шириной $(X_2 - X_1)$ и высотой H (рис. 2.1).

Туловище человека моделируется эллиптическим цилиндром с полуосями $a > b$.

На цилиндре выделена полоса высотой h , средняя линия которой отмечена штрихпунктиром.

Выберем неподвижную систему координат XYZ . Плоскость XOY совместим с эллипсом средней линии, а начало координат (точку O) – с его центром.

Кроме того, для упрощения выкладок, выберем подвижную систему координат xuz с началом Q на средней линии и осями, параллельными соответствующим осям системы XYZ .

Из точек с координатами (X_1, Y) и (X_2, Y) проведем касательные к центральному эллипсу. Вертикали, проведенные через точки касания k_1 и k_2 , ограничивают поверхность эллиптического цилиндра F_1 , участвующую в лучистом теплообмене с поверхностью F_2 .

Уравнение эллипса в нормальном сечении:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1$$

В параметрической форме эллипс описывается двумя выражениями:

$$X = a \cdot \cos \gamma \text{ и } Y = b \cdot \sin \gamma$$

Параметр γ при перемещении начала Q подвижной системы координат против часовой стрелки принимает следующие значения:

$\gamma = 0$ - на положительном направлении оси OX ;

$\gamma = \frac{\pi}{2}$ - на положительном направлении оси OY ;

$\gamma = \pi$ - на отрицательном направлении оси OX ;

$\gamma = \frac{3\pi}{2}$ - на отрицательном направлении оси OY ;

$\gamma = 2\pi$ - на положительном направлении оси OX при полном обходе эллипса против часовой стрелки.

Выделим на поверхности F_1 элементарную площадку

$$dF_1 = h \cdot ds,$$

где, h - высота выделенной полосы; ds - элементарная длина дуги.

$$ds = \sqrt{[X'(\gamma)]^2 + [Y'(\gamma)]^2} d\gamma = \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cos^2 \gamma} d\gamma$$

Таким образом,

$$dF_1 = h \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cos^2 \gamma} d\gamma$$

На поверхности F_2 выделяется элементарная площадка:

$$dF_2 = H \cdot dx$$

Уравнение касательной к эллипсу в общей точке:

$$\frac{X}{a^2} \cdot X_\tau + \frac{Y}{b^2} \cdot Y_\tau = 1$$

откуда:

$$Y_\tau = -\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{X}{Y} \cdot X_\tau + \frac{b^2}{Y}$$

При задании эллипса в параметрической форме, уравнение касательной к нему имеет вид:

$$Y_\tau = \left(-\frac{b}{a} \operatorname{ctg} \gamma \right) \cdot X_\tau + \frac{b}{\sin \gamma} \quad (2.1)$$

Если касательная проходит вне эллипса через точку с координатами $(\bar{X}; \bar{Y})$, то из уравнения (2.1) можно найти параметр $\bar{\gamma}$, определяющий положение (квадрант) точки касания, используя промежуточное уравнение, полученное из (2.1).

$$\sin^2 \bar{\gamma} - 2 \frac{b}{\bar{Y}} \sin \gamma - \frac{b^2}{\bar{Y}^2} \cdot \left(\frac{\bar{X}^2}{a^2} - 1 \right) = 0$$

откуда,

$$\sin \bar{\gamma} = \frac{b}{\bar{Y}} \pm \sqrt{\frac{b^2}{\bar{Y}^2} + \frac{b^2}{\bar{Y}^2} \cdot \left(\frac{\bar{X}^2}{a^2} - 1 \right)} = \frac{b}{\bar{Y}} \cdot \left(1 \pm \frac{\bar{X}}{a} \right)$$

При определении величины $\bar{\gamma}$ (для точек вне эллипса) удобно пользоваться табл. 2.1

Для выяснения геометрического смысла угла γ , используемого как параметр в уравнении эллипса, построим эллипс с полуосями $a > b$, опишем вокруг него окружность с радиусом $r=a$ и центром, совмещенным с центром симметрии эллипса.

Уравнение эллипса запишем в таком виде:

$$X^2 + \frac{a^2}{b^2} \cdot Y^2 = a^2 \quad (2.2)$$

Уравнение окружности (ординаты которой условно обозначены символом V).

$$X^2 + V^2 = a^2 \quad (2.3)$$

Вычитая (2.2) из (2.3) и извлекая квадратный корень из полученного равенства, имеем:

$$V = \frac{a}{b} \cdot Y \quad \text{или} \quad \frac{V}{Y} = \frac{a}{b}$$

Через произвольную точку Q на эллипсе проведем ординату окружности V и отметим на ней ординату эллипса Y .

Обозначим центральные углы, опирающиеся на эти ординаты: γ - для окружности и φ - для эллипса.

Таблица 2.1.

\bar{X}	$\bar{Y} > b$	$\bar{Y} < -b$
$0 < \bar{X} < a$	$0 < \bar{\gamma} < \pi/2$	$3\pi/2 < \bar{\gamma} < 2\pi$
$\bar{X} = a$	$\bar{\gamma} = 0$	$\bar{\gamma} = 2\pi$
$\bar{X} > a$	$0 < \bar{\gamma} < \pi/2$	$3\pi/2 < \bar{\gamma} < 2\pi$
$-a < \bar{X} < 0$	$\pi/2 < \bar{\gamma} < \pi$	$\pi < \bar{\gamma} < 3\pi/2$
$\bar{X} = -a$	$\bar{\gamma} = \pi$	$\bar{\gamma} = \pi$
$\bar{X} < -a$	$\pi/2 < \bar{\gamma} < \pi$	$\pi < \bar{\gamma} < 3\pi/2$

Найдем отношение тангенсов этих углов:

$$\frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{V/X}{Y/X} = \frac{V}{Y} = \frac{a}{b}$$

Откуда:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{a} \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (2.4)$$

Из рисунка 2.1 видно, что

$$\cos \gamma = \frac{X}{a} \quad \text{и} \quad \sin \gamma = \frac{V}{a} = \frac{V}{Y} \cdot \frac{Y}{a} = \frac{a}{b} \cdot \frac{Y}{a} = \frac{Y}{b}$$

или иначе:

$$X = a \cdot \cos \gamma \quad \text{и} \quad Y = b \cdot \sin \gamma \quad (2.5)$$

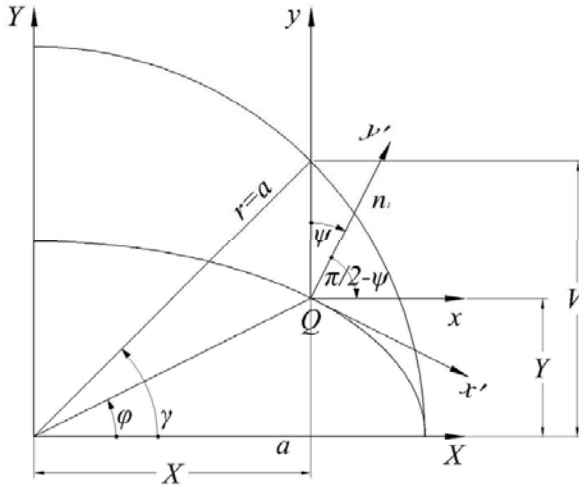


Рис. 2.1. Геометрический смысл угла γ , используемого как параметр в уравнении эллипса

Равенства (2.5) представляют собой параметрическое задание эллипса.

Таким образом, параметр γ – это центральный угол γ окружности описанной вокруг эллипса, соответствующий центральному углу эллипса φ при одном и том же значении аргумента X .

Следовательно, если из центра эллипса с полуосями, $a > b$ описать окружность радиусом $r=a$, то при любом X отношения ординаты окружности к ординате эллипса равно отношению полуосей $a:b$.

Из равенств (2.4) и (2.5) следует, что при углах $\varphi = 0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3}{4}\pi; 2\pi$ такие же значения принимает и угол $\gamma = 0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3}{4}\pi; 2\pi$. Это означает, что в окрестностях положительных и отрицательных направлений осей OX и OY углы γ и φ практически равны между собой и дуги эллипса с достаточной точностью могут быть аппроксимированы дугами окружностей.

Для остальных углов в I-й и III-й четверти $\gamma > \varphi$, а во II-й и IV-й – $\gamma < \varphi$.

Отсчет углов ведется от положительного направления оси OX против часовой стрелки.

Изложенное позволяет легко переходить от неподвижной системы координат XOY (рис. 2.1) к подвижной xOy или $x'Oy'$ и обратно.

Уравнение нормали к касательной и эллипсу в точке их касания Q :

$$Y_n = \left(\frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg} \gamma \right) \cdot X_n - \frac{a^2 - b^2}{b} \cdot \sin \gamma$$

Совместим начало вспомогательной подвижной системы координат xQy с точкой касания. В этом случае касательная и нормаль проходят через начало координат (точку Q) и их уравнения упрощаются.

При параллельности соответствующих осей угловые коэффициенты сохраняются и уравнение касательной в подвижной системе координат xQy $y_r = \left(-\frac{b}{a} \cdot \operatorname{ctg} \gamma \right) \cdot x_r$, а уравнение нормали:

$$y_n = \left(\frac{a}{b} \cdot \operatorname{tg} \gamma \right) \cdot x_n \quad (2.6)$$

Угол наклона нормали n_1 к оси Qx (и OX) равен $\frac{\pi}{2} - \psi$ (рис. 2.1).

Следовательно, $\frac{a}{b} \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \psi \right) = \operatorname{ctg} \psi$, откуда $\operatorname{tg} \psi = \frac{b}{a} \cdot \operatorname{ctg} \gamma$ и

$$\begin{aligned} \sin \psi &= \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \psi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma}} = \frac{b \cdot \cos \gamma}{\sqrt{b^2 \cdot \cos^2 \gamma + a^2 \cdot \sin^2 \gamma}} \\ \cos \psi &= \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \gamma}} = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sqrt{b^2 \cdot \cos^2 \gamma + a^2 \cdot \sin^2 \gamma}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

При рассмотрении теплообмена между телом человека и потолком или полом (рис. 2.1) возникают вопросы преобразования уравнений прямых (ограничивающих поверхности) при повороте осей координат на некоторый угол.

Уравнения прямой $Y = g_l$ в системе координат xQy .

$$y = g_1 - b \cdot \sin \gamma$$

Ось Qy' повернута по часовой стрелке на угол ψ относительно оси Qy и совмещена с нормалью, уравнение которой (2.6).

Уравнение прямой $Y = g_l$, в системе координат $x'Qy'$, будем искать в виде:

$$y' = k \cdot x' + w$$

где, $k = \operatorname{tg} \psi = \frac{b}{a} \operatorname{ctg} \gamma$

Величину w определяем при $x' = 0$.

$$y' = \frac{y}{\cos \psi} = w = \frac{g_1 - b \cdot \sin \gamma}{a \cdot \sin \gamma} \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cdot \cos^2 \gamma}$$

Уравнение линии, в осях xQy , на которой располагаются центры элементарных площадок dF_2 .

$$\bar{y} = \frac{1}{2} \cdot \left(\bar{y} - y_r \right) = \frac{1}{2} \cdot \left[g_1 - b \cdot \sin \gamma - \left(\frac{b}{a} \cdot \operatorname{ctg} \gamma \right) \cdot x \right]$$

Дальнейший анализ показал, что поворот осей координат ведет не к упрощению, а, наоборот, к усложнению выкладок, поэтому далее используется подвижная система координат xQy с осями, параллельными соответствующим осям неподвижной системы XOY .

Длина отрезка прямой, соединяющей основания нормалей n_1 и n_2 к элементарным площадкам dF_1 и dF_2 (рис. 2.2).

$$R = \sqrt{z^2 + x^2 + y^2}$$

Для перехода от системы координат xQy к системе координат XOY используются формулы:

$$Z = z = H, \quad X = x + a \cdot \cos \gamma \quad \text{и} \quad Y = y + b \cdot \sin \gamma$$

Уравнение плоскости общего положения в отрезках на осях координат:

$$\frac{X}{e} + \frac{Y}{f} + \frac{Z}{g} = 1$$

Уравнение плоскости перпендикулярной оси OZ :

$$\frac{Z}{g} = 1 \quad \text{или} \quad Z = g$$

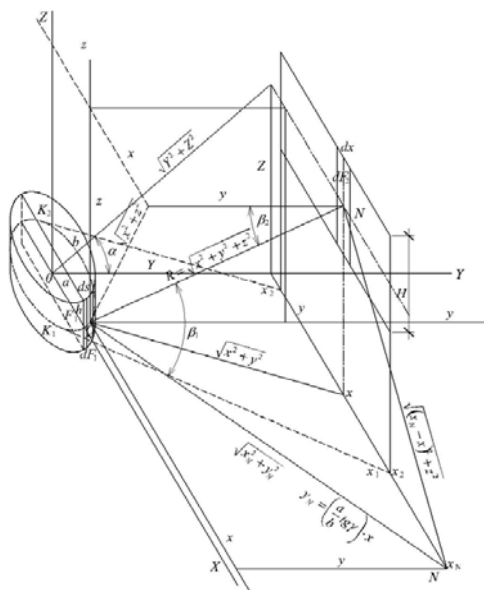


Рис. 2.2. Схема определения коэффициента взаимного облучения между телом человека и вертикальной плоскостью

$$x_N = \frac{b \cdot (Y_N - b \cdot \sin \gamma)}{a \cdot \operatorname{tg} \gamma}$$

Косинусы углов β_1 и β_2 между R и нормальми к элементарным площадкам dF_1 и dF_2 (рис. 2.2 и рис. 2.3):

$$\cos \beta_1 = \frac{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)^2 + \left(\sqrt{x_N^2 + y_N^2}\right)^2 - \left(\sqrt{(x_N - x)^2 + z^2}\right)^2}{2 \cdot \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \cdot \sqrt{x_N^2 + y_N^2}} =$$

$$= \frac{y_N^2 + x_N \cdot x}{\sqrt{x_N^2 + y_N^2} \cdot \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \text{ для плоскости}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{Z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \text{ для потолка}$$

Площадь поверхности эллиптического цилиндра, участвующая в теплообмене с плоскостью F_2 :

$$F_1 = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} dF_1 = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} h \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cdot \cos^2 \gamma} \, d\gamma = b \cdot h \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sqrt{1 - \frac{b^2 - a^2}{b^2} \cdot \sin^2 \gamma} \, d\gamma =$$

$$= b \cdot h \cdot \left(\int_{\gamma_1}^0 \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2 \gamma} \, d\gamma + \int_0^{\gamma_2} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2 \gamma} \, d\gamma \right) = b \cdot h \cdot \left(2 \cdot E\left(k; \frac{\pi}{2}\right) + E(k; \gamma_1) - E(k; \pi - \gamma_2) \right)$$

Раскроем фигурирующее в формуле $\cos \beta_1$ для плоскости выражение:

$$\sqrt{x_N^2 + y_N^2} = \sqrt{\left(\frac{b \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma)}{a \cdot \operatorname{tg} \gamma}\right)^2 + (Y - b \cdot \sin \gamma)^2} = \frac{Y - b \cdot \sin \gamma}{a \cdot \sin \gamma} \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cdot \cos^2 \gamma}$$

Коэффициент облученности одной поверхности со стороны другой определяется двойным интегрированием:

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{F_1} \cdot \int_{F_1} dF_1 \cdot \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{\pi \cdot R^2} dF_2$$

При первом интегрировании элементарная площадка dF_1 зафиксирована в произвольном положении (рис. 2.1 – для стены и рис. 2.2 для потолка). Соответственно зафиксировано и положение нормали n_1 (к dF_1). Первое интегрирование означает перемещение элементарной площадки dF_2 от правой границы (стены или потолка) ($x_1 = X_1 - a \cdot \cos \gamma$) до левой ($x_2 = -X_1 - a \cdot \cos \gamma$). При этом основание нормали n_2 (точка N) перемещается вдоль прямой $Y = \text{const}$ и $Z = \text{const}$ – для стены и $\bar{y} = \frac{1}{2} \cdot \left(g_1 - b \cdot \sin \gamma + \left(\frac{b}{a} \cdot \operatorname{ctg} \gamma\right) \cdot x \right)$ для потолка и соответственно, будут изменяться R , $\cos \beta_1$ и $\cos \beta_2$. Параметр γ при этом не изменяется.

При втором интегрировании перемещается по поверхности эллипса справа налево элементарная площадка dF_1 , что реализуется соответствующим изменением параметра γ .

Коэффициент облученности между поверхностями F_1 и F_2 :

$$\begin{aligned}
 \varphi_{1-2} &= \frac{1}{F_1} \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{\pi \cdot R^2} dF_1 \cdot dF_2 = \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{(y^2 + x_N \cdot x) \cdot y}{R^2 \cdot \sqrt{x_N^2 + y_N^2} \cdot (\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})^2} ds \cdot dx = \\
 &= \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{(y^2 + x_N \cdot x) \cdot y \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cdot \cos^2 \gamma}}{a \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \gamma + b^2 \cdot \cos^2 \gamma} \cdot (x^2 + y^2 + z^2)^2} d\gamma \cdot dx = \\
 &= \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} d\gamma \left(\int_{x_1}^{x_2} \frac{a \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{(x^2 + y^2 + z^2)^2} dx + \int_{x_1}^{x_2} \frac{b \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \gamma}{(x^2 + y^2 + z^2)^2} dx \right) = \\
 &= \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \left[\frac{a \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{2 \cdot (y^2 + z^2) \cdot (x^2 + y^2 + z^2)} \Big|_{x_1}^{x_2} + \frac{a \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{2 \cdot (y^2 + z^2)^{3/2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{x}{y^2 + z^2} \Big|_{x_1}^{x_2} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{b \cdot (Y - b \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \gamma}{2 \cdot (x^2 + y^2 + z^2)} \Big|_{x_1}^{x_2} \right] d\gamma
 \end{aligned}$$

Для перехода к системе координат XOY необходимо выполнить замены: $x_1 = X_1 - a \cdot \cos \gamma$, $x_2 = X_2 - a \cdot \cos \gamma$ и $y = Y - b \cdot \sin \gamma$

В результате получим:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{1-2} &= \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \left[\frac{a}{2} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2]^{3/2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{X_2 - a \cdot \cos \gamma}{1 + \frac{X_2 - a \cdot \cos \gamma}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}} - \frac{X_1 - a \cdot \cos \gamma}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}} \cdot \frac{X_1 - a \cdot \cos \gamma}{1 + \frac{X_1 - a \cdot \cos \gamma}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}} d\gamma + \right. \\
 &\quad + \frac{b}{2} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{(Y - b \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \gamma}{(X_2 - a \cdot \cos \gamma)^2 + (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2} d\gamma - \frac{b}{2} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{(Y - b \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \gamma}{(X_1 - a \cdot \cos \gamma)^2 + (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2} d\gamma + \\
 &\quad + \frac{a}{2} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma] \cdot [X_2 - a \cdot \cos \gamma] \cdot d\gamma}{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2] \cdot [(X_2 - a \cdot \cos \gamma)^2 + (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2]} - \\
 &\quad \left. - \frac{a}{2} \cdot \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \frac{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma] \cdot [X_1 - a \cdot \cos \gamma] \cdot d\gamma}{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2] \cdot [(X_1 - a \cdot \cos \gamma)^2 + (Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2]} \right] \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

В первом интеграле произведение двух функций:

$$\begin{aligned}
 Q(\gamma) &= \frac{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2]^{3/2}} \text{ и } g(\gamma) = \operatorname{arctg} \frac{X_2 - a \cdot \cos \gamma}{1 + \frac{X_2 - a \cdot \cos \gamma}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}} - \frac{X_1 - a \cdot \cos \gamma}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}} = \\
 &= \operatorname{arctg} \frac{(X_2 - X_1 - a \cdot (\cos \gamma - \cos \gamma_1)) \cdot \sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2}}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + z^2 + (X_2 - a \cdot \cos \gamma_2) \cdot (X_1 - a \cdot \cos \gamma_1)};
 \end{aligned}$$

из которых $Q(\gamma)$ – непрерывна, а $g(\gamma)$ – при $X_2 < X_1$ – не меняет знака монотонно изменяясь в диапазоне $(0 \div \pi/2)$. Это позволяет применить обобщенную теорему о среднем, согласно которой:

$$\int_{\gamma_1}^{\gamma_2} Q(\gamma) \cdot g(\gamma) d\gamma = g(\gamma_c) \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} Q(\gamma) d\gamma,$$

$$\text{где, } \gamma_c = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$$

Функцию $Q(\gamma)$ можно преобразовать следующим образом:

$$Q(\gamma) = \frac{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 \cdot \sin \gamma}{\left[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = \left[\sin \gamma - \frac{Z^2 \cdot \sin \gamma}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}}$$

Таким образом:

$$I_1 = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} Q(\gamma) \cdot g(\gamma) d\gamma = g(\gamma_c) \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \left(\sin \gamma - \frac{Z^2 \cdot \sin \gamma}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2} \right) \cdot \frac{d\gamma}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}}$$

$$\text{Заменим переменную } t = tg \frac{\gamma}{2}, \quad d\gamma = \frac{2}{1+t^2} dt, \quad \sin \gamma = \frac{2 \cdot t}{1+t^2}$$

$$\begin{aligned} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} Q(\gamma) d\gamma &= \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \left[\frac{\sin \gamma}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}} - \frac{Z^2 \cdot \sin \gamma}{[(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2] \cdot \sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}} \right] d\gamma = \\ &= \int_{tg \frac{\gamma_1}{2}}^{tg \frac{\gamma_2}{2}} \left[\frac{\frac{2 \cdot t}{(1+t^2)} \cdot \frac{2}{(1+t^2)} \cdot dt}{\sqrt{b^2 \cdot \frac{4t^2}{(1+t^2)^2} - 2 \cdot b \cdot Y \cdot \frac{2 \cdot t}{(1+t^2)} + (Y^2 + Z^2)}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{Z^2 \cdot \frac{2 \cdot t}{(1+t^2)} \cdot \frac{2}{(1+t^2)} \cdot dt}{\left[b^2 \cdot \frac{4t^2}{(1+t^2)^2} - 2 \cdot b \cdot Y \cdot \frac{2 \cdot t}{(1+t^2)} + (Y^2 + Z^2) \right] \cdot \sqrt{b^2 \cdot \frac{4t^2}{(1+t^2)^2} - 2 \cdot b \cdot Y \cdot \frac{2 \cdot t}{(1+t^2)} + (Y^2 + Z^2)}} \right] = \\ &= 4 \int_{t_1}^{t_2} \frac{t \cdot dt}{(t^2 + 1) \cdot \sqrt{(Y^2 + Z^2) \cdot t^4 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t^3 + 2 \cdot (Y^2 + Z^2 + 2 \cdot b^2) \cdot t^2 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t + (Y^2 + Z^2)}} - \\ &- 4Z^2 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{(t^2 + 1) \cdot t \cdot dt}{\left[(Y^2 + Z^2) \cdot (t^4 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t^3 + 2 \cdot (Y^2 + Z^2 + 2 \cdot b^2) \cdot t^2 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t + (Y^2 + Z^2)) \right]} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{4}{\sqrt{(Y^2 + Z^2) \cdot t^4 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t^3 + 2 \cdot (Y^2 + Z^2 + 2 \cdot b^2) \cdot t^2 - 4 \cdot b \cdot Y \cdot t + (Y^2 + Z^2)}} = \\ &= \frac{4}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \int_{t_1}^{t_2} \frac{t \cdot dt}{(t^2 + 1) \cdot \sqrt{t^4 - 2 \cdot c \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t^2 - 2 \cdot c \cdot t + 1}} - \\ &- \frac{4Z^2}{(Y^2 + Z^2) \cdot \sqrt{Y^2 + Z^2}} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{(t^3 + t) \cdot dt}{(t^4 - 2 \cdot c \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t^2 - 2 \cdot c \cdot t + 1) \cdot \sqrt{t^4 - 2 \cdot c \cdot t^3 + 2 \cdot d \cdot t^2 - 2 \cdot c \cdot t + 1}} = I_1 \end{aligned}$$

$$\text{где, } c = \frac{2 \cdot b \cdot Y}{Y^2 + Z^2}; \quad d = 1 + \frac{2 \cdot b^2}{Y^2 + Z^2}$$

В знаменателе подынтегрального выражения полиномы четвертой степени $P(t)$. Уравнение $P(t)=0$ – возвратное уравнение четвертой степени (т.к. коэффициент при старшей степени равен свободному члену и

коэффициенты при нечетных степенях равны между собой), корни которого можно определить по формулам [51].

Промежуточная величина:

$$\begin{aligned} u &= \frac{4 \cdot b \cdot Y \pm \sqrt{16 \cdot b^2 \cdot Y^2 - 8 \cdot (Y^2 + Z^2) \cdot (Y^2 + Z^2 + 2 \cdot b^2) + 8 \cdot (Y^2 + Z^2)^2}}{2 \cdot (Y^2 + Z^2)} = \\ &= \frac{4 \cdot b \cdot Y \pm \sqrt{16 \cdot b^2 \cdot Y^2 - 8 \cdot (Y^2 + Z^2)^2 - 16 \cdot b^2 \cdot Y^2 - 16 \cdot b^2 \cdot Z^2 + 8 \cdot (Y^2 + Z^2)^2}}{2 \cdot (Y^2 + Z^2)} = \\ &= \frac{4 \cdot (b \cdot Y \pm i \cdot b \cdot Z)}{2 \cdot (Y^2 + Z^2)} = \frac{2 \cdot b}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \cdot \left(\frac{Y}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \pm i \cdot \frac{Z}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \right) = \\ &= \frac{2 \cdot b}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \cdot (\cos \alpha \pm i \cdot \sin \alpha) = \frac{2 \cdot b}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \cdot e^{\pm i \alpha} = 2 \bar{B} \cdot e^{\pm i \alpha} \end{aligned}$$

Корни полинома $P(t)$:

$$t_{1,2,3,4} = \frac{u \pm \sqrt{u^2 - 4}}{2} = \bar{B} \cdot e^{\pm i \alpha} \pm \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{\pm i 2 \alpha} - 1} \quad (2.10)$$

Следует отметить, что угол α имеет геометрический смысл – он показан на рис. 2.1.

Таким образом, полином $P(t)$ имеет две пары комплексных сопряженных корней. Следовательно, подинтегральные выражения I , могут быть представлены в виде сумм элементарных линейных или квадратичных дробей и проинтегрированы. Обратим внимание, что решение (2.10) удовлетворяют теореме Виета. Это подтверждает достоверность представления возвратного полинома четвертой степени $P(t)$ в виде произведения двух квадратичных полиномов (второй степени), что в свою очередь позволяет приближенно извлекать в общем виде корни квадратные из возвратных полиномов четвертой степени.

Покажем это: $U_1 = 2 \bar{B} \cdot e^{i \alpha}$; $U_2 = 2 \bar{B} \cdot e^{-i \alpha}$.

Корни уравнения $P(t) = 0$

$$\begin{aligned} t_1 &= \bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1}; & t_2 &= \bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1}; & t_3 &= \bar{B} \cdot e^{-i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i 2 \alpha} - 1}; \\ t_4 &= \bar{B} \cdot e^{-i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i 2 \alpha} - 1}. \end{aligned}$$

Согласно теореме Виета произведение корней равно свободному члену квадратного уравнения, а их сумма – коэффициенту с обратным знаком при первой степени переменной.

$$t_1 \cdot t_2 = \left(\bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1} \right) \cdot \left(\bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1} \right) = \bar{B}^2 \cdot e^{i \alpha} - \left(\bar{B}^2 \cdot e^{i \alpha} - 1 \right) = 1;$$

$$t_1 + t_2 = \left(\bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1} \right) + \left(\bar{B} \cdot e^{i \alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{i 2 \alpha} - 1} \right) = 2 \bar{B} \cdot e^{i \alpha}.$$

Следовательно, t_1 и t_2 являются корнями уравнения:

$$t^2 - 2 \bar{B} \cdot e^{i \alpha} \cdot t + 1 = 0 \quad (2.11)$$

Аналогично:

$$t_3 \cdot t_4 = \left(\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i2\alpha} - 1} \right) \cdot \left(\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} - \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i2\alpha} - 1} \right) = \bar{B}^2 \cdot e^{-i\alpha} - \left(\bar{B}^2 \cdot e^{-i\alpha} - 1 \right) = 1;$$

$$t_3 + t_4 = \left(\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} + \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i2\alpha} - 1} \right) + \left(\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} - \sqrt{\bar{B}^2 \cdot e^{-i2\alpha} - 1} \right) = 2\bar{B} \cdot e^{-i\alpha}.$$

И следовательно, t_3 и t_4 являются корнями уравнения:

$$t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} \cdot t + 1 = 0 \quad (2.12)$$

Таким образом, возвратный полином четвертой степени может быть представлен в виде произведения двух квадратных трехчленов.

$$P(t) = t^4 - 2c \cdot t^3 + 2dt^2 - 2ct^2 + 1 = \left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{i\alpha} \cdot t + 1 \right) \cdot \left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} \cdot t + 1 \right)$$

Среднее значение полиномов (2.11) и (2.12):

$$\frac{\left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{i\alpha} \cdot t + 1 \right) \cdot \left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} \cdot t + 1 \right)}{2} = t^2 - \bar{B} \cdot (e^{i\alpha} + e^{-i\alpha}) \cdot t + 1 = t^2 - \left(2\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1$$

Это выражение приближенно извлекает корни из возвратных полиномов четвертой степени.

$$\sqrt{P(t)} = \sqrt{\left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{i\alpha} \cdot t + 1 \right) \cdot \left(t^2 - 2\bar{B} \cdot e^{-i\alpha} \cdot t + 1 \right)} \approx \sqrt{\left[t^2 - \left(2\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1 \right]^2} =$$

$$= t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1$$

Итак,

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{tdt}{(t^2+1) \cdot \sqrt{t^4 - 2ct^3 + 2d \cdot t^2 - 2ct + 1}} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{tdt}{(t^2+1) \cdot \left(t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1 \right)} = I'_1$$

Корни $t^2 + 1 = 0$ мнимые $t_{1,2} = \pm i$.

Корни $t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1 = 0$ $t_{3,4} = \bar{B} \cdot \cos \alpha \pm \sqrt{\bar{B}^2 \cdot \cos^2 \alpha - 1}$ могут оказаться

вещественными различными (при $\bar{B}^2 \cdot \cos^2 \alpha > 1$), вещественными кратными (при $\bar{B}^2 \cdot \cos^2 \alpha = 1$) или комплексными сопряженными (при $\bar{B}^2 \cdot \cos^2 \alpha < 1$).

Представим подинтегральное выражение I'_1 в виде двух слагаемых, где A, B, E и D неопределенные коэффициенты.

$$I'_1 = \frac{t}{(t^2+1) \cdot \left(t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1 \right)} = \frac{At+B}{t^2+1} + \frac{Et+D}{t^2-2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1} =$$

$$\begin{aligned}
& \frac{At^3 - A \cdot 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t^2 + At + Bt^2 - B2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) t + B + Et^3 + Et + Dt^2 + D}{(t^2 + 1) \cdot \left(t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) t + 1 \right)} = \\
& \frac{(A + E) \cdot t^3 + \left(B + D - A \cdot 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right) \cdot t^2 + \left(A + E - B \cdot 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right) \cdot t + (B + D)}{(t^2 + 1) \cdot \left(t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) t + 1 \right)} =
\end{aligned}$$

Приравнявая коэффициенты первого и последнего выражений получаем уравнения:

$$A + E = 0, \quad B + D = 0, \quad B + D - A \cdot 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) = 0, \quad A + E - B \cdot 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) = 1$$

Решая эти уравнения, получаем:

$$A = 0, \quad B = -\frac{1}{2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}, \quad E = 0, \quad D = \frac{1}{2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}.$$

Таким образом:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{1}{c} \cdot \left(\int_{t_1 = -\frac{\gamma_2}{2}}^{t_2 = \frac{\gamma_2}{2}} \frac{dt}{t^2 - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \cdot t + 1} - \int_{t_1 = -\frac{\gamma_1}{2}}^{t_2 = \frac{\gamma_1}{2}} \frac{dt}{t^2 + 1} \right) = \\
&= \frac{1}{c} \cdot \left[\begin{aligned} & \left[\frac{2}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{2t - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2}}, n \mu 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) < 2 \right. \\ & \left. - \frac{2}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2}} \cdot \operatorname{Arth} \frac{2t - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{\left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2 - 4}}, n \mu 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) > 2 \right] \Big|_{t_1 = -\frac{\gamma_2}{2}}^{t_2 = \frac{\gamma_2}{2}} - \operatorname{arctg} \Big|_{t_1 = -\frac{\gamma_1}{2}}^{t_2 = \frac{\gamma_1}{2}} \right] = \\
&= \frac{2}{c} \cdot \left[\begin{aligned} & \left(\frac{1}{\sqrt{4 - c^2}} \cdot \left[\operatorname{arctg} \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2}} - \operatorname{arctg} \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2}} \right] \cdot n \mu 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) < 2 \right. \\ & \left. - \frac{1}{\sqrt{c^2 - 4}} \cdot \left[\operatorname{Arth} \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{\left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2 - 4}} - \operatorname{Arth} \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right)}{\sqrt{\left(2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right)^2 - 4}} \right] \cdot n \mu 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) > 2 \right] \right. \\ & \left. + \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} \right] =
\end{aligned}
\right.
\end{aligned}$$

При $2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) < 2$:

$$n \mu \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right) \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot \left(\bar{B} \cdot \cos \alpha \right) \right) > -1$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2}{2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} + \frac{2}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{2 \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2}}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}}}{1 + \frac{\left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right) \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)}{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}} + 0 \\
&\quad \text{при } \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right) \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right) < -1 \\
&= \frac{2}{2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} + \frac{2}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{2 \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2}}{\sqrt{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}}}{1 + \frac{\left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right) \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)}{4 - \left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2}} + \\
&\quad \operatorname{sign} \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - c\right) \cdot \pi \Big]
\end{aligned}$$

При $2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha) > 2$:

$$\begin{aligned}
&= \frac{2}{2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} + \frac{2}{\sqrt{\left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2 - 4}} \cdot \operatorname{Arth} \frac{2 \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2}}{\sqrt{\left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2 - 4}}}{1 + \frac{\left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right) \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_1}{2} - 2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)}{\left(2 \cdot (\bar{B} \cdot \cos \alpha)\right)^2 - 4}} + \\
&\quad + \operatorname{sign} \left(2 \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} - c\right) \cdot \pi \Big]
\end{aligned}$$

Аналогично преобразуются и интегрируются второй интеграл в I_1 и остальные интегралы в (2.9).

Окончательно коэффициент облученности между поверхностями F_1 и F_2 .

$$\varphi_{1-2} = \frac{h \cdot H}{\pi \cdot F_1} \cdot \left[\frac{a}{2} \cdot g(\gamma) I_1 + \frac{b}{2} I_2 - \frac{b}{2} I_3 + \frac{a}{2} I_4 - \frac{a_2}{2} I_5 \right] \quad (2.13)$$

$$\text{где, } g(\gamma) = \operatorname{arctg} \frac{\frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}}}{1 + \frac{(X_2 - a \cdot \cos \gamma) \cdot (X_1 - a \cdot \cos \gamma)}{(Y - b \cdot \sin \gamma)^2 + Z^2}}.$$

Вычисляя, при помощи специальных программ, отдельно $g(\gamma)$, I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 по (2.13) определяем φ_{1-2} для случая когда плоскость находится перед человеком (рис. 2.1).

РАЗДЕЛ 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ С ВЫСОКИМ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕМ

3.1. Физическое моделирование изменения энергетической освещенности с учетом параметров источника высокотемпературного излучения.

Для оценки санитарно-гигиенических условий на рабочих местах горячих производств необходимо производить замеры теплового излучения от источников излучения и на их основе определять облученность в заданных точках с учетом режима работы.

Проведение таких исследований в условиях действующих предприятий трудоемкий и небезопасный процесс. При значительной интенсивности излучения и проведении замеров на близком расстоянии исследователь и приборы подвергаются значительным тепловым нагрузкам, снижается точность измерения, а, следовательно, и достоверность данных. Поэтому очень часто вместо экспериментальных методов применяют расчетные. При применении расчетных методов, возрастает величина ошибки и снижается достоверность данных, т.к. значения части параметров (температура внутреннего пространства печи, степень черноты источника и т.д.) приходится получать из таблиц. Эти средние величины являются ориентировочными и не могут учитывать всех факторов любого процесса. Кроме того, приходится использовать графики - все это делает расчеты трудоемкими и неэффективными для практики. Поэтому, для разработки паспорта источника излучения необходимо было предложить новую более приемлемую методику исследования тепловой напряженности на рабочих местах. Новый метод должен объединить экспериментальный и расчетные методы, сделав его безопасным не снижая точности измерений. Идея метода заключается в том, что необходимо создать прибор который с базовой точки, расположенной на любом безопасном расстоянии от источника, позволяет провести с достаточной точностью измерение интенсивности теплового облучения и угла, под которым будет виден источник излучения. По полученным экспериментальным данным с помощью номограммы строится с использованием ЭВМ паспорт источника теплового излучения.

За основу определения интенсивности теплового излучения принято выражение [3, 90]:

$$E_0 = L \int_{\Omega} \cos \alpha \, d\Omega \quad (3.1)$$

где E_0 – энергетическая освещенность; Вт/м²; L – яркость излучения источника; Вт/(м²·стер); α – угол под которым облучается объект относительно нормали; рад.; Ω – телесный угол, под которым виден источник излучения.

Таким образом, при оценке термодинамической напряженности на рабочих местах может быть применен метод физического моделирования,

термического исследования энергетической освещенности рабочего пространства.

Проведенный анализ исследований показал необходимость обоснования и разработки экспериментальной установки для исследования терморadiационной напряженности на рабочих местах.

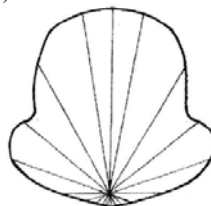
Проведенный нами анализ показал, что предложенные рядом авторов способы определения интенсивности теплового излучения по номограммам и формулам дают большую погрешность [6, 7, 57, 59, 75, 91, 92]. Значительная погрешность обусловлена принятием целого ряда допущений многих переменных параметров, тесно связанных между собой. К ним относятся температура внутреннего пространства печи, размер окон в печах и колодцах и т.д. [18, 59] При этом, возникает необходимость определять интенсивность теплового облучения на расстояниях 1-2м и т.д. [23, 38, 74, 75, 83, 85, 91]. В то же время, для решения задач по теплозащите рабочих мест необходимы фактические данные измерения терморadiационной напряженности на всех рабочих местах. Проводить такие исследования, например, у открытого окна термической печи на расстоянии 1,5-2м явно небезопасно и, главное снижается достоверность полученных данных за счет уменьшения производительности замеров в экстремальных условиях труда. На рис.3.1-3.2 приведена диаграмма облучения рабочих мест термических процессов: а – контроль температуры при плавке базальта; б – при загрузке стекловаренной печи; в – обжиг извести; г – каменное литье в интегральном диапазоне по дуге 360° через 45° [79, 83, 93].

а)



$$E_{max}=6000\text{Вт/м}^2$$

б)



$$E_{max}=10600\text{Вт/м}^2$$

Рис.3.1. Диаграммы теплового облучения на рабочих местах плавки базальта и загрузки стекловарочной печи

На рис.3.3 приведены расчетные и экспериментальные данные зонального распределения энергии термических печей (1 – расчетные данные; 2 – экспериментальные данные).

При этом для определения интенсивности облучения теплового потока необходимо производить значительное количество промежуточных расчетов

либо использовать несколько графиков или номограмм, что делает эти расчеты трудоемкими и мало удобными для практического использования [76, 79-82].



Рис. 3.2. Диаграммы термического облучения на рабочих местах обжига извести и каменного литья

Нами сделана попытка обобщить результаты проведенных в этом направлении исследований, улучшить условия труда, значительно уменьшить число переменных и более эффективно использовать при проведении замеров существующие приборы [78, 79].

На основании проведенных нами теоретических исследований терморadiационной напряженности на рабочих местах было установлено, что с большей точностью можно определить расстояние до источника теплоизлучения от точки замера, угол под которым виден источник теплового излучения, при этом, точка замера может располагаться на безопасном для исследователя расстоянии, что и было положено нами в основу при разработке экспериментальной установки для исследования терморadiационной напряженности на рабочих местах [93, 94].

Нами было принято решение использовать световое моделирование при оценке термической облученности на рабочих местах. Т.к. оптическая и энергетическая освещенность изменяются по одним законам, то в качестве источника теплового излучения использовался равномерно освещенный полупрозрачный экран. В качестве модели элементарной площадки тела человека использовалась приемная фотоголовка с датчиком теплового потока ИТТФ АН Украины ДТП 02 – ДТП 03. В основном исследовалась зависимость местного углового коэффициента облучения и максимальных тепловых нагрузок, а также переход от косвенных измерений к прямым. Это позволяет прогнозировать условия труда по тепловому фактору на рабочих местах. При этом метод светового моделирования позволяет смоделировать и отобразить полученные результаты исследования для источников со сложными формами излучающей поверхности, в виде максимально приближенных к реальным возможным полям облучения с целью обеспечения

проектантов на стадии проектирования технологических агрегатов и технологий универсальным методическим пособием [93, 96].

Величина отношения угла зрения (видимости источника излучения) φ_1/φ_2 имеет физический смысл - отношения плотности теплового потока излучения в данной и расчетной точке пространства, что позволяет решать поставленную задачу прогнозирования тепловой облученности на поверхности объекта облучения и обладает рядом преимуществ при проведении измерений.

Экспериментальная задача определения относительного теплового коэффициента облучения по физической дуге совпадает с физической задачей моделирования, для которой определяется отношение величин в произвольных точках пространства с последующим переходом к искомым единицам с помощью реперной точки. В нашем случае репером может служить точка освещенности излучающего экрана и освещенность объекта.

Измерения проводились на разработанной нами установке светового моделирования, которая изображена на рис. 3.4. Измерения можно разбить на следующие этапы:

- подготовка установки к исследованиям;
- моделирование явления подобия;
- проведения измерений и перевод измеренных величин в графические изображения.

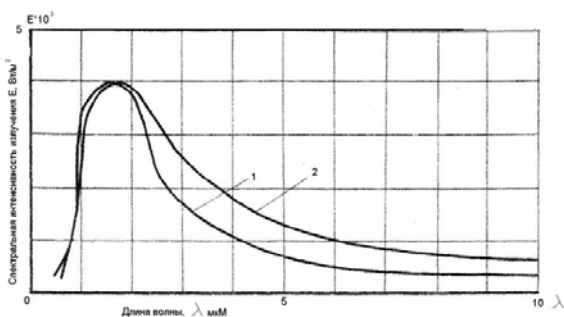


Рис.3.3. Экспериментальные и расчетные данные зонального распределения энергии излучения плавильных печей базальта при открытых окнах: 1 – расчетные данные; 2 – экспериментальные данные

При этом необходимо учитывать, что световое моделирование на разработанной установке включает в себя две экспериментальные задачи: воспроизведение явления, подобного натуре, и проведение измерений. Каждая из этих задач формирует свои погрешности, которые в сумме дают погрешность метода.

Анализ погрешностей позволяет выявить и учесть систематические

составляющие, связанные с подобием световой модели и угловой ориентацией датчика, - приемной головки фоновой засветки. Средняя квадратичная погрешность, обусловленная этими источниками составляет не более 6-8 % для всего пространства, а для угловой ориентации, не превышающей 72° , для угловой ориентации в интервале 72° - 86° не более 19%. Измерения в интервале углов 86° - 90° теряют смысл из-за высокой погрешности [93, 94].

Определение φ_1/φ_2 с физической точки зрения можно корректно осуществлять только для равномерно светящегося экрана модели, т.к. φ определяется для изотермических теплообменных полей. Однако, результаты измерения можно применять с достаточной точностью для инженерных расчетов на довольно широкий класс неравномерно нагретых поверхностей.

Этот класс охватывает поверхности, допускающие деление на примерно равные участки, разность температур точек, которых не превышает 20°C ; средние температуры соседних участков не отличаются более 20°C ; при переходе от одного участка к соседнему допускается изменение температур скачками.

Определение плотности потока измерения в этом случае осуществляется через величину φ_1/φ_2 для элементарной площадки, помещенной в заданную точку, от всей излучающей поверхности с помощью светового моделирования.

Систематизация и отбор основных форм и размеров, расположение рабочих мест около них принимались по типовым размерам (с учетом фиксированных рабочих мест).

При этом рассматривалось распределение тепловых полей по горизонтали, а вертикальная составляющая принималась с учетом расположения рабочих мест - 2м, при отсутствии более высоких отметок технологического оборудования, способного исказить тепловые поля за счет отражения. Высота рассматриваемых промышленных зданий и сооружений принималась равной $h = 10$ - 14 м.

Для помещений с источниками подвижного инфракрасного излучения с ограниченным объемом и наличием дополнительного оборудования, строительных конструкций необходимо учитывать отражение тепловой энергии и ее перераспределение на рабочих местах. При этом необходим дифференцированный подход, который и учитывает наша методика в физическом моделировании и интеграционная оценка картины терморadiационной напряженности в пространстве цеха.

На следующем этапе исследований возникла необходимость с помощью математического анализа вывести закономерность изменения отношения φ_1/φ_2 от энергетической облученности.

Установка для светового моделирования (рис.3.4) состоит из световой камеры (1); полупрозрачного экрана (2); матрицы ультраярких светодиодов (3).

Максимальный размер полупрозрачного экрана 300x340мм. При помощи подвижных шторок (4) размер светящегося окна можно уменьшить до 20x20мм, а при помощи специальных непрозрачных масок получать модель излучающей поверхности сложной формы.

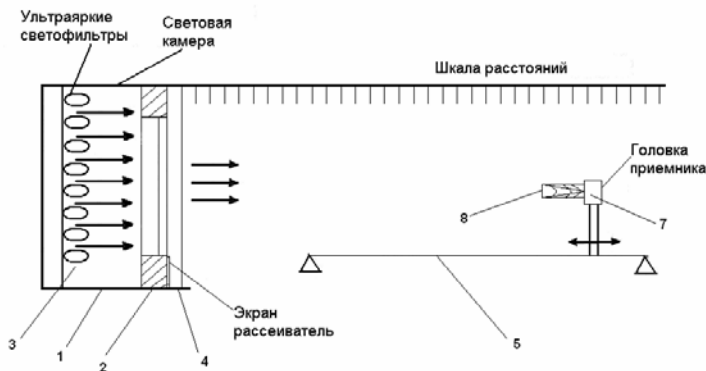


Рис. 3.4. Функциональная схема установки физического моделирования энергетической освещенности: 1 – световая камера; 2 – полупрозрачный экран; 3 – матрица ультраярких светодиодов; 4 – подвижные шторки; 5 – оптическая скамья; 6 – мерная шкала; 7 – приемная головка; 8 – светозащитная бленда

Ультраяркие диоды в количестве 700 шт. яркостью 10-15 кандел питаются от источника напряжением 4,5 В, которое возможно регулировать от 2,0 до 4,5 В, потребляемый ток при максимальной яркости 35-40 А.

Световая камера располагалась на оптической скамье (5), которая имеет мерную шкалу (6) и приемная головка (7) имеет возможность по ней перемещаться на ползках.

На рис. 3.5 приведен общий вид экспериментальной установки. Техническая характеристика экспериментальной установки: контролируемая отражательная способность исследуемой поверхности 0-100%; Определение пропускания ИК излучения 0-100%; Площадь исследуемой поверхности 320 см²; Угол поворота образца в горизонтальной и вертикальной плоскости 360⁰; Время одного измерения 2 – 3 сек; Диапазон спектра измерения от 0,76 до 10мкм; Напряжения питания 220/9В; Потребляемая мощность не более 5 Вт; Температура эксплуатации прибора -5⁰С - +40⁰С в условиях лаборатории; Масса – 5,0кг; погрешность – 5-7%.

При обследовании рабочих мест и измерений тепловой облученности по круговой диаграмме либо в определенном секторе обнаружилась большая погрешность измерения, связанная с фоновой засветкой, а также влияние

засветки от других источников.

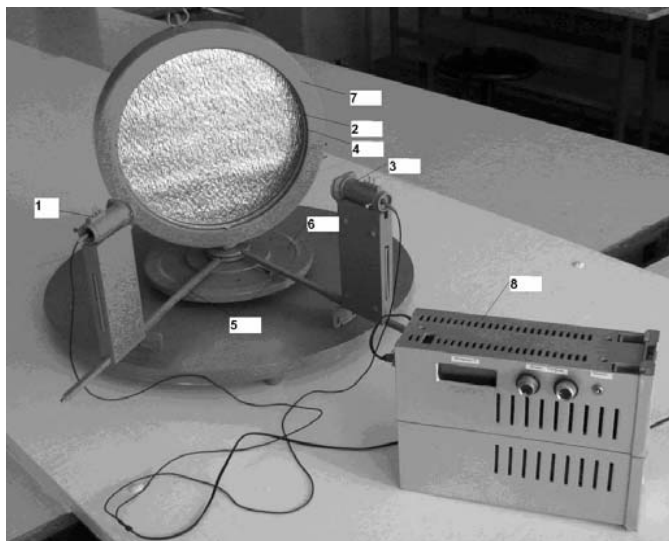


Рис. 3.5. Общий вид экспериментальной установки для исследования оптических характеристик теплозащитных материалов в инфракрасном диапазоне и физического моделирования энергетической освещенности: 1 – излучатель ИК; 2 – исследуемый образец;

3 – приемник ИК; 4 – поворотное кольцо с делениями; 5 – штанги; 6 – кольцо с градусной шкалой; 7 – обойма неподвижная; 8 – аналого-цифровой блок регистрации.

Для уменьшения этого явления использована светозащитную бленду [94, 97, 98] с подвижными диафрагмами, т.к. очень часто необходимо было изменять угол визирования головки. Подобные усовершенствования использованы в специальной приемной головке для измерения энергетической освещенности. Для уменьшения помех от фоновой засветки и повышения точности измерения было использовано уменьшенное сечение пружины по мере приближения и приемнику, что сделало ее равножесткой по всей длине.

Устройство существующей приемной головки представлено на рис.3.6 в положении максимального и минимального угла визирования. Устройство состоит из полого корпуса (1), плоской цилиндрической пружины (2), подвижной системы (3) с установленным приемником (4) - рис.3.6.

Предлагаемая конструкция приемной головки для измерения лучистых

потоков позволяет изменять угол визирования от 5° до 140° , обойтись одним корпусом и снизить материалоемкость, переналадку и настройку в 10-15 раз, за счет того, что расстояния между витками пружины (диафрагмами) будет оптимальным.

Устройство работает следующим образом. В положении 1 приемная головка имеет минимально-допустимый угол визирования φ_1 . Для увеличения угла визирования подвижная система 3 с приемником 4 перемещается вдоль полого корпуса головки 1, сжимая витки плоской цилиндрической пружины. При этом, расстояние между витками пружины (диафрагмами) уменьшается, сохраняя равное межвитковое расстояние, которое уменьшается с увеличением угла визирования φ_2 .

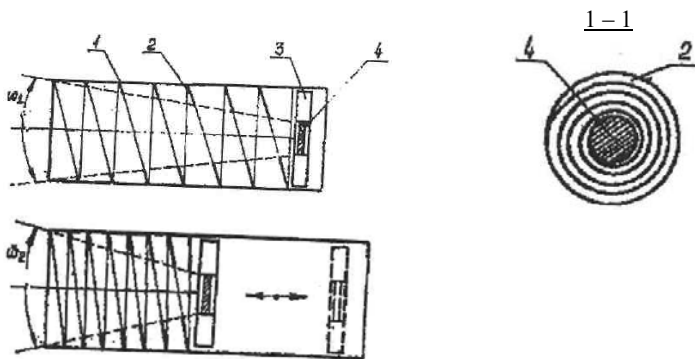
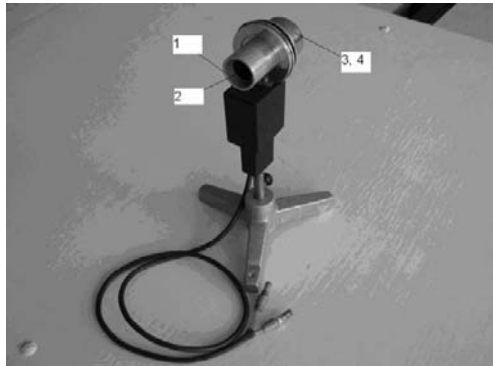


Рис. 3.6. Приемная головка для измерения энергетической освещенности: 1 – корпус; 2 – подвижная диафрагма; 3 – подвижная обойма; 4 – приемник

Данное устройство позволяет повысить точность измерения в приборах. Погрешность измерения не превышает 3 – 4%.

Но при всей положительности результатов измерений обнаружилась причина значительной погрешности при многократных измерениях высокоинтенсивных тепловых потоков. При многократных измерениях с малыми промежутками между измерениями за счет нагрева подвижной диафрагмы нагревается корпус приемной головки и является вторичным источником излучения. На рис. 3.7 было проведено усовершенствование приемной головки, которое имеет техническую новизну и заявлено на уровне изобретения, позволившее значительно уменьшить температуру корпуса приемной головки и привести ее до значения температуры окружающей среды.

Это усовершенствование выразилось в изготовлении специальных отверстий в корпусе, которые позволили улучшить условия теплоотдачи от избыточного нагрева корпуса (рис.3.8).



*Рис. 3.7. Общий вид усовершенствованной приемной головки:
1 – корпус; 2 – подвижная диафрагма; 3, 4 – подвижная система с приемником*

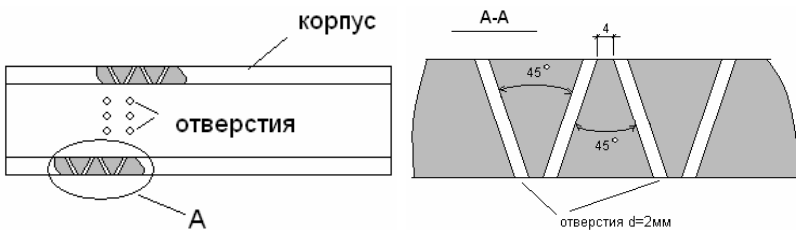


Рис. 3.8. Усовершенствованная приемная головка

Отверстия расположены по всей длине корпуса. И расположены под углом 45° относительно друг друга, что позволяет создать оптимальные условия для охлаждения корпуса до температуры окружающей среды и не пропускать входящее прямое измеряемое излучение.

Данное усовершенствование позволило автору повысить точность и достоверность измерений терморadiационной напряженности на рабочих местах.

3.2. Теоретические исследования интенсивности энергетической освещенности рабочего производства.

Источниками инфракрасного излучения является значительная часть производственных процессов, поверхности оборудования и т.д.

Исследования показали [98-100], что не менее 60% всей тепловых потерь энергетических установок распространяется путем инфракрасного излучения. Потoki теплового излучения рабочего пространства характеризуются энергетической освещенностью, которая зависит от

расстояния до теплового источника.

Рядом авторов [6, 26, 59, 75, 101] для определения интенсивности излучения какого либо тела E , Вт/м². от нагретой поверхности через технологическое отверстие в оборудовании предложено использовать следующие зависимости:

$$\text{При } r \geq F \quad E = \frac{0,91 \cdot F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{доп}}{100} \right)^4 \right]}{r^2} \quad (3.2)$$

$$\text{При } r \leq F \quad E = \frac{0,91 \sqrt{F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{доп}}{100} \right)^4 \right]}}{r^2} \quad (2.3)$$

где F – площадь излучаемой поверхности, м²; T – температура излучаемой поверхности, К; $T_{доп}$ – допустимая температура на облучаемой поверхности, К; r – расстояние до источника излучения, м.

При этом для исследования энергии теплового излучения используют актинометры, радиометры и инфракрасные фильтры для выделения участков спектра (ИКС - 10, ИКС - 12, ИКС - 14).

Как показала практика, предложенная методика исследований имеет ряд недостатков, а главное высокая погрешность определения терморadiационной напряженности на рабочих местах.

Для решения задачи по энергетической освещенности (облученности) используют формулу (3.1).

Интегрируя выражение (3.1) при условии, что $E_0 = \max$ и $\cos\alpha = 1$, а облученность практически не изменяется для формы поверхности источника излучения близкой к квадрату, получим:

$$E = \frac{4L_a}{\sqrt{4l^2 + a^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{4l^2 + a^2}} \quad (3.4)$$

где a – сторона площадки источника излучения; м; l – расстояние от центра излучающей поверхности до облучаемой точки; м; L_a – яркость излучаемого источника.

Определение значения E_0 , a и L на практике часто связано со значительными трудностями, особенно на расстоянии ≤ 1 м, в виду специфики работы тепловых агрегатов, что отмечалось ранее.

Характер изменения интенсивности теплового излучения источников от расстояния до рабочего места подчиняется квадратичной зависимости и совпадает с кривыми, полученными при физическом световом моделировании в разделе 3.1. Рассмотрим эти зависимости в плане математического моделирования, что по нашему мнению позволит расширить энергетические диапазоны исследования и получить результаты с большим квантованием по расстоянию и по пределам интенсивности теплового излучения. Рассмотрим процесс излучения энергии от объекта к поглощаемой

площадке облучаемого объекта. Телесный угол измеряется площадью, определяемой телесным углом по сфере единичного радиуса с центром и вершиной (рис.3.9).

При этом, с увеличением угла зрения, определяемого отношением сторон с линейными размерами a, b, h, R , телесный угол сохраняется, даже при бесконечном уменьшении элементарных площадок излучаемой поверхности [59, 74].

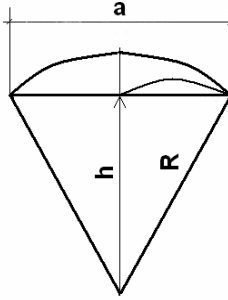


Рис. 3.9. Схема расчета энергетической освещенности элементарной площадки

Принимаем в телесном угле за основу при расчете R :

$$R = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}} \quad (3.5)$$

где a - сторона (диаметр площадки); $b = 1/2a$; h – расстояние от источника до центра площадки; R – длина образующей угла.

Если примем $R=1$, то линейные размеры изменяются при том же телесном угле, тогда получим:

$$b = \frac{\frac{a}{2}}{\sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}}} = \frac{a}{\sqrt{4h^2 + a^2}} \quad (3.6)$$

Если примем: $\frac{a}{2}/b = \frac{R}{1}$; $b = \frac{a}{2}R$;

То все размеры элементарной единичной сферы вписываются в уравнение единичной сферы.

$$S = \iint \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2} dx dy \quad (3.7)$$

где $f = z = \sqrt{1 + x^2 - y^2}$ – уравнение единой части сферы.

Размещение осей (рис.3.10) на элементарной площадке и координат представляет полярную область, в которую проектируется кусок сферы.

Переходя к полярным координатам элементарной площадки после ее интегрирования и проведя соответствующее преобразование мы получим следующее выражение

$$s = 8 \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\phi \int_0^{b/\cos\phi} \frac{\rho d\rho}{\sqrt{1-\rho^2}} = -8 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sqrt{1-\rho^2} ;$$

$$d\phi = -8 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sqrt{\cos^2\phi - b^2} \frac{d\rho}{\cos\phi} + 2\pi \quad (3.8)$$

После преобразования мы уже можем записать формулы определения E_0 в следующем виде:

$$E_0 = 4ha \cdot (4h^2 + a^2)^{-1} \cdot \text{arctg} \left(a \cdot (4h^2 + a^2)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (3.9)$$

где a – сторона квадрата, м; h – расстояние от центра излучающей поверхности до освещаемой (облучаемой точки), м.

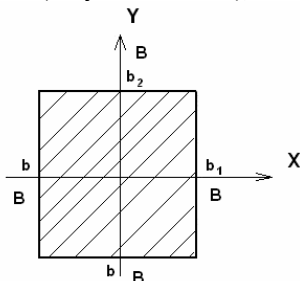


Рис. 3.10. Полярные коэффициенты элементарной площадки

Согласно предварительным условиям постановки задачи, мы знаем расстояние до источника излучения h : энергетическая освещенность (облученность) E_0 и размер источника a . Исходя из положения взаимосвязи тепловых величин яркость источника L может быть определена из данного выражения, а значение $4L$, представим как какую-то безотносительную величину A и зададим ее, как характеристику источника в широких границах заданного предела существования.

В отличие от работ [87, 90, 98, 129] нами учитывались различные формы источников, а также суммарное воздействие теплового излучения от нескольких источников.

Источники могут быть прямоугольными, вытяженными с соотношением сторон 1:4 и более. Также часто отверстия (окна) печей могут быть круглыми, овальными и квадратными. Исходные формулы в таких случаях отличаются.

Рассмотрим основозадающие формулы излучающего тела. Также рассмотрим пример суммарного облучения от нескольких источников (принимаяем 2), хотя возможно и большее количество источников.

Если же источник будет прямоугольником то формулы несколько изменятся. Освещенность точки, находящейся на расстоянии h от одной из вершин светящегося прямоугольника:

$$E = \frac{L}{2} \left(\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \quad (3.10)$$

где a, b – размеры прямоугольника.

Если имеем квадрат, то получим следующую зависимость:

$$E = 4L \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \quad (3.11)$$

Если круглый диск, то

$$E = \frac{\pi L a^2}{h^2 + a^2} \quad (3.12)$$

Освещенность от круглого диска радиуса a на диске радиуса a' , E_{1-2} находящегося на расстоянии h :

$$E_{1-2} = \frac{\pi^2 L}{2} \left[(h^2 + a^2 + a'^2) - \sqrt{(h^2 + a^2 + a'^2)^2 - 4a^2 a'^2} \right] \quad (3.13)$$

Эта формула следует из общей формулы:

$$E_{1-2} = \iint_{A A'} \frac{L \cos \theta \cos \theta'}{1^2} dA dA' \quad (3.14)$$

Данная общая зависимость это левая часть интегрального уравнения полученного при рассмотрении обратной задачи радиационного излучения, состоящей в отыскании температурного распределения на поверхности по известному полю полусферической плотности падающего излучения на них. Из закона сохранения энергии получено интегральное уравнение первого рода.

Рассмотрим общее положение системы источника излучения и облучаемого объекта.

Пусть имеется некоторая произвольная замкнутая система серых диффузно излучающих тел, разделенных прозрачной средой (рис.3.11-3.12).

Одна из постановок обратной задачи в этом случае заключается в отыскании температурного распределения на поверхностях тел $T(M)$ по известному полю полусферической плотности падающего излучения $E_{\Pi}(M)$ на них. На основании закона сохранения энергии эта задача в стационарном случае сводится к решению интегрального уравнения первого рода:

$$\int_F E_{\text{эф}}(N) \frac{\cos \theta_M \cos \theta_N}{\pi r_{MN}^2} dF_N = E_{\Pi}(M) \quad (3.15)$$

относительно полусферической плотности эффективного излучения $E_{\text{эф}}$ с последующим расчетом поля температуры $T(M)$ по формуле:

$$T(M) = \left\{ \frac{1}{\varepsilon\sigma} [E_{\text{эф}} - 1(1-A)E_{\Pi}] \right\}^{1/4} \quad (3.16)$$

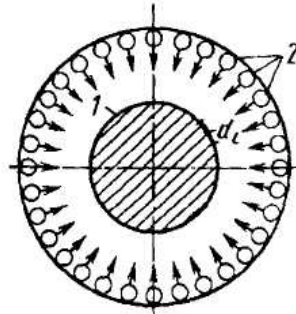


Рис. 3.11. Инфракрасный имитатор: 1 – испытываемый образец; 2 – излучатели

Здесь под падающим излучением E_{Π} понимается сумма поглощенного и отраженного поверхностью излучений. Эффективное излучение, исходящее с поверхности серого тела, представляет собой сумму собственного и отраженного излучений.

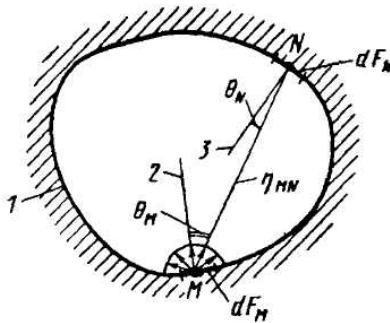


Рис. 3.12. Замкнутая система тел: 1 – диффузно излучающая поверхность F ; 2, 3 – нормали к поверхностям в точках M и N соответственно

Задачи подобного типа возникают при определении режимов работы радиационных нагревательных устройств в экспериментальных стендах и различных технологических процессах.

Сформулированные обратные задачи радиационного теплообмена это стационарные и линейные задачи, в которых лучеобменивающиеся тела считаются непрозрачными.

После преобразований зависимости (3.15) получим зависимость:

$$E_{эф}(M) = \iint_F E_{эф}(N) \frac{\cos\theta_M \cos\theta_N}{\pi r_{MN}^2} dF_N \quad (3.17)$$

Рассмотрим систему дискретно излучающих источников (для примера два источника) с одинаковой интенсивностью излучения. Допустим, также есть два облучаемых объекта. Тогда на основе зонального метода составления уравнения теплового баланса, характеризующего равенство тепловых потоков, воспринимаемых каждым элементом в условиях облученности и заданных тепловых потоков q_1, q_2 (рис.3.13).

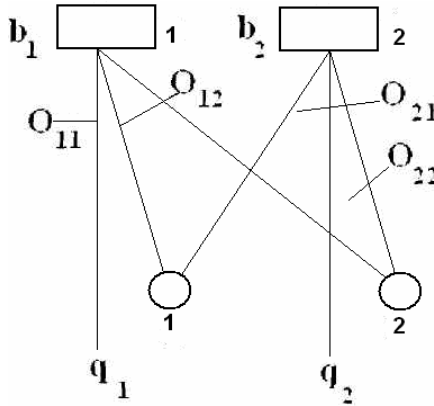


Рис. 3.13. Система дискретно излучающих источников

Приходим к системе линейных уравнений:

$$\begin{cases} J_1 A_{11} \cos\theta_{11} + J_2 A_{12} \cos\theta_{12} = \frac{1}{\pi} q_1 \\ J_1 A_{21} \cos\theta_{21} + J_2 A_{22} \cos\theta_{22} = \frac{1}{\pi} q_2 \end{cases} \quad (3.18)$$

где A_{ij} – поглощательная способность i -того элемента по отношению к j -тому излучателю; θ_{ij} – угол направления от j -того излучателя на i -тый облучаемый элемент; J_k – искомая интенсивность K излучателя.

Эта задача решается достаточно просто так как является линейной системой уравнений.

Так в случае двух источников излучения и двух объектов облучения имеем:

$$J_1 = \frac{1}{\pi} \frac{q_2 A_{11} \cos\theta_{11} - q_1 A_{21} \cos\theta_{21}}{A_{11} A_{22} \cos\theta_{11} \cos\theta_{22} - A_{11} A_{21} \cos\theta_{12} \cos\theta_{21}} \quad (3.19)$$

$$J_2 = \frac{1}{\pi} \frac{q_1 A_{22} \cos \theta_{22} - q_2 A_{12} \cos \theta_{12}}{A_{11} A_{22} \cos \theta_{11} \cos \theta_{22} - A_{11} A_{21} \cos \theta_{12} \cos \theta_{21}} \quad (3.20)$$

Общая система уравнений для n облучаемых элементов и m облучателей примет вид:

$$\pi \sum_{j=1}^m J_j A_{ij} \cos \theta_{ij} = q_i, \quad i = 1, n \quad (3.21)$$

где, a – сторона источника излучения; точка A – центр источника; точка B – место, где производится замер энергии; точка C – расчетное значение величины энергии измерения; h_2 – расстояние с которого проводились экспериментальные замеры; h_1 – расстояние до расчетной точки; углы φ_1 и φ_2 под которыми виден источник с точки C и B .

Более безопасно и удобно измерение угла φ под которым виден источник излучения с некоторого расстояния h_1 (рис.3.14) при условии, что измерение проводится по нормали к нему.

Яркость излучения источника L содержит в себе значения энергетической силы, температуры, степени черноты. Все эти величины в отдельности уже несут в себе погрешности измерения, но входят в величину энергетической освещенности E ;

Величину E с достаточной точностью мы можем определить, используя приборы.

Для этого преобразуем уравнение (3.10) общего вида облучения от квадрата, при этом, учитывая, что $a/h_1 = \operatorname{tg}(\varphi_2/2)$: $a/h_2 = \operatorname{tg}(\varphi_1/2)$: получим - $\frac{h_2}{h_1} = \frac{\operatorname{tg}(\varphi_2/2)}{\operatorname{tg}(\varphi_1/2)}$: $\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = \frac{h_2}{h_1} * \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2}$: то для преобразования формулы разделим числитель и знаменатель обеих дробей на α , получим в конечном итоге:

$$E = \frac{A}{\sqrt{4ctg^2 \frac{\varphi}{2} + 1}} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{4ctg^2 \frac{\varphi}{2} + 1}} \quad (3.22)$$

Для определения величины A применим метод наименьших квадратов. Будем изменять и измерять интенсивность теплового облучения E_0 на разных расстояниях от источника. Получим ряд E_0 и обозначим эти значения через u_i .

Рассмотрим функцию:

$$S(\varphi, A) = \sum_{i=1}^k [x_i - \phi(\varphi_i)]^2 \quad (3.23)$$

где $\phi(\varphi_i, A) = A * \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi}{\sin \varphi} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \operatorname{arctg} \left[\frac{4 + 4 \cos \varphi}{\sin \varphi} + 1 \right]^{\frac{1}{2}}$.

Продифференцируем функцию $S(\varphi_i, A)$ по A и приравняем к нулю, т.к. производная функции в точке минимума равна нулю. Из полученного уравнения определим:

$$\frac{dS}{dA} = 2 \sum_{i=1}^k [X_i - \phi(\varphi_i)] * \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} = 0 \quad (3.24)$$

После преобразования формулы 3.24 мы сможем получить реальное выражение А через угловые коэффициенты:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}}{\sum_{i=1}^k x_i \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{-1} * \operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^2} \quad (3.25)$$

Преобразовав и упростив формулу 3.25, мы получим зависимость для аналитического расчета искомой интенсивности теплового облучения на рабочем месте:

$$E_b = A * \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.26)$$

где B – точка в рабочем пространстве источника или в рабочей зоне обслуживания, в которой определяется облученность, рис 3.14.

Определив любым радиометром, тепломером значение E_c на базовом расстоянии h_1 под углом видения φ_1 вычисляем значение A (рис.3.12):

$$A = E_c \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_i}{\sin \varphi_i} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{-1} \quad (3.27)$$

Полученное значение A подставив в формулу (3.26), получим зависимость:

$$E_b = E_c \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\operatorname{arctg} \left[\left(2 \frac{h_2}{h_1} \frac{1 + \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{-1} * \left[\operatorname{arctg} \left[\left(\frac{4 + 4 \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} * \left(2 \frac{h_2}{h_1} \left(\frac{1 + \cos \varphi_2}{\sin \varphi_2} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{-1} \quad (3.28)$$

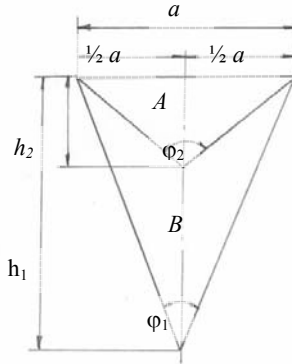


Рис. 3.14. Схема измерения и определения теплового излучения

Полученная зависимость позволяет определить интенсивность теплового облучения на рабочем месте только с учетом значения φ и базового расстояния от источника излучения.

Расчет интенсивности теплового облучения на рабочем месте по формуле (3.28) трудоемок и, поэтому на практике удобнее пользоваться номограммой, которую, можно построить на основании результатов светового моделирования.

3.3. Построение универсальной номограммы для оценки интенсивности теплового облучения на рабочих местах.

Используя допущения о том, что размеры типовых источников теплового излучения принимаем максимальные бхбм, а минимальные 0,2x0,2м, интенсивности теплового облучения $E_{0\max}=16000 \text{ Вт/м}^2$; $E_{0\min}=100 \text{ Вт/м}^2$; расстояния от источника до точки замера не более 20м, получили значение $A_{\max}=2900000$; $A_{\min}=10,0$; $\Delta A=100000$.

$$\varphi_{1\max} = 58^0; \quad \varphi_{1\min} = 1^0; \quad \max \Delta\varphi = 1^0;$$

Внешний цикл расчета- меняется А с шагом ΔA .

Внутренний цикл расчета – меняется φ_1 с шагом 1^0 .

На рис.3.15 получено семейство кривых характеризующих источники теплового излучения. Однако пользоваться ею не очень удобно, особенно в области от 30^0 до 0 и $E_0=7 \times 10^3$ Вт/м² до 0. Высокая насыщенность и близость расположения кривых друг от друга, усложняет работу и вносит существенную погрешность, не позволяет интерполировать.

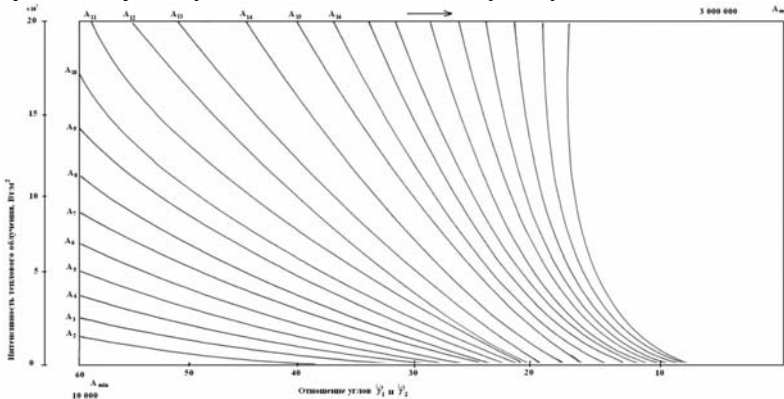


Рис. 3.15. Изменение интенсивности от φ_2 – угла зрения источника от точки замера

На рис.3.15 представлены кривые изменения интенсивности E от угла φ_2 : изменяя значение яркости источника (аналог интенсивности E) мы будем увеличивать кривизну линий (A). Таким образом, задав значения E_0 от 100 Вт/м^2 до $E_0 = 16000 \text{ Вт/м}^2$ и изменяя точки замеров от $\varphi_2 = 1$ до $\varphi_2 = 58^0$: при неизменном размере окна, получим семейство кривых рис.3.15 со значениями E_0 ; φ_2 и A от 10 до 2900000. Для удобства работы и интерполяции промежуточных значений переведем рис.3.15 в логарифмический масштаб рис.3.16 [78, 91].

Согласно схеме измерения на рис.3.14; выбираем точки замеров h_1 и h_2 .

Следующей важной характеристикой моделирования является влияние зависимости углов зрения φ_1 и φ_2 от отношения δ расстояний точки замеров h_1 до искомой точки замера h_2 .

$$\delta = \frac{h_1}{h_2} = \frac{\text{tg } \frac{\varphi_2}{2}}{\text{tg } \frac{\varphi_1}{2}} \quad (3.29)$$

Для построения этого семейства кривых принимаем:

$$\varphi_{2\max} = 60^0; \quad \varphi_{2\min} = 0^0; \quad \Delta\varphi_2 = 2^0;$$

$$\varphi_{1\max} = 60^0; \quad \varphi_{1\min} = 1^0; \quad \Delta\varphi_1 = 1^0;$$

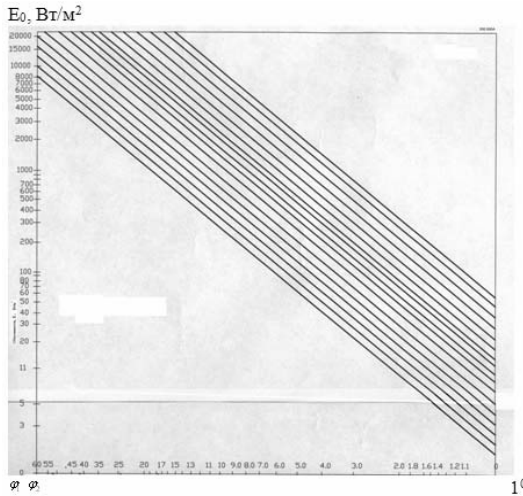


Рис. 3.16. Зависимость изменения величины A , E_0 от угла зрения φ_2 в логарифмическом масштабе

Здесь мы так же сталкиваемся с проблемой погрешности колебания на участке φ_1 и φ_2 от 10^0 до 0 ; и δ – от 10 до 60. Аналогично зависимости приведенной на рис.3.15.

Решаем эту проблему аналогично с предыдущими рис.3.15 и 3.16 и переведем значения кривых на рис.2.17 в логарифмический масштаб и получим рис.3.18, что облегчит работу с номограммой.

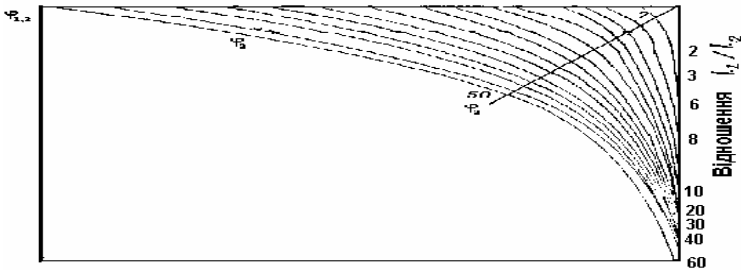


Рис.3.17. Зависимость изменения углов φ_1 и φ_2

Для удобства работы объединим оба рисунка рис.3.16. и рис.3.18, выполненных в логарифмическом масштабе и получим универсальную номограмму, полученную на основе экспериментальных замеров по

световому моделированию и кривых построенных на основе расчетов рис.3.19).

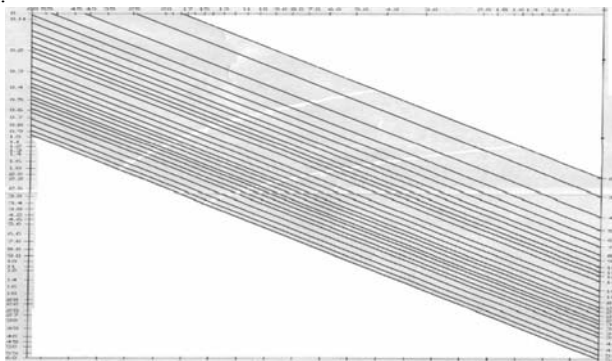


Рис. 3.18. Зависимость изменения углов φ_1 и φ_2 от отношения δ в логарифмическом масштабе

Проверка экспериментальных данных светового моделирования, экспериментальных замеров в производственных условиях и теоретических расчетных данных по номограмме показывают хорошую сходимость. Теоретические кривые адекватно описывают терморadiационный процесс. Проверка на адекватность проводилась по критерию Фишера и корреляционному отношению. Корреляционные отношения не ниже 0,98. Проверка на нормативность распределения проводилась по критерию χ_u – квадрат.

Корреляционные отношения R рассчитывались по формуле:

$$R = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - x_p)^2}{\sum_{i=1}^k (x_i - x)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.30)$$

x_p – расчетное значение облученности точки.

Критерий Фишера рассчитывали по формуле

$$F = \sum_{i=1}^k (x_i - x)^2 * \left[\sum_{i=1}^k (x_i - x_p)^2 \right]^{-1} \quad (2.31)$$

Полученная номограмма позволяет оперативно, точно определять интенсивность типового облучения на любом расстоянии от источника теплового излучения и создать безопасные условия труда исследователей.

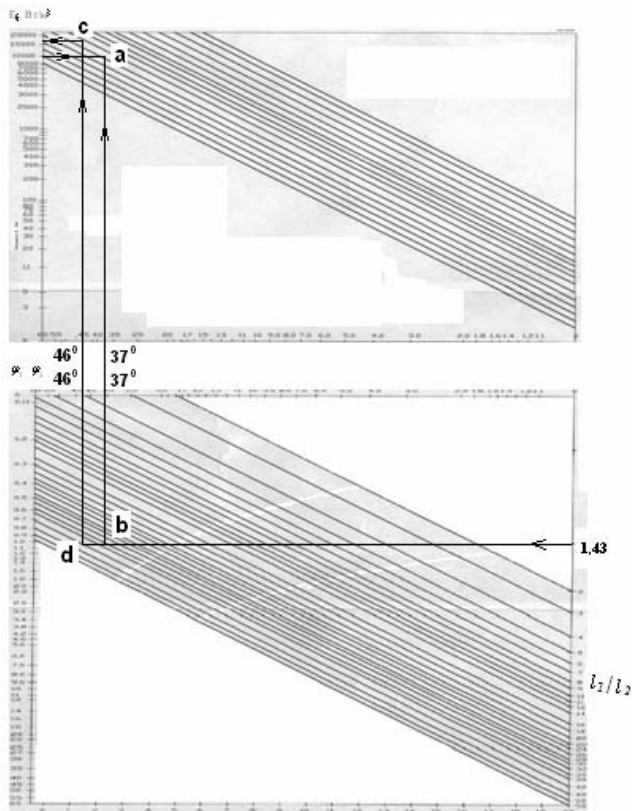


Рис. 3.19. Универсальная номограмма зависимости изменения углов φ_1 и φ_2 от отношения δ

Для пользования номограммой (в случае сложности и опасности измерения величины тепловой облученности) необходимо от значения E_b (рис.3.16) провести горизонталь до пересечения с углом видения источника излучения φ_1 , от точки пересечения, восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с прямыми (рис.3.18). Прямые (рис.3.18) характеризуют безотносительные кривые характеризующие источник излучения. Затем определяем отношение величин – $\delta = \frac{l_1}{l_2}$ от точки δ проводим горизонталь до пересечения с прямой пересечения φ_1 : точка пересечения покажет угол φ_2 от

точки пересечения δ и φ_2 . восстанавливаем перпендикуляр до линии A , с которой пересеклась линия E_b , определим искомое значение E_c .

Для определения погрешностей расчета подставим выражение 3.9 в формулу 3.27, получим:

$$\left(\frac{4 + 4 \cos \phi_1}{\sin \phi_1}\right)^2 + 1 = \frac{4L_1^2 + a^2}{a^2} \quad (3.32)$$

$$A = E_0 \frac{\sqrt{4L_1^2 + a^2}}{a * \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{4L_1^2 + a^2}}}$$

Подставляя значение A в формулу .328 получим окончательную зависимость:

$$E = E_0 \frac{\sqrt{4L_1^2 + a^2} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{4L_2^2 + a^2}}}{\sqrt{4L_2^2 + a^2} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{4L_2^2 + a^2}}} = E(E_0; L_1; L_2; a) \quad (3.33)$$

где E – искомая величина.

примем:

$\Delta L_2 = 0$, т.к. L_2 конкретно задано без изменения;

$\Delta E_0 = 0,05$, т.е. погрешность радиометра $\pm 5\%$;

$\Delta L_1 = 0,01$; т.к. точность определения расстояния $\pm 0,01$ м;

$\Delta \varphi_1 = 0,003$ т.к. точность измерения угла $\pm 1^0$ или $0,01$

$$\text{тогда } \Delta E = \left| \frac{de}{de_0} \right| \Delta E_0 + \left| \frac{de}{dL_1} \right| \Delta L_1 \left| \frac{de}{dA} \right| \Delta A \quad (3.34)$$

$$\sqrt{4L_1^2 + a^2} = b_1; \quad \sqrt{4L_1^2 + a_1^2} = b_2; \text{ обозначим:}$$

$$\operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{4L_2^2 + a^2}} = C_1; \quad \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{4L_2^2 + a}} = C_2$$

δ_0 – погрешность измерения E_0 тогда после преобразования общая погрешность будет равна:

$$\delta = \frac{b_1 * c_2}{b_2 * c_1} \delta_0 + \frac{c_2}{b_2 c_1^2} \left[\frac{4L_1}{b_1} c_1 + \frac{4aL_1}{4L_1^2 + 2a^2} \right] \Delta L_1 +$$

$$+ \frac{\left[\frac{a}{b_1} c_1 + \frac{4L_1^2 b_1}{(4L_1^2 + 2a^2) b_2} \right] b_2 c_1 - \left[\frac{a}{b_2} c_1 + \frac{4L_1^2 b_1}{(4L_1^2 + 2a^2) b_1} \right] b_1 c_1}{b_2^2 L_2^2} \Delta a \quad (3.35)$$

$$\text{где } \Delta a = \Delta L_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} + \frac{L_1}{2 \cos^2 \frac{\varphi_1}{2} * \Delta \varphi}$$

Из выражения 3.35 видно, что максимальная погрешность будет при $L=\max$; $L_2=\min$; $a=\min$; $\varphi_1=\min$.

Представим себе наихудшее стечение неблагоприятных факторов при измерении:

$I_1=20\text{м}$; $I_2=1\text{м}$; $a=0,5\text{м}$; $\varphi_{\min}=4+6^0$; тогда максимальная погрешность определения интенсивности теплового облучения, но номограмме будет:

$$\delta_{\max} = 0,082, \text{ т.е. } 8,2\%.$$

Предложенная методика позволяет наиболее точно производить оценку термической напряженности на рабочем месте по сравнению с существующими методиками [79, 91, 102, 103].

3.4. Разработка программного обеспечения для обработки результатов физического и математического моделирования и на их основании построение графической картины распределения изотермических кривых теплового излучения в рабочем пространстве.

Для построения распределения изотермических кривых в рабочем пространстве цехов от технологических агрегатов и от готовых изделий либо заготовок в нагретом состоянии используем окончательную формулу 3.28 аналитического расчета облученности в зависимости от расстояния. Однако необходимо учесть, что формула 3.28 пригодна только для линейного определения по нормали к источнику избыточного теплоизлучения. А источники избыточного теплового излучения имеют в основном два вида распределения изотермических кривых: сферическое от источников не ограниченных от излучения по бокам, например - накопительные, шахтные печи, остывающие заготовки и готовые изделия, печи плавления алюминиевых, магниевых и других сплавов расположенных на уровне пола, закалочные ванны из расплавленных солей. И полусферическое от термических печей при операциях нагрева заготовок для поковки, отпуска, отжига, варки стекла, когда открыта заслонка, либо дверца печи. Здесь необходимо учитывать Ламбертовское распределение величины энергии теплового излучения в зависимости от угла, под которым виден источник. Излучение изменяется по закону косинуса. Кроме этого необходимо учитывать размер, форму источника, его инвентаризационный номер и код его технологического состояния, то есть либо он излучает в своем максимальном режиме, либо меньше, либо он находится в дежурном режиме. Для согласования распределения изотермических кривых в рабочем пространстве цеха с учетом расположения рабочих мест необходимо определить на плане их визуальное расположение в виде сети с учетом косинусного распределения. Согласно требованиям мы должны получить своего рода технико-энергетический паспорт на каждый источник избыточного теплового излучения на производстве. Для создания такого нового образца технико-энергетического паспорта источника избыточного теплового излучения автором было создано новое программное обеспечение на

языке Дельфи для решения задачи построения пространственных тепловых полей для сферических и полусферических источников избыточного теплового выделения.

При создании программного обеспечения были введены следующие допущения.

В качестве расчетной формулы использовать формулу 3.28.

В качестве источника теплового излучения примем два типа излучателя: – круговой (плавление в чаше, печи, получения извести, остывающие детали); и односторонние (термические, плавильные печи с ограничением теплового излучения одной стороны).

Зону предельно-граничного распределения тепловых печей ограничить величиной в 70 Вт/м^2 .

Для односторонних излучателей предусмотреть поправочные косинусные прямые с учетом Ламбертовского распределения.

Задавать шаг температурного поля (сетки) в зависимости от интенсивности излучения источника и его размеров.

Определять значения интенсивности облучения E_n для каждого шага сетки.

Выводить на график: название завода, цеха, инвентарного номера технологического агрегата, либо номер источника теплового излучения; размер и форму источника теплового излучения и технологической операции; облученности в месте замера; шаг сетки.

Карта тепловых печей должна проектироваться в горизонтальной плоскости на 360° либо 180° , в зависимости от типа источника.

Измерения терморadiационного излучения на рабочих местах проводились разработанными на кафедре БЖД ПГАСА радиометром с использованием стандартного датчика теплового потока, прошедшего поверку и имеющий паспорт, но со специально разработанной приемной головкой (рис.3.6 и рис.3.7).

РАЗДЕЛ 4

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ.

4.1. Теоретическое и практическое обоснование средств применяемых для измерения теплового излучения.

Исследования условий труда горячих производств по тепловому фактору показали, что избыточное теплоизлучение на рабочих местах имеет очень большой динамический диапазон от $50,0 \text{ Вт/м}^2$ до 20000 Вт/м^2 при норме интегрального допустимого облучения в 140 Вт/м^2 [7, 32, 40, 72, 78, 104, 105].

При анализе существующих приборов как отечественных, так и зарубежных оказалось, что нет универсального прибора, работающего в указанном диапазоне с достаточной чувствительностью и точностью, как при минимальных, так и при максимальных значениях теплового потока, поэтому, для измерения приходится использовать несколько приборов с разными поддиапазонами, что сказывается на сложности, трудоемкости процесса измерения, а главное точности измерений.

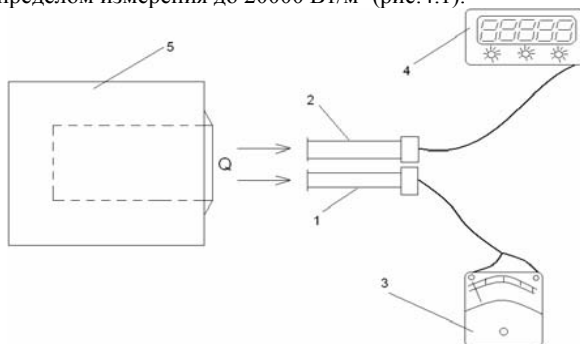
Так, оказалось, что при малом диапазоне измерения ограничен верхний предел измерения, но высока чувствительность и разрешающая способность. при большем диапазоне от 1000 Вт/м^2 до 20000 Вт/м^2 редел измерения расширен, но мала точность и разрешающая способность измерения. при решении данного вопроса нами на основании проведенных исследований и на основе анализа существующих стандартных датчиков предложен новый метод измерения. для этого на стенде рис. 4.1. измерялся тепловой поток q от источника стабильного теплового потока - муфельной печи. Для достоверности измерений устанавливают два стандартных датчика – один в качестве образцового-контрольного, другой как исследуемый. за счет регулируемого теплового потока снимаем статические характеристики отобранных на основании анализа датчиков: ДТП-01, ДТП-02, ДТП-03, ДТП-04, ДТП-05. зависимости генерируемого сигнала от величины теплового потока приведены на рис.4.2. наименее чувствительным оказался датчик ДТП-01 имеющий диапазон измерения теплового потока от 10^4 до 10^7 Вт/м^2 . датчик ДТП-05 обладает высокой чувствительностью и высокой разрешающей способностью, но диапазон измерения от 10 Вт/м^2 до 3000 Вт/м^2 . нами были проведены исследования характеристик датчика ДТП-05 при воздействии различных по величине тепловых потоков и величины возрастания Э.Д.С. датчика по времени. Результаты исследования приведены в виде семейства кривых на рис.4.3 а и б.

Измерения проводились при различных тепловых потоках в двух диапазонах до 1400 Вт/м^2 и до 18000 Вт/м^2 . кривые пронумерованы и значения теплового потока для каждой кривой приведены в табл.4.1.

Градуировку производили в лабораторных условиях Госстандарта по методике для датчиков точности третьего разряда и технических тепловых радиометров.

В качестве источника излучения использовалась муфельная печь типа ПМ-56. Температура нагрева внутренней поверхности печи контролировалась терпарой и милливольтметром. Мощность печи 2,6 кВт. Температура нагрева печи поддерживалась до 1273 К.

В качестве образцового-эталонного контрольного использовался датчик ДТП-02 с пределом измерения до 20000 Вт/м^2 (рис.4.1).



*Рис.4.1. Стенд для лабораторных испытаний датчика ДТП-05:
1 – исследуемый датчик; 2 – образцовый датчик; 3 – аналоговый милливольтметр; 4 – цифровой мультиметр; 5 – муфельная печь*

На стенде система управления муфельной печи позволяет плавно поднимать температуру внутренней поверхности до 1273К. На регулируемом расстоянии от 0,1 до 1м от открытого окна печи в специальном штативе зажаты приемные тубусы контрольного датчика и исследуемого. Приемные головки предварительно отвизированы на окно печи МП-56 и находятся в контакте между собой для равенства температур корпусов. Угол зрения исследуемого датчика установлен равным углу зрения контрольного датчика.

К датчикам образцового и испытуемого подключены одинаковые милливольтметры типа М 2031/2, высокой чувствительности – цена деления $C_1=1,0 \cdot 10^{-7} \text{ А/деление}$, класс точности – 0,5.

Сопротивление термоэлектрической батареи датчика и гальванометра равно 389,4 Ом, сопротивлением соединительных проводов пренебрегаем из-за их малого сопротивления, менее 0,1 Ом. Для градуировки кривых устанавливаем таймер со звуковым сигналом и электрическими метками. Показания цифрового мультиметра, аналогового милливольтметра параллельно подаются на специальный интерфейс компьютера.

Таким образом, мы получили значения Э.Д.С. датчика в зависимости от величины теплового потока по времени экспериментальным путем.

Таблица 4.1. – Значения Э.Д.С. датчика в зависимости от величины теплового потока

№ Кривой изменения Э.Д.С. датчика во времени	Величина теплового потока, Вт/м ²	№ Кривой изменения Э.Д.С. датчика во времени	Величина теплового потока, Вт/м ²	№ Кривой изменения Э.Д.С. датчика во времени	Величина теплового потока, Вт/м ²
1	1400	9	125	17	11800
2	750	10	110	18	10500
3	460	11	90	19	9000
4	380	12	80	20	7800
5	290	13	70	21	6300
6	220	14	18000	22	5000
7	165	15	15000	23	3500
8	145	16	13200	24	2000

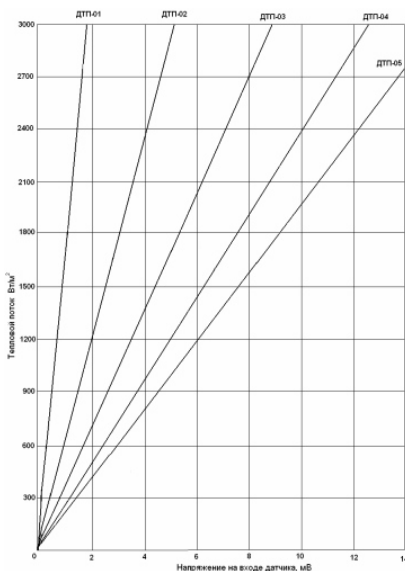


Рис. 4.2. Зависимости сигнала датчиков от величины теплового потока

Для подтверждения выбранного метода использования датчика ДТП-05 в режиме измерения, решаем задачу математического моделирования прогрева тела датчика различными тепловыми потоками по времени. Погрешность измерения растет с увеличением температуры тела датчика. решение задачи путем математического моделирования позволяет выбрать

наиболее оптимальный режим измерений датчика с учетом требований высокой чувствительности и разрешающей способности с широким диапазоном пределов измерений [93, 94, 144-146]

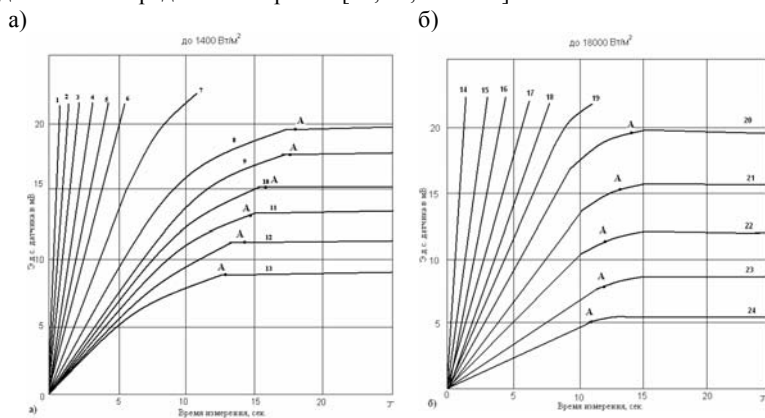


Рис. 4.3. Зависимость выходного сигнала датчиков в мВ, от величины: а – при тепловом потоке до 1400 Вт/м²; б – при тепловых потоках до 18000 Вт/м²

Для оценки положительных и отрицательных сторон такого варианта использования датчика необходимо исследовать поведение датчика ДТП-05 в переменных потоках теплового излучения. В реальности необходимо решить несколько задач с учетом факторов, влияющих на погрешность:

- определить температуру нагрева самого тела датчика при измерении теплового потока от 35 до 20000 Вт/м² в вакууме и в воздушной среде;
- определить время охлаждения датчика после замера без воздействия теплового потока излучения;
- установить зависимость температуры нагрева рабочего тела датчика от измеряемого теплового потока излучения.

Рассмотрим поведение рабочего тела датчика в тепловом потоке излучения.

На рабочее тело (пластину) датчика ДТП-05 воздействует тепловой поток излучения Q , который нагревает рабочее тело датчика. В свою очередь рабочее тело датчика, нагреваясь, само будет излучать теплоту. Тепловой поток излучения с обеих сторон пластины q_n будет равен:

$$q_n = 2\varepsilon\sigma(T_C^4 - T^4) \quad (4.1)$$

где: q_n – излучаемый тепловой поток, кВт/м²; ε – степень черноты пластины датчика; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T_C – температура среды, К; T – температура нагрева пластины датчика, К.

Рабочее тело датчика в виде пластины в данном случае имеет толщину

0,003м, при такой толщине пластины рабочее тело можно (рис.4.4) считать термически тонким (т.к. отсутствует градиент температуры по толщине). При использовании допущения критерия тонкого тела [98. 101-104], принимаем $\varepsilon=0,1$, тогда будем иметь:

$$\delta_{пл} = \sqrt{2a\tau \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} \quad (4.2)$$

при a

$$a = \frac{\lambda_T}{\rho c} \quad (4.3)$$

где: c – теплоемкость вещества, (Дж/кг·К); δ – толщина пластины датчика, м; a – тепловая активность; τ – время, сек; ε – степень черноты пластины датчика; ρ – плотность материала датчика, кг/м³; λ_T – коэффициент теплопроводности, (Вт/м·К).

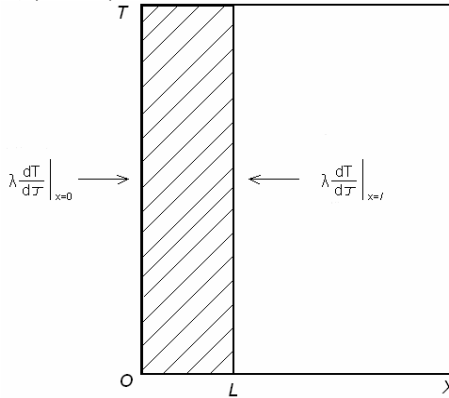


Рис. 4.4. Схема воздействия тепловых полей на пластину датчика

Для датчика $a=5,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, τ принимаем равным 1 секунде. Определим допустимую толщину пластины по формуле:

$$\delta_{пл} = \sqrt{2 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,11} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Полученная допустимая толщина пластины выдерживает условие $\delta_{пл \text{ допустимое}} > \delta_{факт} = 0,30 \cdot 10^{-3}$, при котором пластину можно считать термически тонким телом.

В таком случае уравнение теплопередачи в пластине рабочего тела датчика имеет вид [101, 107-110]:

$$\frac{dT}{d\tau} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad (4.4)$$

с учетом принятых граничных условий (рис.4.4.)

$$\lambda_T \frac{dT}{dt} \Big|_{x=0} = \alpha(T - T_c) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_c^4) \quad (4.5)$$

где: α – коэффициент конвективной теплоотдачи

$$\lambda_T \frac{dT}{dt} \Big|_{x=L} = \alpha(T - T_c) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_c^4) \quad (4.6)$$

Для критерия тонкого тела дивергентным членом $\frac{d^2T}{dx^2}$ можно пренебречь из-за малого температурного перепада по толщине. Это позволяет уравнения 4.4, 4.5, 4.6 записать в виде 4.7, где граничные условия 4.5, 4.6 включены в формулу 4.7 в виде источника тепла Q :

$$\rho c \Delta x S \frac{dT}{dt} = Q + 2\alpha(T - T_c) + 2\varepsilon\sigma(T^4 - T_c^4) \quad (4.7)$$

Уравнение 4.7 при $\alpha = \text{const}$, $T_c = \text{const}$ имеет решение в квадратурах [102, 106-108]. При переменных значениях α и T_c уравнение 4.7 решается численно на ПК. При воздействии теплового потока на пластину датчика в вакууме уравнение 4.7 примет вид:

$$\Delta x S \rho c \frac{dT}{dt} = Q + 2\varepsilon\sigma(T_c^4 - T^4) \quad (4.8)$$

где Δx - толщина пластины.

При воздействии теплового потока на пластину в воздушной среде необходимо учитывать конвективную теплоотдачу q_k :

$$q_k = 2\alpha(T_c - T) \quad (4.9)$$

В этом случае уравнение 3.8 примет вид:

$$\Delta x S \rho c \frac{dT}{dt} = Q + 2\varepsilon\sigma(T_c^4 - T^4) + 2\alpha(T_c - T) \quad (4.10)$$

При помощи уравнений 4.8 и 4.10 можно определить температуру нагрева пластины, при любой величине теплового потока (рис.4.6 и 4.7).

Для определения области применения датчика необходимо также знать температуру пластины во времени при охлаждении в воздушной среде и в вакууме без воздействия теплового потока Q , что возможно получить из решения уравнения 4.10 при различных условиях исходной температуры охлаждения рабочего тела датчика.

При решении уравнения 4.8 с изменяющимся тепловым потоком Q необходимо его решать численно. Уравнение 4.8 в разностной форме имеет вид [39, 71, 78, 141-143] для вакуума:

$$\Delta x S \rho c \frac{T^{n+1} - T^n}{dt} = Q + 2\varepsilon\sigma [T_{cp}^4 - (T^n)^4] \quad (4.11)$$

$$T^{n+1} = \frac{dt}{\rho \Delta x S c} \left\{ Q + 2\varepsilon\sigma [T_{cp}^4 - (T^n)^4] \right\} + T^n \quad (4.12)$$

где dt - шаг по времени; $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$.

Для решения уравнения 4.10 при нагреве пластины в воздушной среде в разностной форме оно примет вид:

$$T^{n+1} = \frac{d\tau}{\rho\Delta xSc} \left\{ 2\varepsilon\sigma [T_c^4 - (T^n)^4] + T^n + Q + 2\alpha [T_c - (T^n)] \right\} \quad (4.13)$$

При охлаждении рабочего тела датчика ДТП-05 в вакууме, когда тепловой поток отсутствует уравнение 4.8 преобразуется и имеет вид:

$$T^{n+1} = \frac{d\tau}{\rho\Delta xSc} \left\{ 2\varepsilon\sigma [T_c^4 - (T^n)^4] + T^n \right\} \quad (4.14)$$

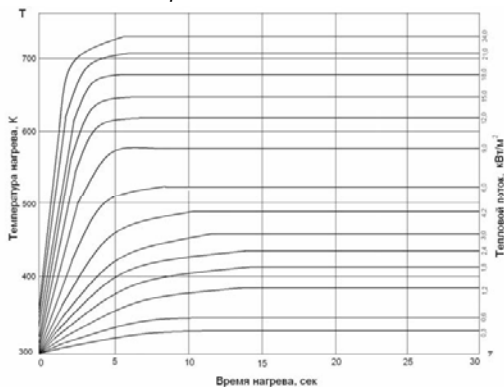


Рис. 4.5. Зависимость температуры нагрева рабочего тела датчика в вакууме от величины теплового потока

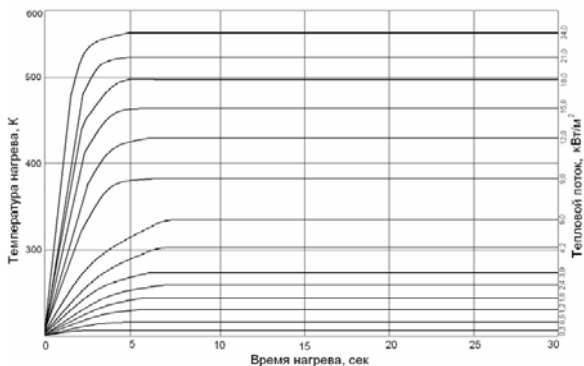


Рис. 4.6. Зависимость температуры нагрева рабочего тела датчика по времени в воздушной среде от величины теплового потока

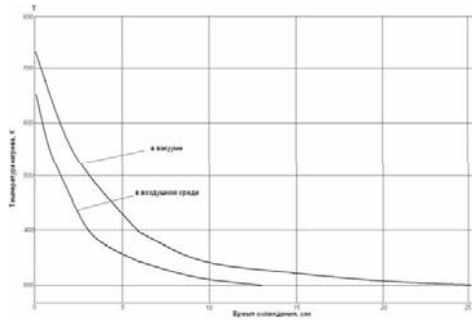


Рис. 4.7. Зависимость температуры охлаждения рабочего тела датчика ДТТ-05 по времени

При охлаждении в воздушной среде рис.4.7 уравнение 4.13 после преобразования примет вид:

$$T^{n+1} = \frac{dt}{\rho \Delta x Sc} \left\{ 2\varepsilon \sigma [T_c^4 - (T^n)^4] + 2\alpha(T_c - T^n) + T^n \right\} \quad (4.15)$$

Для взвешенной оценки теплового потока возникла необходимость реализации математической модели температурного поля датчика ДТТ-05 для отработки единой методики измерения теплового потока.

Согласно решенных уравнений 4.8-4.10 построены графики изменения температуры нагрева рабочего тела датчика во времени при переменном измеряемом тепловом потоке Q и представлены на рис.4.5, 4.6, 4.7. На рис.4.5 представлены кривые изменения температуры нагрева в вакууме рабочего тела датчика за время 30 секунд при изменении теплового потока от 60 до 24000 Вт/м². При измерении теплового потока традиционными методами [34, 77, 102, 109-114, 141] необходимо чтобы рабочее тело датчика нагревалось до температур, соответствующих равновесному участку кривой нагрева. При измерении температуры нагрева рабочего тела датчика для максимального теплового потока 24000 Вт/м² это время составит 5 секунд в вакууме и 7 секунд в воздушной среде. При минимальном тепловом потоке в 60 Вт/м² соответственно время нагрева составит 25 секунд для вакуума и 30 секунд для воздушной среды, рис.4.5 – 4.6.

Для выполнения данного условия дозирование теплового потока по времени осуществляется в специальной головке, в которой размещен оптический затвор на пути между входным отверстием и датчиком дтп-05. время открывания оптического затвора и его управление осуществляется от специального электрического привода, который управляется таймером.

Предложенная нами функциональная схема приемной головки датчика приведена на рис.4.8, а внешний вид на рис.4.9.

Согласно требованиям оптимизации точности измерения и допустимого нагрева тела датчика [106, 112, 115, 116] это время измерения, как показали

исследования велико. Кроме того, рабочее тело датчика работает в предельно допустимых режимах по тепловому фактору. Согласно анализа ряда работ [24, 61, 111, 112, 114, 117] максимальная точность и достаточно высокая повторяемость результатов при использовании ранее предлагаемых методик достигается в диапазоне работы от 273К до 373 К. при более высоких температурах измерений погрешность превышает 30-35 %.

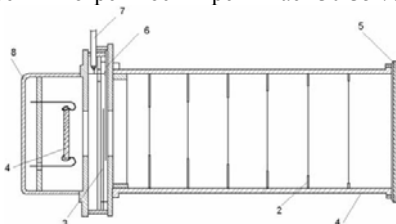


Рис. 4.8. Функциональная схема приемной головки с датчиком ДТП-05: 1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – затвор; 4 – датчик ДТП-05; 5 – обойма для светофильтров; 6 – корпус затвора; 7 – привод затвора; 9 – защитный кожух

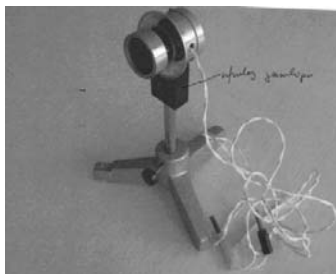


Рис. 4.9. Разработанная измерительная головка для исследования стандартного датчика типа ДТП-05

Как показали наши исследования, время охлаждения рабочего тела датчика после произведения замера до температуры окружающей среды согласно рис.4.7 составит (при нагреве тепловым потоком 24000Вт/м^2) 26 секунд в вакууме и 12,5 секунд на воздухе. Суммарное время между замерами (нагрев + охлаждение), получаем длительность одного цикла между повторными измерениями 51 секунду для вакуума, для воздуха 42,5секунд.

Принимаем цикл (промежутки в измерениях) не менее 60 сек для уменьшения времени одного цикла измерения и повышения точности измерения предложено измерять тепловой поток по приращению температуры нагрева рабочего тела датчика за единицу времени. Таким образом, нагревая рабочее тело датчика за малое (по сравнению с традиционными методами измерения) время мы заставляем работать датчика

на начальном участке кривой, который наиболее точный и линейный. Принимая время нагрева датчика - 1 секунду, мы получаем температуру рабочего тела датчика (при максимальном тепловом потоке в 24000 Вт/м^2) – 533 К для случая нагрева в вакууме и 513К для воздушной среды.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований было доказано, что для измерения как малых, так и больших тепловых потоков можно использовать низкопределный, но высокочувствительный датчик – дозируя на него доступ теплового потока временем.

На основе предложенной нами приемной головки разработан и испытан прибор для измерения лучистых тепловых потоков - рис.4.10.



Рис. 4.10. Прибор для измерения лучистой составляющей теплового потока

В корпусе установлена головка рис.4.9., аналого-цифровой преобразователь сигнала с датчиком ДТП-05 с выдачей результатов измерения на цифровом дисплее.

При этом достигаются: пределы измерения интенсивности теплового потока от 10 Вт/м^2 до 15000 Вт/м^2 . Спектральная возможность измерения от $0,76 \text{ мкм}$ до 10 мкм с комплектацией дисперсными фильтрами в указанном диапазоне. Разрешающая способность 5 Вт/м^2 . Погрешность измерения не более 5 %. Питание – 220 В / 9 В. Вес не более 800 г. Потребляемая мощность не более 10 Вт.

4.2. Исследования эффективности защитных свойств материалов с учетом спектральных характеристик источников теплового излучения.

В разделе 4.1. рассматривались методы и средства измерения избыточного теплового излучения от технологического и теплотехнического оборудования. Измерения проводятся в интегральном диапазоне, в основном без учета спектральных характеристик источника теплового излучения.

Избыточное тепловое излучение воспринимается как элементами конструкций, так и обслуживающим персоналом. Если сравнить площадь поверхности человека и площадь поверхности технологического оборудования, стен, потолка, пола и пр., то мы заметим огромную разницу в соотношении площадей поверхности человека и остального.

И все эти поверхности могут при учете суммарного воздействия

отраженного вторичного излучения оказать более значимые тепловые воздействия, чем непосредственно от прямого излучения. при этом, добавляется целый ряд случайных факторов – угол падения отраженных излучений, состояние поверхности, материал ограждающих поверхностей.

Поэтому необходимо четко определить пространственное распределение тепловых полей в рабочей зоне работы оператора и др. профессий.

Анализ проведенных исследований показал, что падающее ИК-излучение, в зависимости от свойств материала, частично отражается от его поверхности. неотраженное излучение проникает в слой материала и согласно закона поглощения Ламберта-Бутера частично поглощается, превращаясь в теплоту.

Схема распределения ИК-излучения падающего на материал:

$$\rho + D + A = 1$$

где: ρ – отраженная часть излучения; D – пропущенная часть излучений; A – поглощенная часть излучения, превращенная в тепло.

При выборе и разработке необходимых средств защиты работающих от высокоинтенсивного теплового излучения на предварительной стадии необходимо знать распределение тепловых полей на рабочем месте и спектральный состав источника излучения, а также векторную характеристику теплового излучения. Это позволяет предварительно оценивать форму, материал и конструкцию тепловой защиты.

Тем более, что подавляющее количество отражающих, поглощающих поверхностей со временем претерпевают изменения, которые не совместимы с ранее заявленными паспортными данными. Аналогично происходят изменения с уже установленными теплозащитными средствами. Прежде всего, материалы, из которого они выполнены также меняет свои характеристики от воздействия окружающей среды внутри цехов и времени. Также на теплоизоляционные характеристики огромное влияние оказывает наличие воды (конденсата, окислов) на поверхностях, шероховатость поверхности, микротрещины и т.д.

Из огромного количества показателей технического состояния применяемых конструкций экранов, элементов зданий наибольший вес в горячих участках принадлежит показателям, характеризующим качество их теплозащиты. Таким образом, своевременное выявление уменьшения термического сопротивления и увеличения теплового потока через конструкцию является главной задачей обследования теплозащитных свойств уже применяемых теплозащитных средств. Для вновь проектируемых средств теплозащиты необходимо технически обоснованно подобрать оптимальные по стоимости и по эффективности составы покрытий, красок, обзак и специальные материалы.

При этом, необходимо учитывать, прежде всего, угол падения и отражения избыточного излучения. Существуют зависимости, позволяющие вычислять спектральное и интегральное отражения под любым углом с нормалью к поверхности данного тела, если его оптические характеристики

известны. Но наиболее просто определять отражение по нормали. Значение отражения $\rho(\lambda)_n$ по нормали определяется формулой Френеля [3, 51]:

$$\rho(\lambda)_n = \frac{[1 - n(\lambda)]^2 + k(\lambda)^2}{[1 + n(\lambda)]^2 + k(\lambda)^2} \quad (4.16.)$$

где: $n(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения; $k(\lambda)$ – постоянная поглощения, зависящая от длины волны.

Для непрозрачных $k(\lambda)$ мала, поэтому (в большинстве случаев) следует 4.16. принять как:

$$\rho(\lambda)_n = \frac{[1 - n(\lambda)]^2}{[1 + n(\lambda)]^2} \quad (4.17.)$$

Тем более отражение зависит не только от тонкого отражающего слоя, но и от материала основания, которое довольно толстое и пространственный характер отражения больше, чем поверхностный.

Общее отражение можно определить по формуле Мак-Магона [65, 71, 73]:

$$\rho(\lambda)_n = \rho'(\lambda)_n \left[1 + \frac{\tau'(\lambda)_n [1 - \rho'(\lambda)_n]}{1 - \rho'(\lambda)_n^2 * \tau'(\lambda)_n^2} \right] \quad (4.18)$$

где, $\rho'(\lambda)_n$ – коэффициент исключительно поверхностного отражения; $\tau'(\lambda)_n$ – коэффициент пропускания, уменьшенный вследствие пространственного отражения.

При высоких температурах на основании законов распределения излучения Планка и закона смещения Голицына-Вина можно считать, что изменение ρ_r на коротковолновом участке больше зависит от состояния поверхности [27, 51, 71, 81, 118]. При более низких температурах излучателя длина волны может приближаться к размеру шероховатости поверхности, а влияние состояния поверхности в меньшей степени сказывается на отражательной способности.

Исходя из положения электродинамики и связи электропроводности с теплопроводностью установлено, что коэффициент отражения уменьшается с увеличением длины волны.

Согласно данных [11, 31, 33, 47, 60, 140] белые пигменты на основании окислов металлов (кремний, торий, бериллий, магний, алюминий) имеют значительный коэффициент излучения $\varepsilon(\lambda)$ в ближней ИК области, до 5 мкм.

Цветные пигменты (окиси хрома, цезия) имеют больший коэффициент излучения $\varepsilon(\lambda)$ в ближней и средней части ИК диапазона по сравнению с белыми.

Особенно излучательная способность возрастает, когда высота выступов шероховатости превышает в несколько раз длину волны излучения, тогда суммарная относительная излучательная способность определяется формулой [29, 30, 33, 76, 119]:

$$\varepsilon_{T_{ш}} = \varepsilon_T [1 + 2,8(1 - \varepsilon_T)^2] \quad (4.19.)$$

где 2,8 – экспериментальный коэффициент.

Нами проведены исследования отражательной способности – спектральные характеристики наиболее применяемых строительных и конструкционных материалов применяемых в строительстве и эксплуатируемых при нормальных температурах: глина, динас, смесь из песка, глины и известняка, мелкая галька, оргстекло-полированное, дюралюминий покрытый лаком, дюралюминий матовый, нержавеющая сталь, дюралюминий гладкий (рис.4.11-4.19).

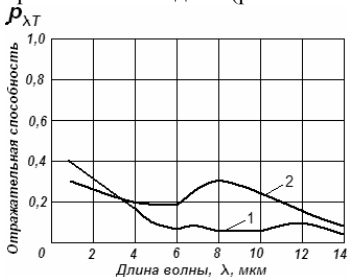


Рис. 4.11. Спектральная характеристика отражательной способности глины: 1 – глина; 2 – глина с кварцевым песком 1:1

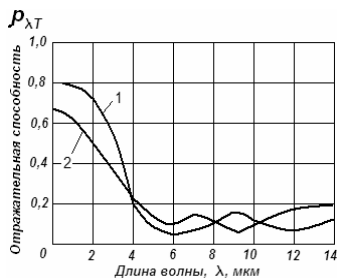


Рис. 4.12. Спектральная характеристика отражательной способности диасового кирпича: 1 – начальная стадия; 2 – после 6 месяцев

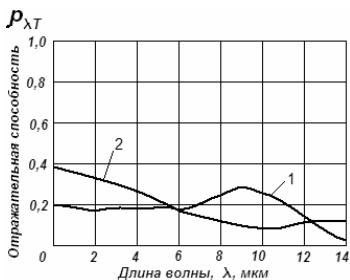


Рис. 4.13. Спектральная характеристика отражательной способности смеси (песка + глины + известняка): 1 – песок + глина + известь 3:1:1; 2 – песок + глина + известь 1:1:1

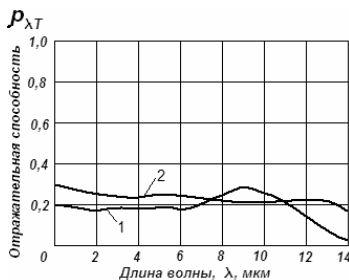


Рис. 4.14. Спектральная характеристика отражательной способности мелкой гальки: 1 – галька мелкая; 2 – цемент + песок + галька 1:2:3

Проведенный анализ отражательной способности наиболее распространенных материалов показал, что значительной отражательной способностью обладают поверхности металлов дюралюминия, нержавеющей стали. Значительная их отражательная способность обеспечена по всему спектру отражения от коротковолнового 1 мкм и менее до длинноволновых 10 мкм и более, что позволяет универсально их применять в качестве экранов в широком диапазоне ИК-излучения

На основе проведенных нами исследований спектральных характеристик наиболее применяемых материалов можно сделать следующий вывод: при использовании материалов с высокой отражающей способностью, они имеют провалы отражения в спектре, за счет старения, загрязнения и физико-химических свойств. Для выравнивания спектральной характеристики отражения были подобраны материалы, имеющие хорошие отражательные свойства для выравнивания «провалов» в применяемых материалах. При этом нами проведена: рис.4.11 – корректировка отражательной способности глины за счет глины + кварцевый песок 1:1; рис.4.13 – корректировка отражательной способности за счет смеси песка + глины + известняка соотношением 3:1:1 и соотношением 1:1:1; рис.4.14 – корректировка отражательной способности за счет смеси: цемент + песок + галька 1:2:3; рис.4.15 – корректировка отражательной способности за счет нанесения полупрозрачных пленок фольги; рис.4.18 – корректировка отражательной способности за счет нанесения на основу нержавеющей стали смеси цинковых белил и магнетит; на рис.4.12; 4.15; 4.16; 4.17; 4.19 – представлены значительные изменения отражательной способности материалов за счет эксплуатации в неблагоприятных горячих производствах спустя 6 месяцев после начала эксплуатации.

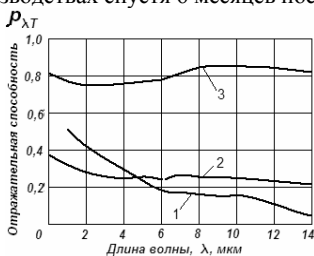


Рис. 4.15. Спектральная характеристика отражательной способности полированного оргстекла: 1 – начальная стадия; 2 – после 6 месяцев; 3 – оргстекло + пленка с полупрозрачной на подложке фольги

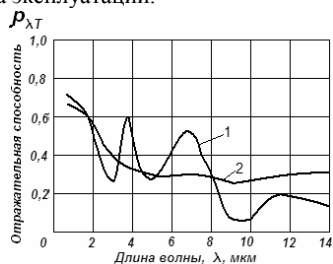


Рис. 4.16. Спектральная характеристика отражательной способности дюралюминия, покрытого лаком %
1 – начальная стадия; 2 – после 6 месяцев

На основании результатов замеров интенсивности избыточного излучения на рабочих местах горячих производств и соответствующих при этом температур нагрева поверхности можно разделить кривые распределения максимума длины волны излучения по закону Голицына-Вина в такой последовательности: рис.4.20. – 1-я кривая соответствует температуре 1300 °С (1573 К) с неявно выраженным максимум излучения λ_{\max} до 2 мкм; рис.4.21. – 2-я кривая соответствует температуре 750 °С (1023 К) с максимумом излучения в диапазоне $\lambda_{\max} \approx 2,9$ мкм-3,0 мкм; рис.4.22. – 3-я кривая соответствует температуре 500 °С (773 К) с максимумом излучения в диапазоне λ_{\max} 3,25-4,5 мкм; рис.4.23. – 4-я кривая соответствует температуре 100-200 °С (373-473 К) и имеет максимум излучения λ_{\max} 7,5-8,5 мкм.

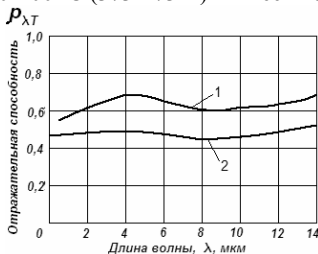


Рис. 4.17. Спектральная характеристика отражательной способности анодированного алюминия: 1 – начальная стадия; 2 – после 6 месяцев.

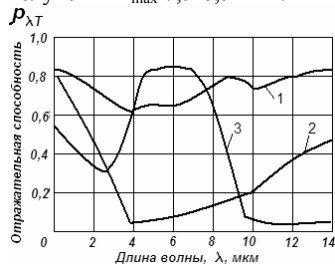


Рис. 4.18. Спектральная характеристика отражательной способности нержавеющей стали: 1 – нержавеющая сталь; 2 – нанесенные на нержавеющую сталь цинковые белила; 3 – нанесенный на нержавеющую сталь измельченный магnezит

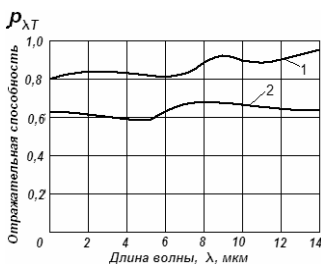


Рис. 4.19. Спектральная характеристика отражательной способности алюминия гладкого: 1 – начальная стадия; 2 – после 6 месяцев

Как показали проведенные нами исследования, максимум длины волны излучения может колебаться в довольно широком диапазоне в зависимости от состояния поверхности и прочих факторов при одинаковой температуре нагрева поверхности [65, 79, 120-122].

Спектральное распределение максимума излучения можно посчитать по закону Голицына-Вина, но, при этом, возникает необходимость измерять температуру поверхности излучающего тела, степень черноты и прочие параметры, что не безопасно для исследователя.

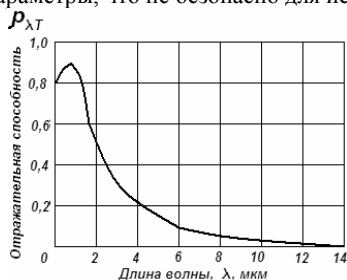


Рис. 4.20. Температура источника $T=1300^{\circ}\text{C}$.

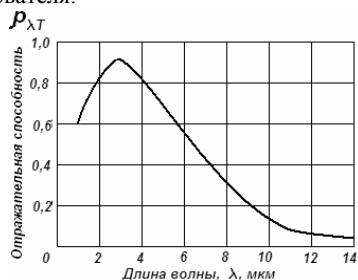


Рис. 4.21. Температура источника $T=750^{\circ}\text{C}$

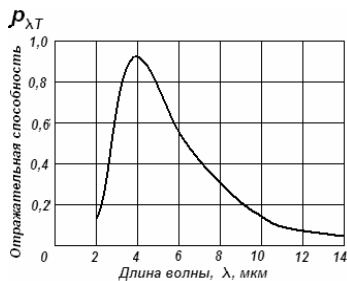


Рис. 4.22. Температура источника $T=500^{\circ}\text{C}$

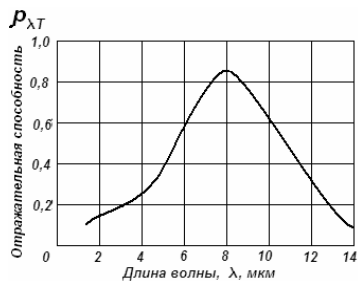


Рис. 4.23. Температура источника $T=100-200^{\circ}\text{C}$

Для исследования экспериментальным путем максимума длины волны излучения применялись в ближней части спектра (коротковолновой) оптические фильтры, в дальней – дисперсные фильтры, выпускаемые Минским оптическим институтом: светофильтр оптический СЗС-20 имеет полосу пропускания в диапазоне 0,75-1,5 μm ; светофильтр оптический ТС-3 имеет полосу пропускания в диапазоне 1,5-3,0 μm ; дисперсный светофильтр №1 имеет полосу пропускания в диапазоне 3,0-4,5 μm ; дисперсный светофильтр №2 имеет полосу пропускания в диапазоне 4,5-5,5 μm ; дисперсный светофильтр №6 имеет полосу пропускания в диапазоне

5,5-7,0 мкм; дисперсный светофильтр № 9 имеет полосу пропускания в диапазоне 7,0-8,5 мкм; дисперсный светофильтр № 16 имеет полосу пропускания в диапазоне 8,5-10,0 мкм.

Круговые диаграммы распределения тепловых полей на рабочих местах и в рабочем пространстве технологических агрегатов нами строились в интегральном диапазоне без учета спектральных характеристик для уменьшения информационной насыщенности диссертации.

Исследования показали, что в зависимости от состояния поверхности строительных конструкций в цехах существует либо зеркальное отражение, либо диффузное, а также смешанное диффузно-зеркальное. При этом отражение имеет ложный характер – картинка отражения не имеет идеальной формы Ламбертовского отражения. А в случае наличия поляризационных свойств отражающей поверхности действительная картинка отражения практически не может быть получена расчетным путем.

Таким образом, мы пришли к выводу о том, что определить истинную картину распределения и отражения ИК-излучения расчетным путем крайне сложно и, при этом, имеют значительную погрешность до 20-25%. В связи с этим, возникает вопрос о применении экспресс-метода определения фактической отражательной (теплозащитной) способности материалов используемых как для изготовления средств защиты, так и оценки уже существующих. Кроме этого, возникла необходимость исследования фактической объемной характеристики материалов с учетом поляризации.

4.3. Исследования отражательной способности материалов экспресс-методом.

При проведении исследования отражательной способности теплозащитных материалов необходимо исследуемую поверхность облучить ИК-излучением, а приемником принять и усилить отраженную ее часть. Для упрощения принимаем схему освещения ИК-излучением исследуемой поверхности по нормали. На рис.4.24. представлена функциональная схема исследования отражательной способности материалов.

Общий вид прибора для определения методом неразрушающего контроля отражательной способности материалов и покрытий представлен на рис.4.25. В качестве ИК-излучателя применяется инфракрасный светодиод, который работает в импульсном режиме при скважности 3 от источника питания.

Нами были приняты следующие входные данные: частота питания – 10 кГц, амплитуда входного прямоугольного импульса $U_{вх}=2,35$ В при прямом токе импульса $I_{пр}=100$ мА, номинальная мощность излучения 0,6 Вт при максимальной мощности излучения светодиода 1,5 мВт. Номинальная мощность 0,6 мВт выбрана для устойчивой работы прибора и стабильности его характеристик в течение рабочего дня.

При принятых данных ток ключевого каскада в импульсе при излучаемой мощности 0,6 мВт составит:

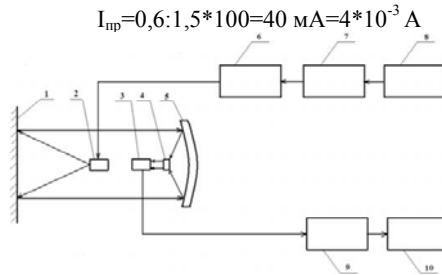


Рис. 4.24. Функциональная схема исследования отражательной способности теплозащитных материалов: 1 – исследуемая поверхность, 2 – излучатель ИК-излучения, 3 – приемник отраженной части излучения, 4 – фильтр, 5 – вогнутое собирающее зеркало, 6 – усилитель импульсов, 7 – генератор импульсов, 8 – источник питания, 9 – усилитель отраженного излучения, 10 – источник питания

Максимальная рассеивающая мощность в импульсе:

$$P_{им} = 40 * 10^{-3} * (2,35 + 1 * 0,04) = 0,96 \text{ мВт}$$

Номинал ограничивающего сопротивления:

$$R = I_{ип} - I_{пр} - I_{нас} / I_{пр} = (4,8 - 2,35 - 2) : 0,04 = 11,25 \text{ Ом}$$

Техническая характеристика: контролируемая поверхность – 225 см²; пределы измерения – 0-100 %; погрешность измерения 5-10 %; время замера 2-5 сек; напряжение питания – 6-12 В; потребляемая мощность, не более – 0,6 Вт; вес – 1,2 кг.

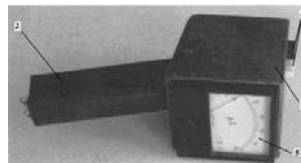
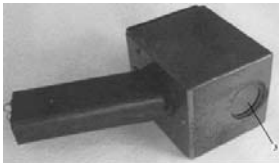


Рис.4.25. Прибор для определения энергосберегающих свойств строительных материалов: 1 – корпус; 2 – ручка прибора; 3 – приемник ИК-излучения; 4 – переключатель прибора на измерение; 5 – миллиамперметр.

Принимаем ближайшее стандартное значение сопротивления 12 Ом при этом, предельно допустимый прямой ток:

$$I_{пр,мак} = I_{ип} - I_{пр} - I_{нас} / R = (4,8 - 2,35 - 2) : 12 = 0,038 \text{ А} = 38 \text{ мА}$$

ИК-излучатель 2 (рис.4.24.) питается прямоугольными импульсами от генератора прямоугольных импульсов 7. Генератор 7 вырабатывает прямоугольные импульсы частотой 10 кГц со скважностью 3, которые поступают на усилитель тока 6.

На основании разработанной функциональной схемы задаемся требованиями к электрическим характеристикам отдельных элементов схемы. Их характеристики взяты на основании предварительно выполненных расчетов и проведенных испытаний, а также справочных величин.

Длина волны излучателя выбрана в пределах 0,78-1,2 мкм, а средняя мощность источника ИК-излучения – 0,6 мВт. Генератор прямоугольных импульсов должен обеспечивать питание излучателя напряжением 2,35 В, силой тока 34-45мА и частотой следования импульсов 10кГц.

Сигнал с фотодиода после предварительного усилителя составляет 10-20 мВ, а коэффициент усиления обеспечиваемый усилителем – 2000-3000, для полного отклонения стрелочного прибора.

Напряжение питания электронных схем принято равным 4,8 В на основании оптимального и устойчивого режима работы электронных схем. Стабилизатор напряжения должен обеспечивать выходное напряжение 4,8 В – при входном от 5 до 12 В.

На основании разработанных требований к электрическим характеристикам отдельных элементных блоков были подобраны типовые схемные решения и изготовлены необходимые схемы.

В отражательной системе применен неглубокий параболический отражатель, у которого плоский угол охвата $2\Phi_{\text{макс}}=160^\circ$.

Зеркало отражателя пластмассовое с отражающим лицевым зеркальным слоем из специального сорта алюминия, нанесенного испарением в вакууме. Слой алюминия достаточно стоек и не подвержен влиянию атмосферных условий.

Коэффициент отражения алюминия для спектрального диапазона $\lambda=0,78-1,2$ мкм составляет 90-93%.

Положительным качеством зеркальных объективов является возможность работы в широком спектральном диапазоне, а также отсутствие хроматической аберрации, т.е. они не вносят изменения, особенно для инфракрасных лучей, в спектральный состав отраженного ими потока.

Учитывая назначение приборов – измерение отражательной способности теплозащитных и других материалов, устанавливаем источник ИК-излучения – светодиод в фокальной плоскости фотометрической головки, а зеркало, рассеиватель и приемник излучения – фотодиод – в тыльной части [79, 123, 124].

На основе проведенных исследований нами было произведено обоснование о необходимости исследования фактических теплозащитных характеристик материалов с учетом оптического распределения объема отражательной способности, а также поляризационных свойств наносимых на них покрытий, красок и т.д. В результате исследований предложены новые средства измерения этих характеристик экспресс-методом неразрушающего контроля рис.4.25.

Предложенный экспресс-метод позволяет оперативно получать информацию отражательной способности материалов с учетом поляризации. Однако, как показали проведенные исследования данный метод позволяет получить результаты с высокой сходимостью только при падении излучения по нормали на исследуемую поверхность. Однако, как было нами установлено в зависимости от угла падения излучения на поверхность, состояние самой поверхности, поляризационной способности при отражении в целом меняются коэффициенты отражения, которые слабо учитываются данным измерительным устройством. Поэтому экспресс-метод нами дальше использовался только на начальной (предварительной) стадии исследования.

Поэтому возникла необходимость использования экспериментального стенда, который позволяет устранить указанные недостатки.

В дальнейшем в результате исследований нами был использован стенд Днепродзержинского технического университета [60, 62], функциональная схема которого приведена на рис.4.26.

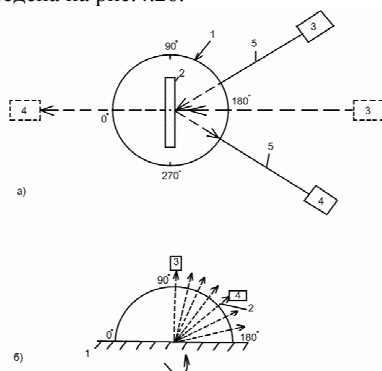


Рис. 4.26. Функциональная схема методики исследований на экспериментальной установке: 1 – поворотная рама, 2 – поворотная рамка с образцом, 3 – ИК-излучатель, 4 – ИК-приемник, 5 – направляющие

Установка состоит из круглой рамки обоймы 2, в которую вставляются диски с нанесенными на них исследуемыми материалами (краски, покрытия). Обойма с дисками имеет возможность вращения в взаимно-перпендикулярных направлениях, как вокруг вертикальной оси так и вокруг горизонтальной. Оптическая схема приемника 3 и излучателя 2 разделены в самостоятельные блоки, которые независимо могут перемещаться по направляющим 5, которые в свою очередь могут перемещаться по дуге на 360° . Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис.4.27.

При этом, нами при работе на стенде было проведено усовершенствование приемника ИК-излучения (рис.4.27).

С целью изменения работы генератора импульсов, он синхронизируется цепью со всеми блоками приемника ИК-излучения. Кроме того, для расширения возможностей предусмотрено менять в ИК-излучателе фильтры с различными спектральными характеристиками. На диски-основу наносятся различные составы, которые исследуются.

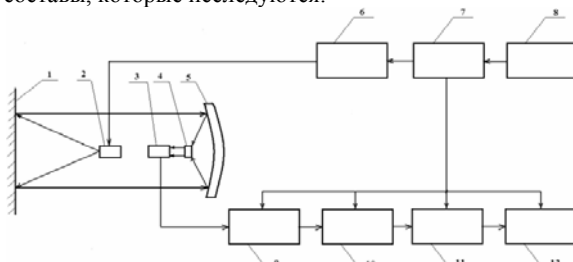


Рис. 4.27. Принципиальная схема измерительной части для исследования отражательной способности материалов при работе на стенде: 1 - исследуемая поверхность, 2 - излучатель ИК диапазона, 3 – приемник ИК-излучения, 4 - конденсоры (фильтр), 5 - зеркальная оптическая система, 6 – усилитель мощности питания ИК-излучателя, 7 – генератор импульсов, 8 – источник питания, 9 – усилитель сигнала с ИК-приемника, 10 – предварительный усилитель, 11 – регистрирующий вторичный прибор, 12 -источник питания

4.4. Методика исследования эффективности защитных материалов от воздействия ИК-излучения.

В результате исследования отражающей и проникающей способности, спектральных характеристик теплового избыточного излучения мы можем определиться с местом и видом защиты оператора, а также методов локализации источников избыточного излучения от технологического оборудования. Это могут быть стационарные, передвижные теплозащитные экраны, кабины, краски, покрытия, полимерные материалы с применением металлизированных пленок.

Методика подбора состава теплозащитных материалов и покрытий заключается в согласовании спектров излучения от источника теплового излучения и спектров поглощения (отражения) в зависимости от цели теплозащиты. Однако спектр источников излучения чаще всего бывает общим и имеет четко выраженный максимум энергии излучения в каком-нибудь спектральном диапазоне. Этот максимум в зависимости от температуры источника излучения по закону Вина может смещаться или в коротковолновую, или в длинноволновую часть спектра. В отличие от источников излучения, спектры поглощения и отражения теплозащитных материалов и покрытий имеют очень сложную и прерывистую форму в виде провалов и максимумов. Поэтому разработана специальная методика подбора

оптимального согласования защитных средств от избыточного теплового излучения [123-125, 138, 139]. На спектральную кривую излучательной способности источника излучения накладывается спектр поглощения (отражения) теплозащитных материалов (рис.4.11.-4.19.). Путем подбора компонентов композитного состава добиваются полного перекрытия спектра излучателя, для этого может быть использовано несколько компонентов композитного состава. Второй этап заключается в подборе процентного содержания составляющих компонентов теплозащитного состава в зависимости от общей энергии источника излучения.

Кроме того, некоторые теплозащитные материалы могут поляризовать падающее излучение и имеют искаженное объемно-пространственное отражение, отличающееся от Ламбертовского распределения. Из нейтрального материала изготавливаются плоские диски, на которые наносятся исследуемые или существующие теплозащитные составы. При изменении углов падения и отражения, вращающегося диска с рамкой мы получаем полную объемную пространственную картину отражающей способности теплозащитных материалов в ИК-диапазоне (стенд рис.4.27).

Стенд имеет возможность установки шаговых электроприводов для вращения рамки с образцами в взаимноперпендикулярных осях вращения и передвижения источника и приемника по направляющим.

4.5. Исследование эффективности защитных материалов от ИК-излучения.

Прежде всего, определимся с материалами, которые могут использоваться для создания новых эффективных теплозащитных покрытий. За основу берем легкодоступные, желательного бросовые материалы, отходы производства и возьмем их стандартные характеристики отражательной способности [79, 123, 126].

На рис.4.28.-4.41. представлены спектры отражения различных наиболее распространенных материалов, которые могут быть использованы в качестве защитных материалов от ИК-излучения: алюминия, никеля, железа, меди, кварца, окиси магния, двуокиси титана, окиси цинка, цинковых белил, гипса, магнезита, силикатных изделий, керамической плитки.

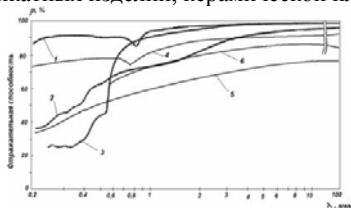


Рис. 4.28. Спектры отражения от гладких поверхностей некоторых металлов в зависимости от длины волны: а) начальный этап:

1 – алюминий; 2 – никель; 3 – медь. б) после эксплуатации в течение одного года: 4 – алюминий; 5 – никель; 6 – медь

Проведенные исследования показали, что отражающая способность экранирующих материалов как металлических, так и минеральных претерпевает значительные изменения во времени. При этом, отмечено снижение отражательной способности от 10 до 35% в зависимости от степени окисления и загрязнения поверхности.

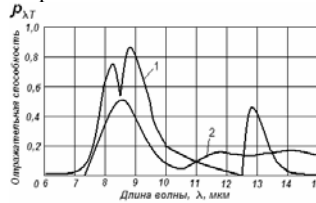


Рис. 4.29. Спектр отражения кварца кристаллического: 1 – кварц кристаллический; 2 – кварцевая подложка, $\delta=2\text{мм}$

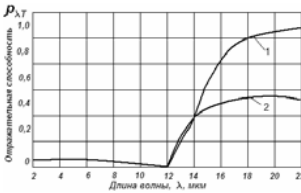


Рис. 4.30. Спектр отражения окиси магния: 1 – окись магния начальная стадия; 2 – окись магния после 1 года эксплуатации

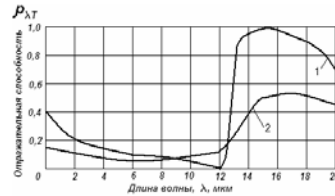


Рис. 4.31. Спектр отражения двуокиси титана: 1 – двуокись титана начальная стадия; 2 – двуокись титана после 1 года эксплуатации)

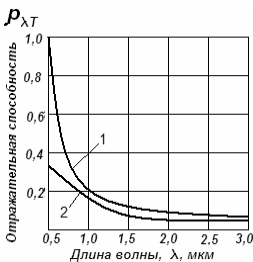


Рис. 4.32. Спектр отражения окиси бария: 1 – окись бария начальная стадия; 2 – окись бария после 1 года эксплуатации

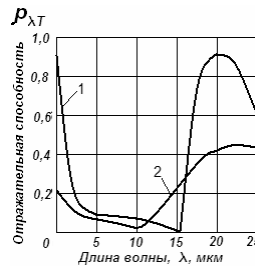


Рис. 4.33. Спектр отражения окиси цинка: 1 – окись цинка начальная стадия; 2 – окись цинка после 1 года эксплуатации

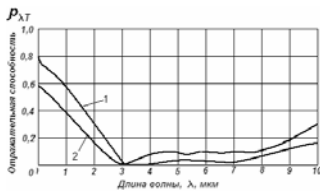


Рис. 4.34. Спектр отражения цинковых белил: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации.

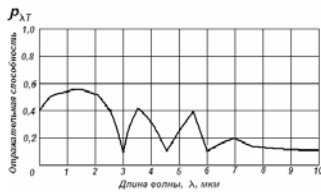


Рис. 4.35. Спектр отражения гипсовых плиток: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации

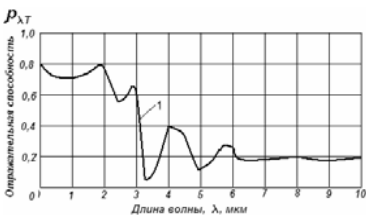


Рис. 4.36. Спектр отражения гипса: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации

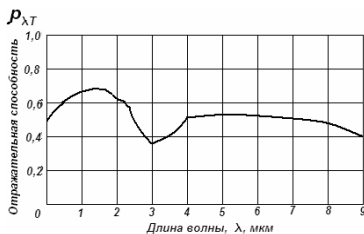


Рис. 4.37. Спектр отражения извести

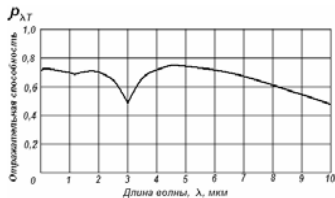


Рис. 3.38. Спектр отражения кирпича силикатного

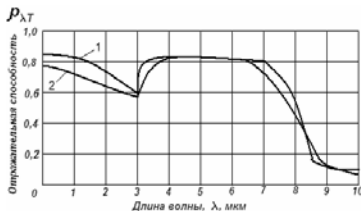


Рис. 3.39. Спектр отражения магнезита измельченного: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации

Согласно анализа источников избыточного излучения на предприятиях горячих цехов (рис.4.20-4.23) установлено, что температура источников колеблется от 100 °С до 1300 °С, при этом, максимум излучения составляет от 2 до 8 мкм. Исследования показали, что скомпоновать предварительным

подбором можно наиболее подходящие материалы «закрывающие» эти максимумы. К материалам, которые обладают значительной отражательной способностью относятся алюминий и его сплавы, в том числе напыленные подложки с различными видами покрытий с максимумом отражения в диапазоне 0,4-8 мкм (коэффициент отражения до 90%); нержавеющая сталь в диапазоне 4-10 мкм (коэффициент отражения до 70-75%); кристаллический кварц (рис.4.30) с максимумом отражения 8-9,5мкм; окись бария (рис.4.33) - максимум 0,4-0,9 мкм; цинковые белила (рис.4.35) с 2-мя максимумом 0,4-3,11 и 4-9,5 мкм; строительный гипс (рис.4.37) с максимумом 0,5-3 мкм; известь (рис.4.38) с максимумом 0,5-2,5 и 3-9 мкм; силикатный кирпич (рис.4.39) имеет почти аналогичный спектр отражения, т.к. в состав входит известь и кварцевый песок измельченный с максимумами 0,3-3 мкм и 3-8 мкм; магнезита измельченного (рис.4.40) максимумами 0,3-2,5 мкм и 3,5-7,0 мкм [79, 123-127].

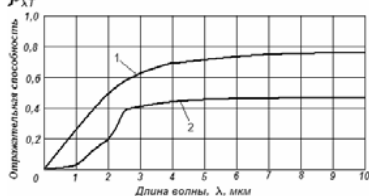


Рис. 4.40. Спектр отражения железа полированного: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации

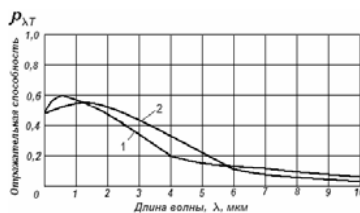


Рис. 4.41. Спектр отражения керамической плитки: 1 – начальная стадия эксплуатации; 2 – через 1 год эксплуатации

Такие материалы как глина, смесь из песка, глины и известняка имеют более равномерный коэффициент отражения ~ 20% по всему спектру от 0,76 мкм до 10 мкм с снижением отражения в диапазоне 0,3-2 мкм.

Проведенные нами исследования спектральных характеристик наиболее широко применяемых материалов (отражающей, поглощающей способности) позволяют при разработке новых защитных средств от ИК-излучения предусмотреть многофункциональное их назначение. для этого необходимо предусмотреть с учетом спектра источников ИК-излучения: на первом этапе подавление ИК-излучения в источнике и на пути его распространения; на втором этапе на пути распространения с учетом эффективности применяемых средств защиты, применения многослойного защитного покрытия (с высокой отражательной способностью максимум до 60-75%, а в дальнейшем снижение ИК-излучение на пути его прохождения через материалы).

Предложен следующий подход при применении многослойного защитного покрытия от ИК-излучения: I вариант заключался в послойном нанесении слоев теплозащитной композиции в произвольном порядке (с высокой теплозащитной эффективностью); II вариант заключался в

нанесении нескольких слоев композитных материалов со смещением максимумов отражения от длинноволновой к коротковолновой части; III вариант – нанесение слоев композитных материалов со смещением максимумов отражения от коротковолновой к длинноволновой части; IV вариант - при больших тепловых потоках, более 4 кВт/м^2 в качестве подложки необходимо применять алюминиевую фольгу толщиной 0,2 до 0,5мм или полированную нержавеющую сталь (при отражении до 90%); V вариант - на основание (стена, экран, строительные конструкции) наносится вспучивающееся покрытие, которое предварительно под действием импульсного теплового излучения вспенивается с увеличением слоя в 100 и более раз за счет высокой поризации, что ведет к увеличению термического сопротивления и изоляции защищаемого объекта.

При этом, отражательная характеристика вспенивающегося слоя может быть приближена к варианту III.

Путем анализа спектральных характеристик материалов приведенных на рис.4.11-4.19; 4.29-4.41 была подобрана композиция, которая позволила бы иметь практически ровную отражательную характеристику в диапазоне от 1 до 10 мкм. Композиция состояла из следующих материалов: кристаллический кварц, окись бария, окись титана, окись магния, штукатурный гипс, измельченный магнезит.

В начальной стадии соотношение всех материалов было принято 1:1:1:1:1. Гипс помимо своих спектральных характеристик обладают свойством связующего вещества.

Предложенные компоненты тщательно измельчались, перемешивались и наносились на основу и исследовались их оптические характеристики в ИК-диапазоне на установке. Полученные результаты представлены на рис.4.42 в виде кривой 1. Коэффициент отражения в диапазоне 1-8 мкм от 55% приближения к 60%. Это был первый вариант смеси. Однако каждый элемент композиции помимо отражения часть излучения пропускает. Поэтому появилось необходимость изучить послойное нанесение слоев из чистых компонентов по аналогии с цветной фотопленки. Все слои были нанесены послойно. В качестве связующего использовалось жидкое стекло. Результаты оказались почти на 15% выше 1-го варианта – кривая 2: в диапазоне 8-10 мкм наблюдался спад отражательной характеристики. Но этот участок соответствует низким температурам малой интенсивности.

При этом не учитывался порядок нанесения слоев из различных материалов.

Нами было предложено наносить слои не произвольно, а в порядке возрастания отражательной способности в область коротковолнового излучения: 1 – окись бария, 2 – измельченный магнезит; 3 – штукатурный гипс; 4 – окись титана; 5 – окись магния; 6 – кристаллический кварц. Результаты исследования отражательной способности приведены на рис.4.43 кривая 3. При этом, эффективность отражения ИК-излучения увеличилась до 80%.

Опыты были продолжены. Теперь слои располагались в обратном порядке: - кристаллический кварц, окись магния: окись титана, штукатурный гипс, измельченный магnezит, окись бария. Результаты IV варианта составили интерес представить на кривой 4. При этом, отражательная способность увеличилась в диапазоне волн 6-10мкм, а в коротковолновой и средней области от 6 до 0,4мкм уменьшилась до 65%.

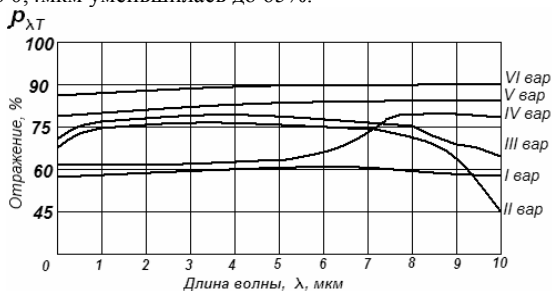


Рис. 4.42. Спектры отражения исследуемых образцов

В следующем варианте нами использован вариант послойного нанесения слоев третьего варианта, но в каждый компонент добавлялась алюминиевый пудра до 10 % от объема каждого компонента. При этом, отражательная способность возросла до 85-90 % и стала более равномерной приближаясь к прямой (кривая 5).

При больших тепловых потоках более 4 кВт/м². нами на основу теплозащитного экрана предложено наклеивать алюминиевую фольгу, а на нее наносить слои по варианту 5. При этом мы получили наилучший вариант 6, а отражающая способность приблизилась почти до 90 %. При высоких температурах и значительных тепловых потоках необходимо на основании защитного экрана наносить покрытие с высокой теплоизолирующей способностью, что позволяет значительно понизить температуру нагрева и выполнить требования санитарных норм

Так, нами проводились испытания эффективности комбинированного экрана с теплозащитным покрытием на лабораторном щите с источником теплового излучения с T=1300 °C и мощностью излучения 4 кВт/м² (комбинированный экран выполнен из алюминиевой фольги с минеральной ватой различной толщины – ДСТУ Б.В. 2.7-56-2010).

На рис.4.43 приведена зависимость изменения температуры на обратной стороне комбинированного экрана в зависимости от толщины теплозащитного покрытия.

Согласно проведенного расчета предложенный экран имеет суммарную отражательную и теплоизолирующую способность:

$$\mu = \frac{T}{T_{\text{экp}}} = \frac{1300 - 273}{303 - 273} \approx 43 \text{ раза}$$

где: T – температура источника излучения, К; $T_{\text{ЭКР}}$ – температура обратной стороны экрана, К.

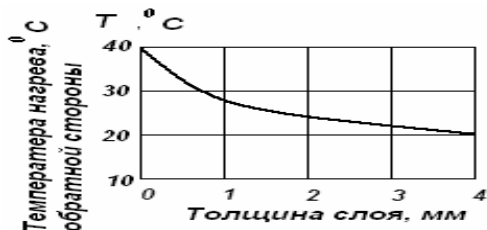


Рис. 4.43. Температура обратной стороны образца в зависимости от толщины теплозащитного слоя

Проведенные исследования применяемых материалов для теплозащиты показали, что эффективность состава зависит от входящих компонентов. Поэтому можно заранее спрогнозировать в зависимости от интенсивности ИК-излучения, длины волны максимума излучения, подобрать компоненты теплозащитных материалов и покрытий. Подбор компонентов заключается в согласовании спектров излучения от источника теплового излучения и спектров поглощения (отражения) в зависимости от цели теплозащиты. При нахождении в рабочей зоне оборудования, имеющего защитно-декоративное покрытие больших площадей из чистых металлов, гладкой полированной поверхности, отражающую способность принимаем по графикам полученным ранее.

РАЗДЕЛ 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

5.1. Исследования условий труда на предприятии изготовления режущих строительных инструментов им. Войкова, г. Запорожье.

Завод по изготовлению режущих инструментов, используемых в строительстве при монтаже, демонтаже и сборке строительных конструкций находится в г. Запорожье. Характеризуется высокой насыщенностью технологического оборудования, обладающего высоким энергопотреблением. особенностью изготовления инструмента, применяемого в строительстве является высокая твердость и стойкость к абразивности обрабатываемого материала – бетон, кирпич, камень, плитка керамическая и пр. при этом для перфораторов используются – зубила, коронки для сверления отверстий для розеток, выключателей. Диски для вырезания штробы, твердосплавные сверла, фрезы. Для обработки металлических закладных также используются, фрезы, сверла, полотна, режущие диски.

Применяемый инструмент использует твердосплавные напайки типа ВК8 и Т15К8 и процессы закалки режущих кромок. Операции изготовления, обработки и доводки инструмента характеризуются использованием высокотемпературных источников излучения. Это обстоятельство требует оценивать условия труда не только по интегральной величине теплового излучения, но и учитывать спектр, в частности коротковолновую часть спектра излучения. Коротковолновое излучение до 2,5 мкм имеет более проникающую способность в биологический объект и другие допустимые уровни облучения. В основном производственный цикл изготовления строительного инструмента сосредоточен в цехе № 11 (механической и термической обработки).

Поэтому нами среди рабочих мест в цехах предприятия выбраны наиболее высокотемпературные операции, а также «скрытые» вторичные источники избыточного теплового излучения. Нами проведены исследования пространственного распределения избыточного излучения на рабочих местах изготовления строительного инструмента в цехе механической и термической обработки.

Это отделение предприятия характеризуется рабочими местами, где избыточное тепловое излучение превышает норму. Участок механической и термической обработки находится на первом этаже главного корпуса, характеризуется оборудованием для изготовления строительного инструмента (коронки для отверстий в бетоне, зубила для пневмоинструмента, фрезы для изготовления штроб в бетонных стенах, резки арматуры и др. стройматериалов).

После ряда выполненных предварительных технологических операций, готовые изделия оснащаются твердосплавными напайками, требующих дальнейшей термической обработки деталей. Процессы напайки,

термообработки сопровождаются избыточным тепловыделением. Для этого в цехе имеется три установки токов высокой частоты (ТВЧ) для нагрева заготовок инструмента и режущих пластин из твердосплавных материалов и быстрорежущих сталей.

В результате инвентаризации выявлены источники высокотемпературного излучения и рабочие места, подверженные их негативному влиянию [7, 33, 57, 66, 71, 128-132]. Исследования термодинамической напряженности на рабочих местах производилось как известными методами и приборами, так и предложенными нами.

Исследования условий труда по показателю микроклимата производилось согласно ДСН 3.36.042-99 «санитарные нормы микроклимата производственных помещений» и «гигиенической классификации по показателям вредности и опасности производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса», утвержденной министерством охраны здоровья от 27 декабря 2001, №528 [128-130]. Измерение показателей микроклимата производилось с целью контроля их соответствия гигиеническим требованиям в наиболее теплое время года (май – сентябрь месяцы) в дни с температурой внешнего воздуха, что отличается от средней максимальной температуры наиболее жаркого месяца не более чем на 5°C . Измерения показателей микроклимата проводили не менее чем три раза за смену (в начале, в середине и в конце смены). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими причинами проводились дополнительные измерения с учетом максимальных и минимальных термических влияний на работающих.

Анализ обращений работников – операторов с заболеваемостью в области грудной клетки и поясничной части тела при работе на установках ТВЧ предопределил необходимость проведения оценки облученности на данных рабочих местах с использованием новых методических подходов.

С учетом, что работы на данном предприятии выполнялись в положении сидя, температуру и скорость движения воздуха и влажность измеряли на высоте 1,0 м от пола рабочего места.

При определении тепловой облученности существующими методиками на расстоянии 1 м на операции укладки пластин на заготовки при наличии части нагретых изделий получено значение тепловыделения – 216 Вт/м^2 (рис.5.1).



Рис. 5.1. Воздействие высоких температур на рабочее место оператора от установки ТВЧ (источник 11) при технологической операции – пайке

Распределение тепловых полей в рабочей зоне представлено на рис.5.2. температура нагрева изделий в рабочей зоне установки ТВЧ достигает 1000-1300 °С. оператор, (обычно женщина), укладывает пластины на заготовки и подает в высокочастотную зону работы индуктора. после расплавления припоя, в основном это медь, либо латунь с $t_{пл.} > 900$ °С, по желобу отправляют готовые изделия в приемный бункер, где они остывают. согласно предложенной нами методики установлено, что оператор при выполнении операции нагрева и пайке набора заготовок получает облученность до 560 Вт/м² на уровне груди находясь в сидячем положении рис. 5.1. распределение тепловых полей в рабочей зоне по нашей методике представлено на рис. 5.3.

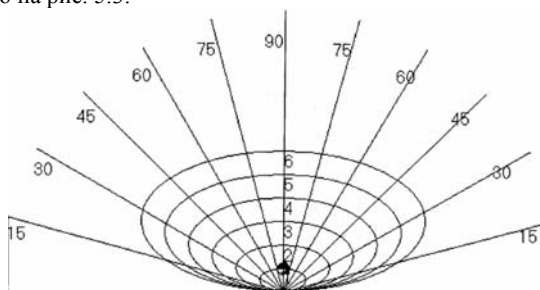


Рис. 5.2 Интенсивность излучения на рабочем месте оператора от источника 11 по известным методикам:

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; цех: участок ножей; Инв. номер источника: 11; Размер источника, м: 0,1; Техническая характеристика источника: Установка ТВЧ; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 216; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: укладка пластин; Максимальное расстояние, м: 6.

L, м	1	2	3	4	5	6
E, Вт/м ²	216	59	27	16	10	7

При использовании нашей новой методики исследования тепловых источников мы обнаружили вторичные источники теплового излучения, такие как движущаяся заготовка по желобу, которые воздействуют на грудную клетку и поясничную часть тела оператора с интенсивностью 560 Вт/м². Второй «невный» источник теплового излучения выявился по новой методике обследования от корзины с остывающими деталями, общий вес которой составлял около 200кг нагретого металла и этот источник теплового излучения воздействует на тело оператора со стороны спины с большей интенсивностью теплового излучения, чем установка ТВЧ при операции нагрева заготовки (источник 11а). Таким образом, детальное обследование условий труда на рабочем месте оператора при пайке деталей

позволило выявить, что оператор на рабочем месте подвергается одновременно высокоинтенсивному тепловому воздействию от двух источников: установка ТВЧ и корзина с остывающими деталями (рис.5.4.) - с длинноволновым излучением.

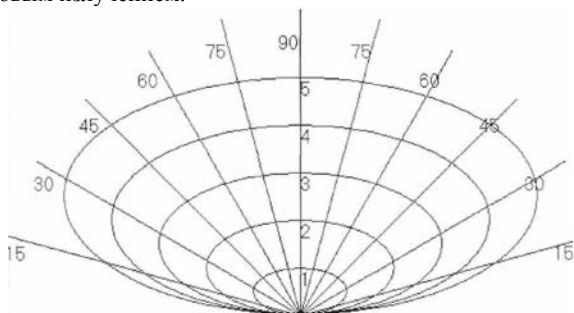


Рис. 5.3 Интенсивность излучения на рабочем месте оператора от источника 11 по разработанной методике:

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок ножей; Инв. номер источника: 11; Размер источника, м: 0,1; Тех. хар. источника: Установка ТВЧ; расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 560; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: детали в желобе и корзине готовых изделий; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м ²	560	153	71	41	26

Анализ проведенных исследований показал, что интенсивность облучения установки ТВЧ (источник 11) на расстоянии 1 м составляет 560 Вт/м² и по мере удаления от источника резко снижается (рис.5.6): на расстоянии 2 м составляет 153 Вт/м²; 3 м – 71 Вт/м²; 4 м – 41 Вт/м²; 5 м – 26 Вт/м².



Рис. 5.4 Влияние высоких температур на рабочее место оператора от двух источников (источники 11 и 11а)

Распределение тепловых полей в рабочей зоне оператора при работе на установке ТВЧ (источник 11а) представлено на рис.5.5.

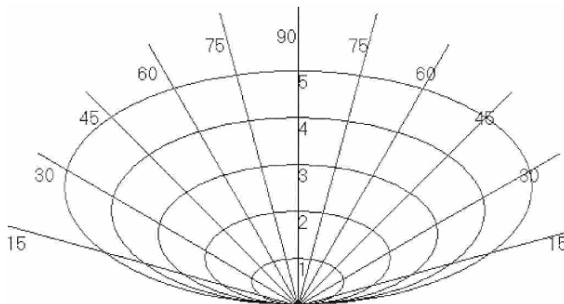


Рис. 5.5 Облученность рабочего места оператора от источника 11а (корзина с остывающими деталями):

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок ножей; Инв. номер источника: 11а; Размер источника, м: 0,1; Тех. хар. источника: Установка ТВЧ; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 800; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: детали в желобе и корзине готовых изделий; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м ²	800	218	101	58	38

Появление второго источника теплового излучения (источник 11а – корзина с готовыми нагретыми в твч деталями) по мере их накоплений создает дополнительное облучение и распределяется следующим образом: на расстоянии 1 м – 800 Вт/м²; 2м – 218 Вт/м²; 3м – 101 Вт/м²; 4м – 58 Вт/м²; 5м – 38 Вт/м²(рис.5.7).

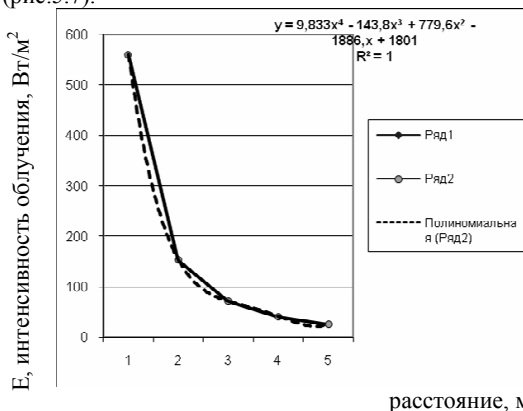


Рис. 5.6. Изменение интенсивности облучения от источника 11

После математической обработки полученных данных были получены зависимости, а величина достоверности аппроксимации $r^2=1$. зависимости позволяют прогнозировать интенсивность облучения рабочих мест. таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что в рабочей зоне (радиус до 2м) рабочие подвергаются влиянию воздействия двух тепловых источников с интенсивностью облучения от 153 до 800 Вт/м².

При этом, от открытых источников излучения интенсивному облучению подвергается более 25% поверхности тела работающих, что превышает допустимую интегральную норму 140 Вт/м² [128, 129]. установлено, что на указанном рабочем месте при выполнении работ средней тяжести – категория II-а выполняются работы связанные с хождением, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и работы средней тяжести II-б связанные с хождением, стоя, перемещением небольших грузов (до 10 кг). Температура на постоянных рабочих местах превышает верхнюю границу допустимых значений и составляет в теплый период года от 29 до 32 °С (норма допустимая 27 °С) при скорости воздушного потока 0,2-0,5 м/с и влажности 65-70 %.

Выявлено, что влажность на указанном рабочем месте составляет 40-55% при скорости воздушного потока 0,2-0,3 м/с.

До 2/3 рабочего времени на данном участке рабочие подвергаются интенсивному тепловому облучению более 350 Вт/м² (облучение до 25% поверхности тела).

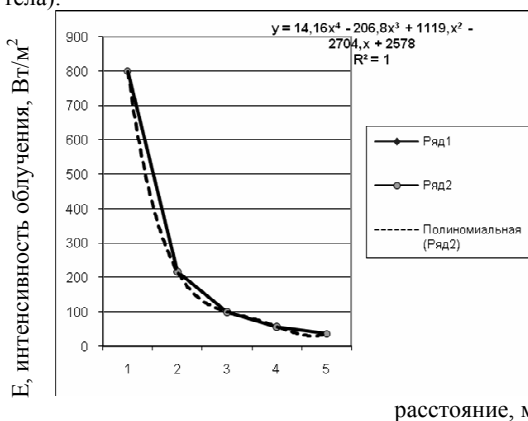


Рис. 5.7. Изменение интенсивности облучения от источника IIа

Согласно закона излучения Кирхгофа: $\xi(\lambda, T) = \alpha(\alpha, T)$ излучаемая способность ξ любого нагретого тела равна его коэффициенту поглощения α при заданной температуре и длине волны. Мощность излучения черного тела согласно закона планка является функцией температуры t и длины волны λ . с

увеличением температуры нагретого тела одновременно возрастает интенсивность излучения с одновременным уменьшением длины волны в спектре ИК-излучения.

При этом, исходя из температуры в зоне пайки в установке ТВЧ достигающей 1200-1300⁰с следует учитывать, что со стороны ТВЧ рабочие в области грудной клетки подвергаются, в основном, облучению коротковолновой части спектра ближнее и среднее ИК-излучения, с максимумом 1,4-2,5 мкм, которые проникают в ткани человека на глубину в несколько сантиметров. Воздействуя на мозговую ткань, коротковолновое излучение вызывает «солнечный удар». Человек его ощущает через постоянную головную боль, головокружение, учащение пульса и дыхания, потемнение в глазах, нарушение координации движений, возможна потеря сознания [3, 21, 51, 128, 131-135], а также рефлекторному воздействию с непредсказуемыми последствиями.

При интенсивном облучении в области головы происходит отек оболочек и тканей мозга, появляются симптомы менингита и энцефалита, проявляется сонливость и усталость. При коротковолновом облучении изменяется температура легких, головного мозга, почек и других внутренних органов человека [12, 13, 18, 78, 136].

В тоже время, воздействие вторичных источников теплового воздействия на операторов со стороны спины с температурой до 500-600⁰с сопровождается длинноволновым спектром (далее) ИК-с максимумом 5-7 мкм. Ик-излучение длинноволнового диапазона задерживается в поверхностных слоях кожи человека, однако, вызывают повышение температуры тела, что может привести за счет превращения лучистой энергии в тепловую и к перегреву организма [18, 80, 123, 137].

Установлено, что при воздействии на глаза наибольшую опасность представляет коротковолновое излучение. Возможные последствия воздействия инфракрасного излучения на глаза – проявление инфракрасной катаракты [3, 13, 24, 126].

Проведенные нами исследования облученности рабочего места оператора от установки ТВЧ (источник 12) подтвердили аналогичность неблагоприятного воздействия на оператора одновременно двух источников облучения, которые ранее не учитывались. Технологическая установка ТВЧ № 12 отличается лишь большей величиной размера и массы напаяк и заготовок.

Расположение и расстояние от источника облучения № 12 на данном рабочем месте идентично расположению рабочего места оператора от источника № 11. В результате проведенных исследований установлено, что облученность от установки ТВЧ на рабочем месте оператора составляет 550 Вт/м², и от вторичного источника (корзина с остывающими деталями) она значительно выше и составляет 800 Вт/м² (источник 12а). Распределение тепловых полей в рабочей зоне оператора при работе на установке ТВЧ

(источник 12) и от вторичного источника – 12а представлено на рис.4.8.

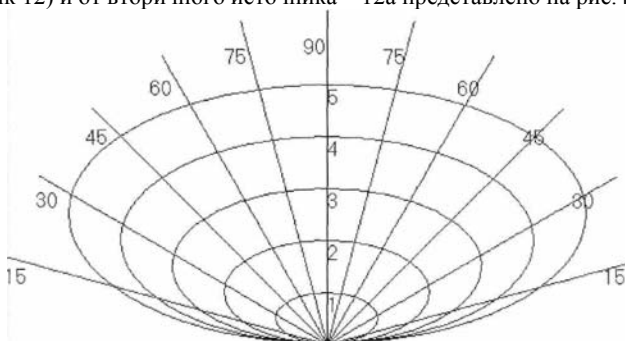


Рис. 5.8 Облученность рабочего места оператора от источника 12 (установка ТВЧ)

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок ножей; Инв. номер источника: 12; Размер источника, м: 0,1; Тех. хар. источника: установка ТВЧ; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 550; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Пайка пакета пластин; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м ²	550	150	69	40	26

По мере удаления от источника излучения 12 интенсивность излучения понижается и составляет: на расстоянии 1м – 550 Вт/м²; 2м – 150Вт/м²; 3м – 69Вт/м²; 4м – 40 Вт/м²; 5м – 26 Вт/м² (рис.5.11).



Рис. 5.9. Облученность рабочего места оператора от двух источников (источники 12 и 12а)

После обработки полученных данных была получена зависимость, которая описывает изменение интенсивности излучения в зависимости от размещения источников.

Установлено, что интенсивность излучения от источника 12а распределяется следующим образом: на расстоянии 1 м – 800 Вт/м²; 2м – 239 Вт/м²; 3м – 116 Вт/м²; 4м – 68 – Вт/м²; 5м – 45 Вт/м² (рис.4.12).

После обработки полученных данных была получена зависимость, которая хорошо описывает процесс изменения интенсивности излучения в зависимости от нахождения рабочих мест.

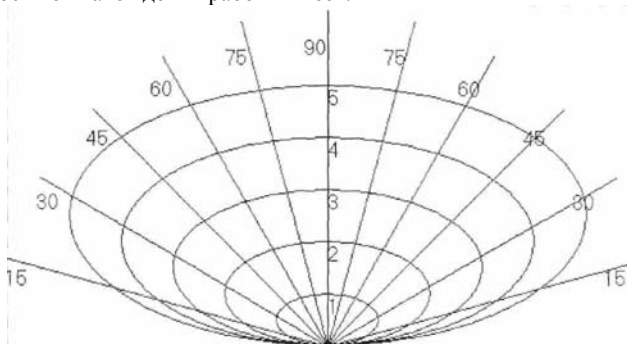


Рис. 5.10. Облученность рабочего места оператора от источника 12а (корзина с остывающими деталями):

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок ножей; Инв. номер источника: 12а; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Установка ТВЧ; расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 800; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: детали в желобе и корзине готовых изделий; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м ²	800	239	116	68	45

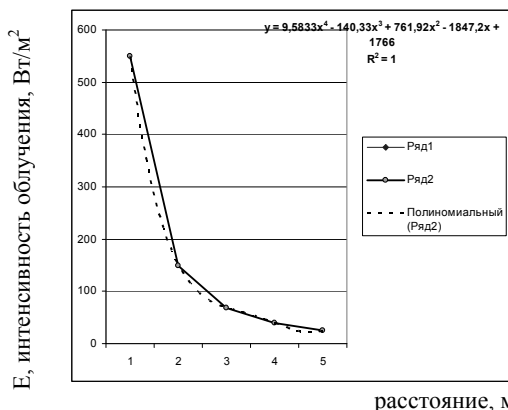


Рис. 5.11. Изменение интенсивности излучения от источника 12

Проведенные исследования интенсивности излучения от источников 12 и 12а позволили установить, что интенсивность излучения в рабочей зоне в радиусе 2 м превышает при наличии открытых источников излучения допустимую интенсивность облучения 140 Вт/м^2 при допустимой площади облучения тела до 25 %.

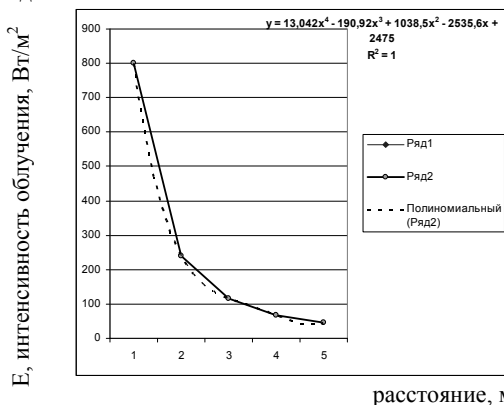


Рис. 5.12. Изменение интенсивности излучения от источника 12а

Проведенные исследования параметров микроклимата в рабочей зоне влияния источников излучения №12 и 12а в теплый период года показали, что влажность составляет 45-55 %, скорость воздушного потока не превышает $0,2 \text{ м/с}$, температура составляет $30-32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, микроклимат на данном рабочем месте с учетом комплексной оценки влияния на работающих не отвечает требованиям гигиены труда [129, 130]. Опасность воздействия на данное рабочее место заключается в том, что рабочие в течение $2/3$ рабочего времени подвергаются воздействию коротковолнового облучения со стороны груди с максимумом длины волны $1,4-2,5 \text{ мкм}$ (при температуре источника 12 до $1300 \text{ }^\circ\text{C}$) и со стороны спины оператора в зависимости от изменения температуры источника излучения (12а) от 500 до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ среднее инфракрасное излучение $1,9-3,7 \text{ мкм}$ и длинно инфракрасное излучение $5,6-7,0 \text{ мкм}$ [3, 13, 22, 29, 51, 54]. Одновременное воздействие коротковолнового и длинноволнового ИК-излучения отрицательно влияет на работоспособность и здоровье работающих, является причиной целого ряда заболеваний.

Следует также учитывать, что расположение оператора относительно индуктора постоянно, меняются лишь размеры обрабатываемых деталей, масса и количество готовых изделий в корзине. Также при пайке пакета пластин с заготовками в количестве 4-6 шт., увеличивается интенсивность облучения при самом процессе пайки, а также вторичное излучением от корзины с остывающими заготовками.

При обследовании инвентарного источника №43 (установка ТВЧ), где используются токи высокой частоты для технологической операции – припайки хвостовика фрез, при припайке хвостовика фрез облученность оператора достигала 150 Вт/м^2 (рис.5.13), а затем производится закалка в ванне с маслом. При закалке заготовок они переносятся в корзине на расстояние 1,5м от места пайки рис. 5.13. размер корзины $500 \times 400 \text{ мм}$, общий вес заготовок с корзиной до 12 кг. При переносе корзины с партией заготовок для закалки на уровне пояса облученность достигает 250 Вт/м^2 на уровне груди и головы. Распределение тепловых полей в рабочей зоне представлено на рис.5.14 и 5.15.

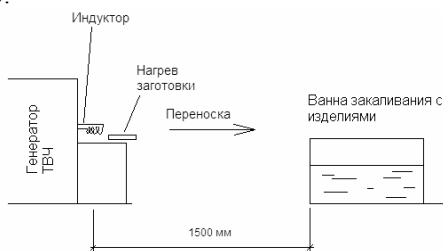


Рис. 5.13. Воздействие высоких температур на рабочее место оператора при закалке деталей

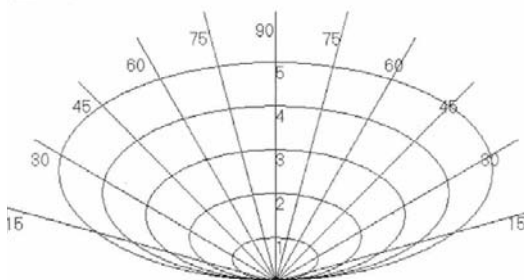


Рис. 5.14. Облученность рабочего места оператора от источника 43 (установка ТВЧ):

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок, отделение фрез; Инв. номер источника: 43; Размер источника, м: 0,1; Тех. хар. источника: Установка ТВЧ; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 150; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: пайка торцевых фрез; Максимальное расстояние, м: 5

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м^2	150	41	19	11	7

Как следует из проведенных исследований от источника 43 (установка ТВЧ) максимальное облучение в рабочей зоне распределяется следующим образом: на расстоянии 1 м – 150 Вт/м²; 2 м – 41 Вт/м²; 3 м – 19 Вт/м²; 4 м – 11 Вт/м²; 5 м – 7 Вт/м². Из-за высокой температуры в установке ТВЧ (1200-1300 °С) излучение в основном преобладает в коротковолновом диапазоне 1,4-2,5 мкм.

После пайки изделий и переноске их в ванну закалки общая температура изделий в ящике достигает 300-400 °С, преобладает длинноволновое ИК-излучение $\lambda = 5,6-10,0$ мкм.

Как следует из представленного графика на рабочем месте оператора от вторичного источника облучения интенсивность превышает допустимую норму и составляет 250 Вт/м².

После обработки полученных данных нами были получены зависимости, позволяющие прогнозировать величину интенсивности облучения в зависимости от источника излучения и расстояния.

На рабочих местах 20, 21, 22, 23, где осуществляется приварка, на установках ТВЧ малой мощности, хвостовиков метчиков. Изделия не большие – М12 – М14: но их пайка ведется блоком, расположение рабочего места и расстояние от источника аналогичны рис.5.15. Интенсивность облучения при пайке достигает до 350 Вт/м², распределение полей представлено на рис.5.16. накопительная корзина с желобом отсутствует, т.к. готовые изделия убираются транспортером.

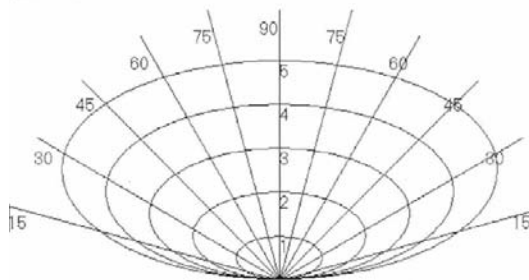


Рис. 5.15 Облученность рабочего места оператора при переноске заготовок к ванне закаливания:

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок, отделение фрез; Инв. номер источника: 43а; Размер источника, м: 0,1; Тех. хар. источника: Заготовки; расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 250; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: переноска фрез в ванную; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м ²	250	68	32	18	12

Анализ полученных данных на рабочих местах от источников 20-23 (установка ТВЧ) малой мощности, несмотря на довольно высокую температуру нагрева в печи до 1200 °С интенсивность излучения их не превышает 350 Вт/м² на расстоянии 1 м и затем резко снижается: 2 м – 105 Вт/м²; 3 м – 51 Вт/м²; 4 м – 30 Вт/м².

После обработки данных была получена зависимость, которая хорошо описывает процесс излучения. оператор на данных рабочих местах подвергается в течение 2/3 рабочего времени, при облучении до 25% поверхности тела коротковолновым облучением $\lambda=1,9-2,4$ мкм. влажность в рабочей зоне не превышает 55 %, температура в летний период составляет до 29 °С при скорости воздушного потока 0,2-0,3 м/с, что не соответствует санитарным нормам.

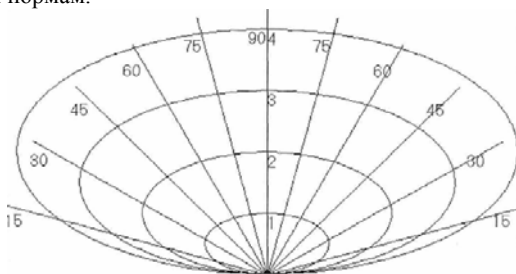


Рис. 5.16. Облученность рабочего места оператора от источников 20, 21, 22 и 23 (установка ТВЧ):

Завод: инструментальный завод им. Войкова, Запорожье; Цех: участок ножей; инв. номер источника: 20-23; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Установка ТВЧ; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 350; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: приварка хвостовиков метчиков; Максимальное расстояние, м: 3.

L, м	1	2	3	4
E, Вт/м ²	350	105	51	30

5.2. Исследование терморadiационной напряженности на заводе стройматериалов в Ново-Александровке Днепропетровской области.

Завод стройматериалов в Ново-Александровке производит выпуск глиняного кирпича, мощностью 45 млн. шт. в год. На предприятии выпускается: кирпич обычных размеров 250x120x138мм, кирпич модульных размеров 288x138x63мм, кирпич модульных размеров утолщенный 288x138x88мм, и кирпич утолщенный с горизонтальным расположением пустот 250x120x88мм, средняя плотность не более 1400кг/м³, теплопроводность не более 0,46 Вт/м²*с.

Основным источником потребления большого объема энергоносителей – газа на предприятии являются печи обжига кирпича.

Туннельная печь представляет собой прямой канал, в котором размещается 48 вагонеток, одна в форкамере. позиции нумеруются от 0 до 48. состав вагонеток продвигается по печи периодически согласно заданного режима-графика. Длина печи 130 м, ширина – 4,7 м, высота – 2,5 м. единовременная емкость печи – 71400 штук кирпича. Вся печь делится на три зоны: зона подогрева, зона обжига и зона охлаждения. Обжиг ведется при температуре 980-1000 °С, общая продолжительность нахождения кирпича в туннельной печи составляет 48 ч.

В зоне обжига – 40 горелок по 20 с каждой стороны, позволяют широко маневрировать зоной подогрева. Газовые и воздушные потоки движутся горизонтально навстречу вагонеткам. Температура отходящих газов – 70-120 °С. По всей зоне подогрева предусмотрена рециркуляционная система со сосредоточенным отбором дымовых газов. Рециркуляцией достигается турбулизация потока и как следствие выравнивание температурного поля по всему сечению канала. Такая рециркуляционная система позволяет добиться более плавного подъема температуры.

В зоне подогрева температура удерживается в одном интервале 100-500 °С. за зоной подогрева следует зона обжига, снабженная горелочными устройствами. Воздушная завеса служит для осуществления аэродинамического разделения обжига и остывания, обеспечивает быстрое охлаждение изделия в интервале температур с 950-800 °С до 600-650 °С. вентиляторы отбирают теплоноситель из зоны охлаждения. Горячий воздух разбавляется атмосферным до температуры 100-200 °С. В зоне охлаждения происходит отбор горячего воздуха. В конце зоны охлаждения печи имеется система охлаждения изделий атмосферным воздухом. Воздух нагнетается вентилятором в боковые окна, а на последнем стыке дополнительно со свода. Рассредоточенный подвод холодного воздуха позволяет максимально использовать тепловоспринимающую способность его и охлаждает изделие до температуры 60-70 °С. выходящие из печи вагонетки разгружаются. готовый кирпич укладывается на поддоны автоматом-укладчиком. после этого пакеты кирпича отвозятся на открытый склад.

В связи с большой площадью стен туннельной печи, эта печь является мощным источником тепловыделения, что особенно заметно в летнее время. Избыточное тепловое излучение происходит от стен печи, от ее верхнего пода, где находятся смотровые окна и технологические отверстия диаметрами от 100 до 300мм.

Как показали проведенные исследования, значительному температурному влиянию подвержены работники предприятия при эксплуатации печи обжига кирпича, особенно в теплый период года.

Исследования термодинамической напряженности вокруг печей обжига проводились на уровне 1,5 м (с учетом жизненно важных органов) при работе

обслуживающего персонала: операторов, контролеров, работников ИТР по отслеживанию и управлению технологическим процессом при обжиге. замеры производили с разбивкой по длине печи – шагом 5 м, на расстоянии от печи 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 м. Круговая индикатриса распределения тепловых полей в рабочей зоне представлена на рис.5.17. исследования показали, что на расстоянии 1м интенсивность излучения достигает 780 Вт/м^2 и, практически, она не отличается на всех участках вдоль печи обжига. По мере удаления от печи рабочих мест отмечается снижение интенсивности излучения и составляет на расстоянии 2 м – 435 Вт/м^2 ; 3 м – 222 Вт/м^2 ; 4 м – 136 Вт/м^2 ; 5 м – 92 Вт/м^2 ; 6 м – 67 Вт/м^2 ; 7 м – 51 Вт/м^2 ; 8 м – 40 Вт/м^2 ; 9 м – 32 Вт/м^2 ; 10 м – 27 Вт/м^2 , незначительное снижение интенсивности излучения отмечено на $50 - 60 \text{ Вт/м}^2$ на торцах печи.

Установлено, что продолжительность интенсивного теплового излучения постоянных рабочих мест от нагретых поверхностей технологического оборудования при закрытом источнике излучения на расстоянии 8м превышает допустимую 35 Вт/м^2 ($40,0 \text{ Вт/м}^2$) при величине облучения поверхности тела человека 50 % и более и на расстоянии 5 м до источника 70 Вт/м^2 ($92,0 \text{ Вт/м}^2$) при величине облучения поверхности от 25 % до 50 %.

Проведенные исследования показали, что влажность на данных рабочих местах в теплый период года составляет 60-65 %, температура $29-30^\circ\text{C}$ при скорости воздушного потока $0,2-0,3 \text{ м/с}$, что не отвечает санитарным нормам [128-130].

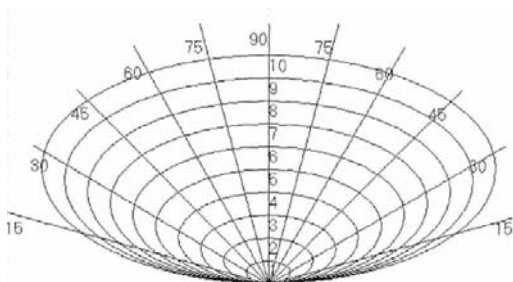


Рис. 5.17. Круглая индикатриса распределения тепловых полей в рабочей зоне печи обжига:

Завод: Ново-Александровский завод стройматериалов; Цех: обжига кирпича; Инв. номер источника: 1; Размер источника, м: 100×4 ; Тех. хар. источника: Печь обжиговая; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 780; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Обжиг кирпича в печи; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/м^2	780	435	222	136	92	67	51	40	32	27

Следует учитывать, что при температуре нагрева стен и пода до 780 °С на рабочие места действует длинноволновое ИК-излучение, $\lambda=7-14$ мкм. это ведет к повышению температуры тела и воздействию на рефлекторные зоны.

Исследования показали, что значительному тепловому воздействию подвергаются рабочие при загрузке в печь сырья и выгрузке продукции из печи при открытых воротах.

При выгрузке обожженного кирпича, когда двери открыты выходное излучение от внутренней поверхности печи и остывающего продукта достигает 1250 Вт/м² на расстоянии 1,5м. это связано с высокой остаточной температурой всего массива: готового продукта, тележек вывоза, стен, поддонов и потолка.

Результаты распределения теплового излучения представлены на круговой индикатрисе рис.5.18.

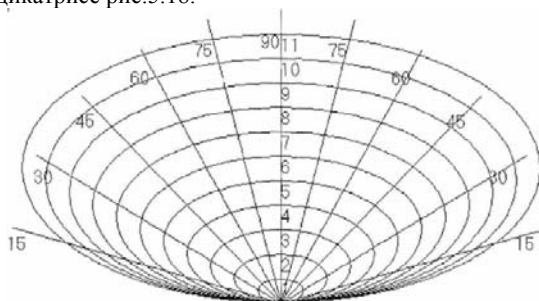


Рис. 5.18. Круглая индикатриса распределения тепловых полей в месте выгрузки обожженного кирпича:

Завод: Ново-Александровский завод стройматериалов; Цех: обжига кирпича; Инв. номер источника: 2; Размер источника, м: 2,5x2,5; Тех. хар. источника: Печь камерная – туннельная; Расстояние до точки замера, м: 1,5; Облученность в точке замера, Вт/м²: 1250; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Выгрузка готового продукта; Максимальное расстояние, м: 10.

L, м	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/м ²	1250	374	181	107	71	50	38	29	24	19

Анализ проведенных исследований показал, что температура источников излучения превышает 100-150 °С, что сопровождается излучением в диапазоне 7,0 – 14 мкм и ведет к повышению температуры поверхности тела (длинноволновое излучение) и может привести к перегреванию организма. влажность составляет 60 – 65 % при температуре в теплый период года 29 – 30 °С, скорость воздушного потока до 0,3 – 0,4 м/с. интенсивность облучения в зависимости от нахождения рабочих мест распределяется следующим образом: на расстоянии 1,5 м – 1250 Вт/м²; 2 м – резкое снижение до 374 Вт/м²; 3 м – 181

Вт/м²; 4 м – 107 Вт/м²; 5 м – 71 Вт/м²; 6 м – 50 Вт/м²; 7 м – 38 Вт/м².

Исследования показали, что рабочие подвергаются интенсивному облучению от 140 до 374 Вт/м² на расстоянии 1,5 – 2,0 м до ворот выгрузки из обжиговой печи и на расстоянии от 3 до 5 м от 71 Вт/м² до 181 Вт/м².

При этом интенсивность облучения поверхности тела рабочих составляет до 50 % в течение 2/3 рабочего времени, что не соответствует при данных микроклиматических условиях санитарным нормам.

В результате исследований установлено, что более высокие уровни теплового излучения наблюдались и при контроле температуры работниками за ходом технологического процесса через смотровые окна наблюдения, диаметром 300мм. Процесс контроля-наблюдения составляет в среднем 5 минут. Интенсивность излучения при открытых окнах составляет 1800 Вт/м² на уровне груди. Результаты замеров в различных местах свода печи показали значения отличающиеся не более чем на 40 – 50 Вт/м².

Результаты распределения избыточного теплового излучения представлены на круговой индикатрисе рис.5.19.

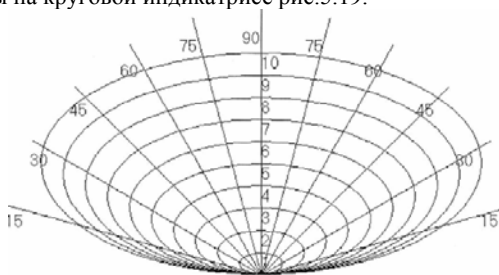


Рис. 5.19. Круглая индикатриса распределения тепловых полей при контроле технологических параметров (окна открыты):

Завод: Ново-Александровский завод стройматериалов; Цех: обжига кирпича; Инв. номер источника: 3; Размер источника, м: 0,3; Тех. хар. источника: Печь туннельная; Расстояние до точки замера, м: 1,2; Облученность в точке замера, Вт/м²: 1800; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Контроль технологических параметров; Максимальное расстояние, м: 10.

L, м	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/м ²	1800	530	254	149	99	70	52	41	33	27

Анализ проведенных исследований показал, что в течение 1 ч рабочего времени должен производиться не менее 2-х раз контроль-наблюдение за технологическим процессом. Таким образом, в течение смены от 80 до 100 мин работники-контролеры подвергаются, с учетом температуры при обжиге

до 1000°C , интенсивному ИК-излучению коротковолнового спектра с длиной волны 1,5-3,7 мкм и частично видимых лучей с большой яркостью при открытых окнах наблюдения в области головы, шеи и грудной клетки. При этом, облучение составляет до 25% общей поверхности тела, при не соответствии параметров микроклимата санитарным нормам ($W=60-65\%$; $T=28-30^{\circ}\text{C}$; $V=0,3-0,4$ м/с).

Исследования показали, что обслуживающие работники, которые находятся на поде обжиговой печи одновременно с контролерами даже на значительном расстоянии до 5м подвергаются ИК-излучению интенсивностью около 100 Вт/м^2 , при облучении более 50% поверхности тела.

Согласно полученных данных интенсивность облучения при открытых окнах составляет: на расстоянии 1,2 м – 1800 Вт/м^2 ; 2 м – 530 Вт/м^2 ; 3 м – 254 Вт/м^2 ; 4 м – 149 Вт/м^2 ; 5 м – 99 Вт/м^2 ; 6 м – 70 Вт/м^2 ; 7 м – 52 Вт/м^2 ; 8 м – 41 Вт/м^2 и т.д.

После обработки полученных данных была установлена зависимость интенсивности излучения в зависимости от расположения до рабочих мест при открытых окнах наблюдения в обжиговой печи.

Результаты исследования показали, что интенсивность теплового излучения от свода печи при закрытых точках составляет 580 Вт/м^2 на расстоянии 1,0 м от поверхности свода печи. Распределение тепловых полей в рабочей зоне представлены на рис.5.20.

Анализ проведенных исследований показал, что максимальное ИК-излучение достигает 580 Вт/м^2 при расположении рабочих мест на расстоянии 1 м. По мере удаления от смотровых окон оно резко снижается: на расстоянии 2 м – 174 Вт/м^2 ; 3 м – 84 Вт/м^2 ; 4 м – 50 Вт/м^2 ; 5 м – 33 Вт/м^2 и т.д.

После обработки полученных данных была получена зависимость интенсивности облучения рабочих мест от их расположения.

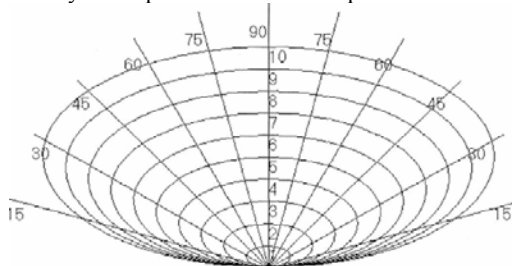


Рис. 5.20. Круговая индикатриса распределения тепловых полей при контроле технологических параметров (окна закрыты):

Завод: Ново-Александровский завод стройматериалов; Цех: обжига кирпича; Инв. номер источника: 4; Размер источника, м: 4x150; Тех. хар. источника: Печь обжиговая, свод; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера,

Вт/м²: 580; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Внешний осмотр лючков и свода печи; Максимальное расстояние, м: 10.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/м ²	580	174	84	50	33	23	18	14	11	9

В результате исследований установлено, что в течение всего рабочего времени тепловому воздействию подвержены операторы пульта управления, который в виде кабины размещен на своде печи обжига. Пульт управления технологическим процессом расположен в средней части обжиговой печи на расстоянии 4 м от смотровых окон, поэтому операторы подвергаются суммарному воздействию теплового излучения интенсивностью 50 Вт/м² при облученности более 50 % поверхности тела. При этом, облучение происходит в длинноволновом диапазоне от 7 до 14 Вт/м² и приводит к повышению температуры поверхности тела. С учетом условий микроклимата (W=60-65%; t=29-30 °С; V=0,3 м/с) и высокой интенсивности облучения (более 35 Вт/м²) условия труда оператора не отвечают санитарным нормам т.к. при наличии источников с интенсивностью 35 Вт/м² и более температура воздуха на постоянных рабочих местах не должны превышать верхних границ оптимальных значений для теплого периода года, на не постоянных - верхних границ допустимых значений для постоянных рабочих мест.

5.3. Исследование терморadiационной напряженности в цехе изготовления строительных стеклянных изделий филиала ООО «Сантехника».

Варка стекломассы (стекловарение) – самая сложная операция всего стекольного производства, производится в ваннных печах непрерывного действия, представляющих собой бассейны, сложенные из огнеупорных материалов. При варке специальных стекол (оптических, цветных и т.п.) используют горшковые печи. При нагревании шихты до 1100...1150 °С происходит образование силикатов (силикатообразование) сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты – образуется стекломасса. Эта стекломасса насыщена газовыми пузырьками и неоднородна по составу. Для осветления и гомогенизации стекломассы ее температуру повышают до 1500...1600°С. При этом, вязкость расплава снижается и соответственно облегчается удаление газовых включений и получение однородного расплава. Стекловарение завершается охлаждением стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, требуемую для выработки стеклоизделий принятым методом (вытягиванием, прокатом, прессованием, литьем, выдуванием и др.). Закрепление формы изделия осуществляют быстрым охлаждением. При этом вследствие низкой теплопроводности стекла возникают большие перепады температур,

вызывающие внутренние напряжения в стеклоизделии. Поэтому обязательная операция после формирования – отжиг. Т.е. охлаждение изделий по специальному ступенчатому режиму.

Исследования показали, что в рабочей зоне в зависимости от расстояния до стекловаренной печи интенсивность излучения изменяется в широком интервале на расстоянии 1,2 м она равна 3530 Вт/м²; 2 м – 1100 Вт/м²; 3 м – 541 Вт/м²; 4 м – 324 Вт/м²; 5 м – 216 Вт/м²; 6 м – 155 Вт/м²; 7 м – 117 Вт/м²; 8 м – 91 Вт/м²; 9 м – 73 Вт/м²; 10 м – 60 Вт/м².

Газовые стекловаренные печи № 69, 70, 71 имеют большой объем варочного котла. Стекловарочная печь № 72 имеет меньший объем и работает, как вспомогательная, либо при изготовлении мелкосерийных строительных изделий. Значительное тепловыделение при работе стекловарочных печей наблюдается при выгрузке стекломассы в формовочные агрегаты при открытом окне. В результате проведенных исследований были построены круговые индикатрисы тепловых полей, рис.5.21.

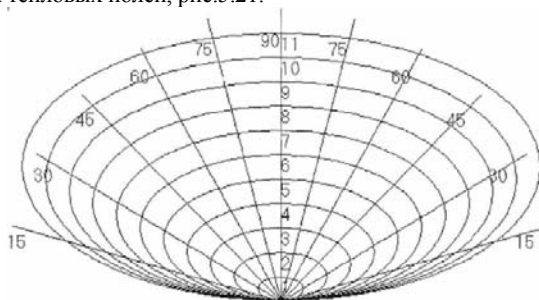


Рис. 5.21. Круговая индикатриса распределения тепловых полей при работе стекловарочных печей:

Завод: ООО «Сантехника»; Цех: стекловарения и формовки стеклоблоков; Инв. номер источника: 69, 70, 71, 72; Размер источника, м: 0,8; Тех. хар. источника: Печь газовая; расстояние до точки замера, м: 2; Облученность в точке замера, Вт/м²: 1100; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Загрузка-выгрузка окно открыто; Максимальное расстояние, м: 10.

L, М	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/М ²	3530	1100	514	324	216	155	117	91	73	60

Исследования показали, что закрепление формы изделий осуществляется быстрым охлаждением, что ведет к возникновению в формовочных изделиях высоких внутренних напряжений. Для устранения внутренних напряжений в зависимости от технологии и вида строительных изделий производится закаливание либо отжиг изделий с последующим медленным охлаждением в туннельных газовых печах по мере продвижения с

определенным режимом, температура на выходе 100°C . Температура при отжиге стеклоизделий в печи составляет $500 - 800^{\circ}\text{C}$.

В результате проведенных исследований были построены температурные поля при обжиге стеклопластиковых изделий, рис.5.22.

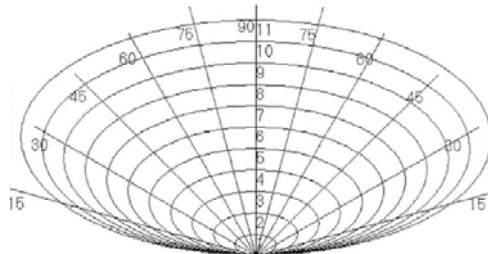


Рис. 5.22. Круговая индикатриса распределения тепловых полей при обжиге стеклоизделий:

Завод: ООО «Сантехника»; Цех: стекловарения; Инв. номер источника: 73, 74; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Печь газовая; расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, $\text{Вт}/\text{м}^2$: 1900; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск изделий; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, $\text{Вт}/\text{м}^2$	1900	569	274	162	108	77	57	45	36	29	24

Анализ проведенных исследований показал, что максимальная интенсивность излучения на расстоянии 1 м составляет от 600 до $1900 \text{ Вт}/\text{м}^2$ в зависимости от вида обжигаемых изделий. Учитывая, что в основном отжиг в данном производстве ведется стеклоблоков в оценке термодинамической напряженности нами принята максимальная интенсивность излучения $1900 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

По мере удаления от источника отмечено резкое снижение терморadiационной напряженности на рабочих местах: на расстоянии 2 м – $569 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 3 м – $274 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 4 м – $162 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 5 м – $108 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 6 м – $77 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 7 м – $57 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 8 м – $45 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 9 м – $36 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 10 м – $29 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 11 м – $24 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

После обработки полученных данных была получена зависимость позволяющая прогнозировать и масштабировать интенсивность излучения при работе печи обжига на рабочие места (рис.5.23).

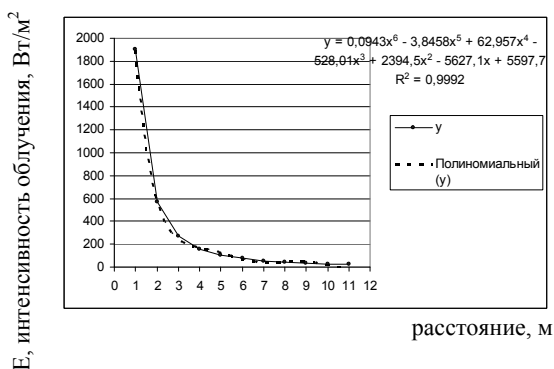


Рис. 5.23. Изменение интенсивности излучения в зависимости от расположения рабочих мест

В результате проведенных исследований установлено, что от источников излучения: стекловарочные печи и формовочные агрегаты фиксируется коротковолновое и средневолновое ИК-излучение с длиной волны 3-4 мкм, а при работе печи отжига изделий ИК-излучение в длинноволновом диапазоне, $\lambda=5,6-14,0$ мкм. Влажность на рабочих местах в летний период составляет от 60 до 70 %, скорость воздушного потока от 0,3 до 0,5 м/с и температура составляет 28-30 °С. таким образом, анализ проведенных исследований показал, что на рабочих местах в стекловаренном цехе из-за избыточного влияния тепловых выделений и величин параметров микроклимата условия труда не отвечают санитарным нормам и требуется разработка мер по приведению рабочих мест к санитарным нормам.

5.4. Исследование условий труда на термическом участке ООО «Сантехника ЗАЗ».

Термический участок ООО «Сантехника ЗАЗ» выпускает запорную арматуру для сантехнических изделий, мощных вентилях для холодной и горячей воды, а также для гидротранспорта агрессивных жидкостей. Это требует применения таких материалов как чугун, латунь, нержавеющая сталь. Также в данном цехе изготавливают наконечники для перфораторов, коронки для прорезки перекрытий из бетонных плит для разводки коммуникаций, штроб, изготовление дисков для резки кирпича, декоративных плиток, гранита, керамики. Цех характеризуется наличием электрических или газовых камерных печей, закалочных электродных ванн – печей, которые используются для нагрева заготовок кузнечного отделения, ТВЧ – закалочные агрегаты печи для отпуска деталей и наплавки алмазной крошки на режущий инструмент, в закалочных ваннах используют воду и масла.

Камерные печи характеризуются системой нагрева – печи сопротивления (электрические), либо печи газовые. В электрических печах в качестве сопротивления используются стержни из нихрома, либо силитовые стержни. Для более высоких температур при больших объемах изготовления деталей используется газовый нагрев. В зависимости от технологических режимов и объемов деталей время отпусков разное. Отпущенные детали-изделия, находящиеся в корзине, перевозятся в дальний участок цеха, где остывают до температуры окружающей среды.

Проведенные исследования показали, что максимальная интенсивность на рабочем месте оператора достигает 450 Вт/м^2 . Распределение температурных полей от источника излучения представлено на рис.5.24.

По мере удаления от источника замечено снижение тепловой нагрузки: на расстоянии 2 м (рабочая зона) – 153 Вт/м^2 ; 3 м – 78 Вт/м^2 ; 4 м – 48 Вт/м^2 ; 5 м – 33 Вт/м^2 .

После обработки полученных данных была получена зависимость, которая позволяет оценивать термическую напряженность в радиусе 5 м (рис.5.25).

Аналогично работает камерная печь для нагрева и отпуска изделий № 72, диаметр 0,9 м, расстояние до рабочего места 2 м.

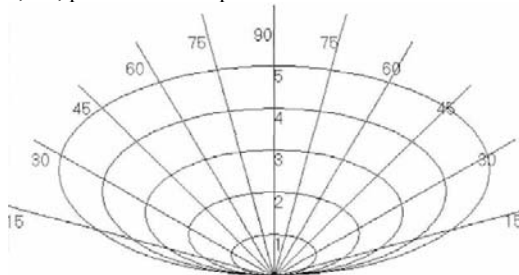


Рис. 5.24. Распределение температурных полей от источника – камерной печи № 69 в термическом участке:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 69; Размер источника, м: 1.8; Тех. хар. источника: Печь для отпуска камерная; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 450; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 5.

L, м	1	2	3	4	5
E, Вт/м^2	450	153	78	48	33

Исследованиями установлено, что камерная печь № 72 при небольших объемах камеры за счет использования для нагрева газа поднимает температуру до $1200\text{-}1300 \text{ }^\circ\text{C}$. распределение температурных полей при работе печи № 72 приведено на рис.5.26. с учетом высокой облученности

рабочих мест исследования проводились на расстоянии до 10 м с шагом 1 м. на расстоянии 2 м она составляла – 2500 Вт/м²; 3 м – 1207 Вт/м²; 4 м – 713 Вт/м²; 5 м – 473 Вт/м²; 6 м – 337 Вт/м²; 7 м – 252 Вт/м²; 8 м – 196 Вт/м²; 9 м – 157 Вт/м²; 10 м – 129 Вт/м².

После обработки полученных данных была получена зависимость изменения интенсивности облучения в зависимости от расстояния до рабочих мест (рис.5.27).

Проведенные нами исследования параметров микроклимата в рабочей зоне влияния источников излучения – камерных печей № 69 и № 72 в теплый период года показали, что влажность не превышает 60 %, скорость воздушного потока 0,3-0,4 м/с, температура 31-32 °С. Таким образом, условия труда на рабочем месте операторов с учетом условий микроклимата и влияния интенсивного ИК-излучения не отвечают требованиям санитарных норм. Практически, в течение 2/3 рабочего времени рабочие подвергаются вблизи камерной печи № 69 длинноволновому воздействию ИК-излучения в радиусе 2 м – 153 Вт/м², облученность до 25% поверхности тела. В радиусе 2 м (рабочее место оператора при работе печи камерной № 72 интенсивность излучения достигает 2500Вт/м² в коротковолновом диапазоне, $\lambda = 2,0-4,0$ мкм при облученности тела до 25 %. Высокая интенсивность излучения остается и на более удаленном участке до 10м – она составляет 129Вт/м², что не отвечает санитарным нормам и требует пересмотра режима труда и разработки специальных мероприятий.

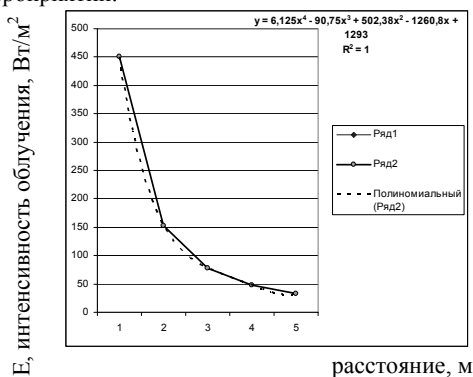


Рис. 5.25. Изменение интенсивности излучения камерной печи № 69 в зависимости от расположения рабочих мест:

В зависимости от задания технологического режима осуществляется закалка деталей при температурах более 900-1300 °С, с одновременным насыщением поверхностного слоя (фосфатирование и пр.) с последующим погружением в масляную ванну, либо в ванну с водой. При операции отпуска деталей используются растворы солей с низкими температурами в которых

изделие выдерживается определенное время, за которое снимаются внутренние напряжения металла.

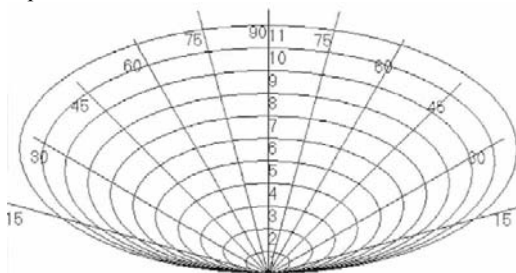


Рис. 5.26. Распределение температурных полей при работе печи №72 в термическом цехе:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; инв. номер источника: 72; Размер источника, м: 0,9; Тех. хар. источника: Печь камерная; расстояние до точки замера, м: 2; Облученность в точке замера, Вт/м²: 2500; Наг сетки, м: 1; Наименование операции: отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, Вт/м ²	8352	2500	1207	713	473	337	252	196	157	129	108

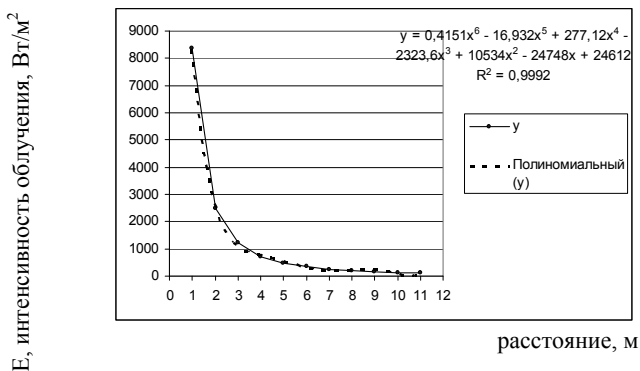


Рис. 5.27. Изменение интенсивности излучения при работе печи № 72 до расположения рабочих мест

Детали обычно загружаются на передвижной стеллаж – этажерку и специальными крючьями детали изделия опускаются в раствор солей. Т.к. раствор солей отличаются высокой степенью черноты, то излучения

достигают значительных величин по Ламбертовому распределению.

В термическом цехе для закалки режущего и ударного инструмента применяют печи-ванны электрические: № 71, и печи-ванны нагрева и отпуска деталей № 73.

Схема печи-ванны электродной, где находится расплавный состав солей, для закалки режущего и ударного инструмента № 71 представлена на рис.5.28. Размер печи $\varnothing 0,5\text{м}$, расстояние до рабочего места 1м.

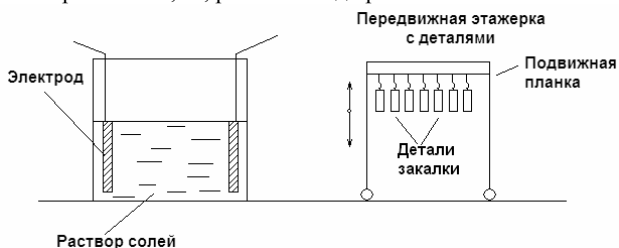


Рис. 5.28. Схема работы печи-ванны электродной по закалке и отпуску деталей

Исследования показали, что максимальная интенсивность излучения в точке замера (1м) составляет 1300 Вт/м^2 . Распределение тепловых полей от печи-ванны электрической № 71 представлено на рис.5.29.

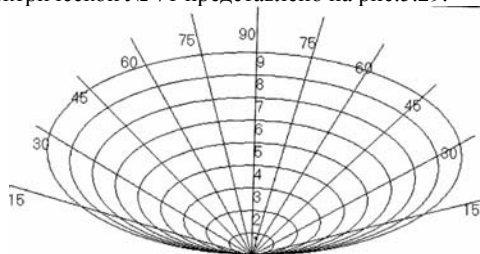


Рис. 5.29. Распределение температурных полей при работе печи № 71 в термическом цехе:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 71; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Печь-ванна электродная; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 1300; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 9.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, Вт/м^2	1300	389	188	111	74	52	39	31	24

Анализ проведенных исследований показал, что по мере удаления от источника интенсивность облучения рабочих мест резко снижается: на расстоянии 2 м – 389 Вт/м²; 3 м – 188 Вт/м²; 4 м – 111 Вт/м²; 5 м – 74 Вт/м²; 6 м – 52 Вт/м²; 7 м – 39 Вт/м²; 8 м – 31 Вт/м² и 9 м – 24 Вт/м².

После обработки полученных данных была получена математическая зависимость изменения интенсивности облучения рабочих мест от источника (рис.5.30).

Печи-ванны электродные для нагрева и отпуска деталей № 73 и № 72а работают в несколько ином режиме с более высокой температурой до 2000 °С, расстояние до рабочего места оператора 2 м. и интенсивность максимального облучения составляет 2000 и 2400 Вт/м².

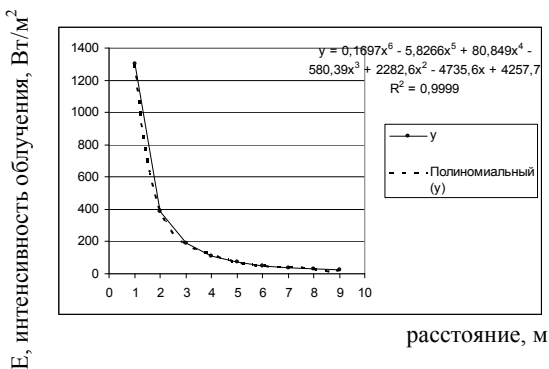


Рис. 5.30. Изменение интенсивности излучения печи-ванны электрической в зависимости от нахождения рабочих мест

В результате проведенных исследований были построены индикатрисы тепловых полей ИК-излучения при работе печей-ванн электрических № 73 и № 72а (рис.5.31 и 5.32).

Так, при работе печи-ванны электродной в зависимости от расположения рабочих мест интенсивность их облучения резко снижается: на расстоянии 3м – 965вт/м²; 4м - 571вт/м²; 5м - 378вт/м²; 6м - 269вт/м²; 7м - 202вт/м²; 8м - 157вт/м²; 9м - 126вт/м² и 10м - 103вт/м² (рис.5.33)

Более значимо наблюдалось ИК-излучение от работающей печи-ванны электрической № 72а. анализ исследований показал, что на рабочем месте оператора (2м) оно составляло 2400 Вт/м², по мере удаления от источника отмечено понижение излучения: 3 м – 1158 Вт/м²; 4 м – 685 Вт/м²; 5 м – 454 Вт/м²; 6 м – 323 Вт/м²; 7 м – 242 Вт/м²; 8 м – 189 Вт/м²; 9 м – 151 Вт/м²; 10 м – 124 Вт/м². После обработки полученных результатов была установлена зависимость, которая хорошо описывает процесс ИК-излучения с учетом размещения рабочих мест от источника (рис.5.34).

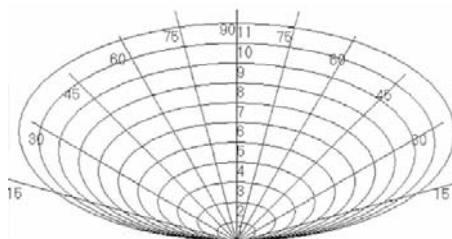


Рис. 5.31. Распределение температурных полей от печи-ванны № 73 в термическом участке:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 73; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Печь-ванна электродная; Расстояние до точки замера, м: 2; Облученность в точке замера, Вт/м²: 2000; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, Вт/м ²	6681	2000	965	571	378	269	202	157	126	103	86

После обработки полученных данных нами получена зависимость ИК-излучения от расстояния до места размещения рабочих мест.

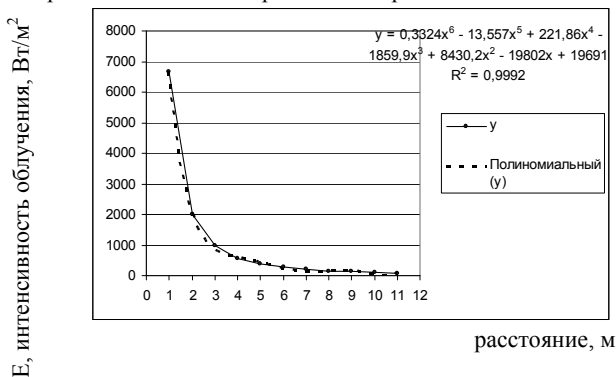


Рис. 5.32. Изменение интенсивности излучения печи-ванны № 73 в зависимости от расположения рабочих мест

Анализ проведенных исследований показал, что на рабочие места операторов (расстояние 2м) воздействует значительное тепловое излучение, даже на расстоянии до 10 м величина излучения превышает 100 Вт/м². Влажность на данных участках работы в теплый период года составляет 65-

70 %, температура 28-32 °С, скорость воздушного потока 0,3-0,4 м/с.

Таким образом, можно сделать вывод. Что при высокой интенсивности ИК-излучения в коротковолновом диапазоне, $\lambda=2,4-3,7$ мкм, облученность 25-30 % тела и с учетом граничных параметров микроклимата при продолжительности облучения 1/3 рабочего времени условия труда не отвечают требованиям санитарных норм.

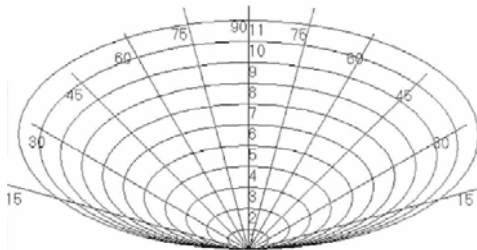


Рис. 5.33. Распределение температурных полей от печи-ванны № 72а:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 72а; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Печь-ванна электродная; Расстояние до точки замера, м: 2; Облученность в точке замера, Вт/м²: 2400; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, Вт/м ²	8018	2400	1158	685	454	323	242	189	151	124	103

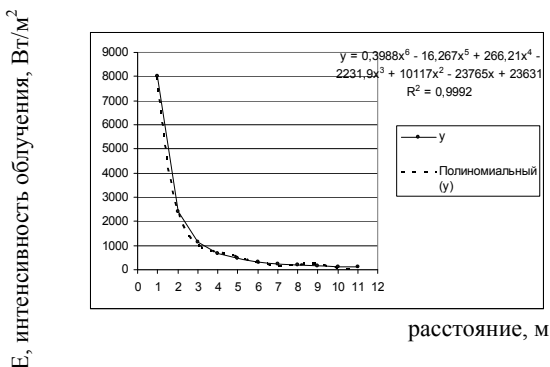


Рис. 5.34. Изменение интенсивности излучения на рабочих местах при работе печи-ванны № 72а

Значительное место при изготовлении строительного весьма прочного и твердого инструмента занимают процессы закалки и отпуска деталей в специальных электрических и газовых печах (агрегатах): № 77; № 77а; № 78 и 76. Здесь производится быстрый разогрев, а затем в зависимости от задачи – закаливание за счет быстрого остывания в специальных средах или при отпуске – медленное остывание.

Закалочный агрегат представляет собой высокотемпературную печь камерного типа с газовым нагревом или посредством силитовых нагревательных элементов. Обычно при операции закалки детали помещаются в небольшом количестве с последующим переносом в закалочную ванну. Также могут в одном закалочном агрегате иметь две камеры для нагрева детали и ее закалки, а также для отпуска деталей.

В зависимости от размера деталей облученность может достигать 2900 Вт/м^2 т.к. к тепловому излучению от открытого пространства печи суммируется излучение от самого изделия.

Закалочный агрегат № 77 позволяет производить нагрев деталей до температуры 900°C с последующим медленным остыванием. Максимальная облученность в точке замера (1 метр) – 1900 Вт/м^2 . На рис.5.35 представлено распределение тепловых полей при работе агрегата. Анализ исследований показал, что по мере удаления от агрегата идет снижение термической нагрузки на рабочих местах: 2 м – 569 Вт/м^2 ; 3 м – 274 Вт/м^2 ; 4 м – 162 Вт/м^2 ; 5 м – 108 Вт/м^2 ; 6 м – 77 Вт/м^2 ; 7 м – 57 Вт/м^2 ; 8 м – 45 Вт/м^2 ; 9 м – 36 Вт/м^2 .

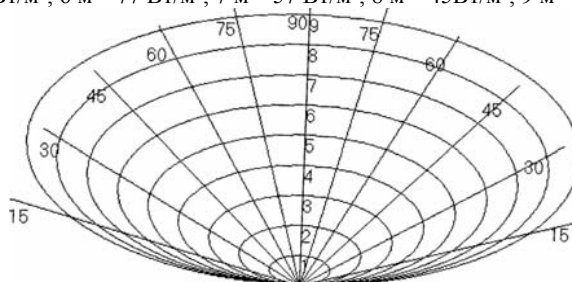


Рис. 5.35. Распределение тепловых полей при работе закалочного агрегата № 77:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 77; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Закалочный агрегат $T=900^\circ\text{C}$; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 1900; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 9.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, Вт/м^2	1900	569	274	162	108	77	57	45	36

Исследования показали, что в радиусе 2м рабочие подвергаются

воздействию теплового ИК-излучения в коротковолновом диапазоне $\lambda=2,4-3,7$ мкм, при этом, интенсивному облучению подвергается более 25% поверхности тела работающих, что значительно превышает допустимую норму. С учетом средней тяжести работ IIб температура на постоянных рабочих местах превышает границу допустимых значений и составляет в теплый период от 29 до 31⁰С (при норме 27 ⁰С) при скорости воздушного потока 0,2-0,5 м/с и влажности до 70 %. После обработки полученных данных нами была получена зависимость, которая хорошо описывает данный процесс:

$$y=0,2469x^6-8,475x^5+117,57x^4-844,21x^3+3322,6x^2-6900,8x+6212,3 \quad (5.1)$$

$$R^2=0,9999$$

где: x – расстояние до объекта, м.

Закалочный агрегат № 77а позволяет поддерживать температуру при закалке деталей до 1300 ⁰С. исследованиями установлено следующее распределение температурных полей при работе агрегата (рис.5.36).

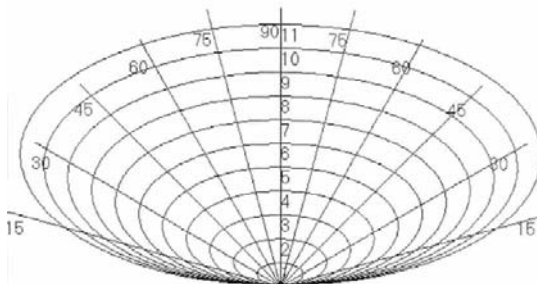


Рис. 5.36. Распределение тепловых полей при работе закалочного агрегата № 77а:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 77а; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Закалочный агрегат T=1300⁰С; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 2900; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, Вт/м ²	2900	868	419	248	164	117	88	68	55	45	37

После обработки полученных данных была получена следующая зависимость, позволяющая определять напряженность теплового воздействия в зависимости от нахождения рабочих мест:

$$y=0,384x^6-13,149x^5+181,99x^4-1303,3x^3+5115x^2-10593x+9510,8 \quad (5.2)$$

$$R^2=0,9999$$

где: x – расстояние до объекта, м.

Анализ показывает, что в рабочей зоне ИК-излучение значительно превышает допустимую норму. А с учетом воздействия в коротковолновом диапазоне, $\lambda=2,4-3,7$ мкм, требует специальных мер защиты. На расстоянии

1м интенсивность излучения составляет до 2900 Вт/м², затем по мере удаления оно резко понижается и на расстоянии 10 м равно 45 Вт/м².

Закалочный агрегат № 78, размером окна 1,5 м, расстояние до рабочего места 1 м. Облученность 1300 Вт/м². Распределение температурных полей представлено на рис.5.37.

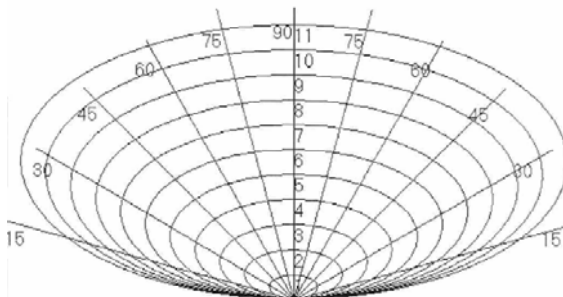


Рис. 5.37. Распределение температурных полей в зависимости от расположения источников излучения № 78:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 78; Размер источника, м: 1,5; Тех. хар. источника: Закалочный агрегат T=1300⁰C; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 1300; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Закалка деталей; Максимальное расстояние, м: 11.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E, Вт/м ²	1300	432	219	134	91	66	50	39	32	26	22

Максимальная величина ИК-излучения на расстоянии 1м от агрегата составляет 1300 Вт/м². По мере удаления интенсивность излучения понижается, так на расстоянии 2 м оно составляет 432 Вт/м², 10м – 26 Вт/м². После обработки полученных данных была получена зависимость, которая позволяет прогнозировать величину интенсивности излучения в зависимости от расположения рабочих мест:

$$y=0,1499x^6 - 5,1501x^5 + 71,617x^4 - 516,43x^3 + 2048,5x^2 - 4319,6x + 4020,6 \quad (5.3)$$

$$R^2=0,9999$$

где: x – расстояние до объекта, м.

При исследовании интенсивности излучения от закалочного агрегата № 76, размер источника 0,5 м, температура закалки 900 ⁰C была получена индикатриса тепловых полей, представленная на рис.5.38.

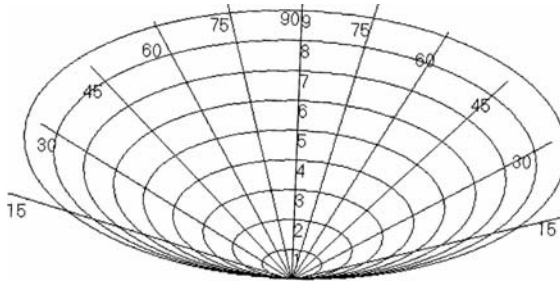


Рис. 5.38. Распределение температурных полей при работе закалочного агрегата № 76:

Завод: ООО «Сантехника ЗА3»; Цех: термический; Инв. номер источника: 76; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Закалочный агрегат; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м²: 980; шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей; Максимальное расстояние, м: 9.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, Вт/м ²	980	293	142	84	55	40	30	23	18

После обработки полученных данных была установлена зависимость изменения интенсивности излучения до рабочих мест при работе закалочного агрегата:

$$y=0,1322x^6 - 4,5186x^5 + 62,396x^4 - 445,67x^3 + 1744x^2 - 601,1x + 3224,3 \quad (5.4)$$

где: x – расстояние до объекта, м.

Для изготовления высокопрочного режущего инструмента закалку деталей производят в специальной печи-реторте № 83 (рис.5.39). При небольших размерах источника до 1,6 м температура в такой печи достигает 1200-1300 °С. исследования показали, что интенсивность излучения до рабочего места оператора достигает 1300 Вт/м².

Согласно представленной индикатрисе распространения тепловых полей (рис.5.40), интенсивность ИК-излучения распределяется следующим образом: на расстоянии 2 м – 435 Вт/м²; 3 м – 222 Вт/м²; 4 м – 136 Вт/м²; 5 м – 92 Вт/м²; 6 м – 67 Вт/м²; 7 м – 51 Вт/м²; 8 м – 40 Вт/м²; 9 м – 32 Вт/м² и 10 м – 27 Вт/м². После обработки полученных данных была установлена зависимость, которая хорошо описывает данный процесс:

$$y=0,1499x^6 - 5,1501x^5 + 71,617x^4 - 516,43x^3 + 2048,5x^2 - 4319,6x + 4020,6 \quad (5.5)$$

$$R^2=0,9999$$

где: x – расстояние до объекта, м.

Анализ проведенных исследований показал, что в рабочей зоне до 8 м интенсивность излучения превышает 35 Вт/м², а температура воздуха на постоянных рабочих местах превышает верхние граничные нормы для

теплого периода и достигает $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, при влажности до 60 % и скорости воздушного потока 0,3-0,4 м/с.

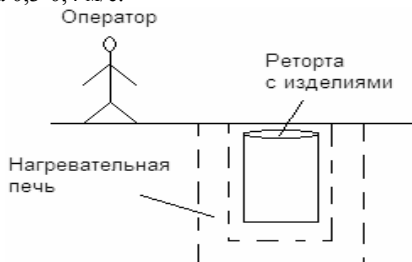


Рис. 5.39. Схема печи-реторты для закалки деталей

Для отпуска деталей используемых для специальных видов строительного инструмента, которые при нагреве могут сильно окисляться (цирконий, сплавы) используются вакуумные печи № 89-92. В печи помещаются изделия, закрываются герметичным колпаком, выкачивается воздух и производится нагрев, томление и отпуск деталей. При контроле технологических параметров оператор, от защитного герметичного колпака, облучается до 500 Вт/м^2 . Схема вакуумной печи для отпуска деталей приведена на рис.5.41.

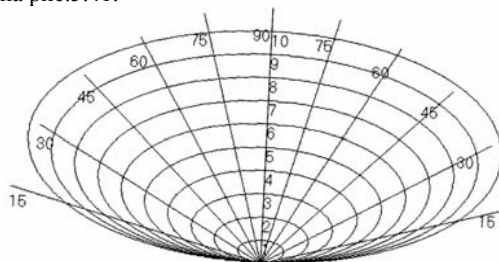


Рис. 5.40. Распределение температурных полей при работе печи-реторты, № 83:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; Инв. номер источника: 83; Размер источника, м: 1,6; Тех. хар. источника: Печь-реторта; расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 1300; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Извлечение деталей при открытой крышке с вынутой ретортой; Максимальное расстояние, м: 10.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, Вт/м^2	1300	435	222	136	92	67	51	40	32	27

В результате проведенных исследований были построены температурные поля при работе вакуумной печи, рис.4.42.

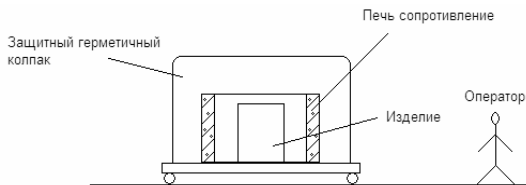


Рис. 5.41. Вакуумная печь для отпуска деталей

Анализ проведенных исследований показал, что в рабочей зоне до 4 м интенсивность ИК-излучения в длинноволновом диапазоне $\lambda=5,7-14$ мкм достигает 43 Вт/м^2 , что значительно превышает допустимое значение с учетом превышения верхней границы оптимальных значений температуры. температура достигает 30°C , влажность до 60 %, скорость воздушного потока $0,3-0,4$ м/с.

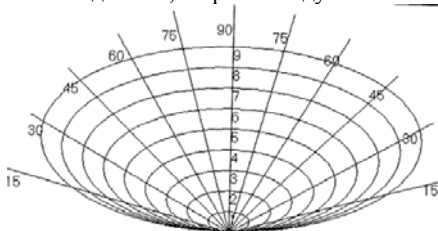


Рис. 5.42. Распределение температурных полей при работе вакуумной печи:

Завод: ООО «Сантехника ЗАЗ»; Цех: термический; инв. Номер источника: 89-92; Размер источника, м: 0,5; Тех. хар. источника: Печь вакуумная; Расстояние до точки замера, м: 1; Облученность в точке замера, Вт/м^2 : 500; Шаг сетки, м: 1; Наименование операции: Отпуск деталей в вакуумь; Максимальное расстояние, м: 9.

L, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, Вт/м^2	500	150	72	43	28	20	15	12	9

5.5. Теоретическое обоснование оценки термической напряженности на рабочих местах при тушении пожаров.

Как показал анализ ведения работ по тушению пожара при ликвидации чрезвычайных ситуаций, высокотемпературному воздействию подвергаются работники спецподразделений, что существенно сказывается на состоянии их здоровья.

В результате постоянного воздействия высоких температур в очаге пожара, спасатели страдают нарушениями функционального состояния центральной нервной системы, патологическими изменениями органов зрения, подвержены заболеваниям органов дыхания, пищеварения,

кровообращения, ишемической болезни в 2-3 раза чаще, чем в среднем по промышленности [159, 161, 165].

Установлено, что значительная часть пожарных подвергается влиянию инфракрасного излучения (ИК-излучения) с длиной волны спектра излучения 0,76...700 Мкм [160, 162-164].

Исследованиями установлено, что изменения интенсивности теплового излучения источников от расстояния до рабочего места подчиняется квадратичной зависимости. Это позволяет рассмотреть данные зависимости в плане математического моделирования, что позволит оценить энергетические диапазоны воздействия.

Согласно предварительным условиям постановки задачи, мы знаем расстояние до источника излучения h : энергетическую освещенность (облученность) E и размер источника a . Исходя из положения взаимосвязи тепловых величин яркость источника L может быть определена из данного выражения, а значение остальных параметров зададим, как характеристику источника в широких границах заданного предела существования.

В отличие от работ [166-171] нами учитывались различные формы источников, а также суммарное воздействие теплового излучения от нескольких источников.

В последнее время промышленные цеха и другие гражданские объекты (склады, рынки, выставочные павильоны и пр.) собирают из легких полимерных и прочих горючих материалов. А также часто за счет человеческого и техногенного фактора эти объекты пожароопасны. Возгорания могут иметь множественные очаги. При этом мы можем иметь картину подобную, как показано на рис. 5.43.

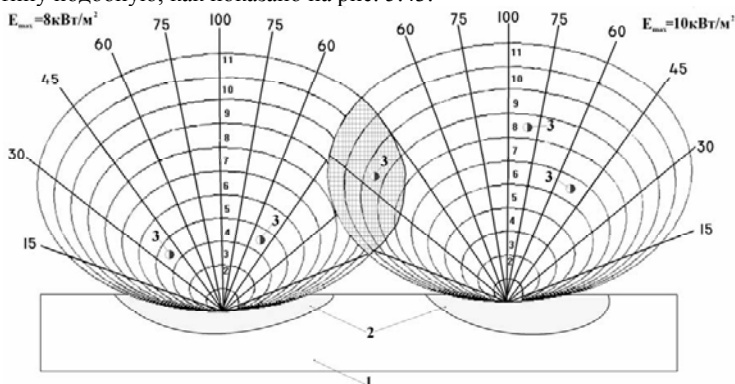


Рис. 5.43. Суммирование тепловых полей теплового излучения при многоочаговом возгорании: 1 – объект; 2 – очаг возгорания; 3 – размещение работников спецподразделений

Рассмотрим основозадающие формулы излучающего тела и пример суммарного облучения от нескольких источников (принимаям 2, хотя возможно и большее количество источников).

Если же источник будет иметь форму прямоугольника, то формулы несколько изменятся. Освещенность точки, находящейся на расстоянии h от одной из вершин светящегося прямоугольника:

$$E = \frac{L}{2} \left(\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \quad (5.6)$$

Эта формула следует из общей формулы:

$$E_{1-2} = \iint_{AA'} \frac{L \cos \theta' \cos \theta}{l^2} dA dA' \quad (5.7)$$

Данная общая зависимость – это левая часть интегрального уравнения полученного при рассмотрении обратной задачи радиационного излучения, состоящей в поиске температурного распределения на поверхности по известному полю полусферической плотности падающего излучения на них. Из закона сохранения энергии получено интегральное уравнение первого рода.

Рассмотрим общее положение системы источника излучения и облучаемого объекта. Пусть имеется некоторая произвольная замкнутая система серых диффузно излучающих тел, разделенных прозрачной средой (рис. 5.44, 5.45).

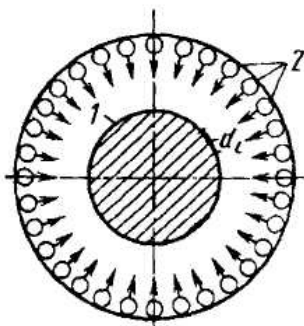


Рис. 5.44 Инфракрасный имитатор: 1 – испытываемый образец; 2 – излучатели

Одна из постановок обратной задачи в этом случае заключается в поиске температурного распределения на поверхностях тел $T(M)$ по известному полю полусферической плотности падающего излучения $E_{\Pi}(M)$

на них. На основании закона сохранения энергии эта задача в стационарном случае сводится к решению интегрального уравнения первого рода:

$$\int_F E_{\text{эф}}(N) \frac{\cos \theta_M \cos \theta_N}{\pi_{MN}^2} dF_N = E_{II}(M) \quad (5.8)$$

относительно полусферической плотности эффективного излучения $E_{\text{эф}}$ с последующим расчетом поля температуры $T(M)$ по формуле:

$$T(M) = \left\{ \frac{1}{\varepsilon \sigma} [E_{\text{эф}} - 1(1 - A)E_{II}] \right\}^{1/4} \quad (5.9)$$

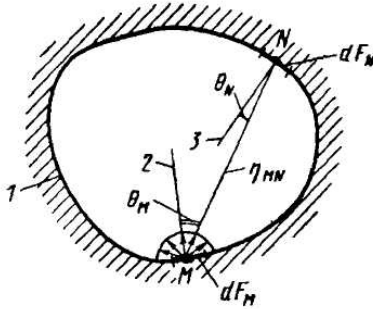


Рис. 5.45. Замкнутая система тел: 1 – диффузно излучающая поверхность F ; 2, 3 – нормали к поверхностям в точках M и N соответственно

Здесь под падающим излучением E_n понимается сумма поглощенного и отраженного поверхностью излучений. Эффективное излучение, исходящее с поверхности серого тела, представляет собой сумму собственного и отраженного излучений.

После преобразований зависимости (3) получим зависимость:

$$E_{\text{эф}}(M) = \iint_F E_{\text{эф}}(N) \frac{\cos \theta_M \cos \theta_N}{\pi_{MN}^2} dF_N \quad (5.10)$$

Рассмотрим систему дискретно излучающих источников (для примера два источника) с одинаковой интенсивностью излучения. Допустим, также, что есть два облучаемых объекта. Тогда на основе зонального метода составления уравнения теплового баланса, характеризующего равенство тепловых потоков, воспринимаемых каждым элементом в условиях облученности и заданных тепловых потоков q_1, q_2 (рис. 5.46).

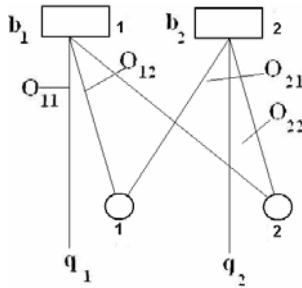


Рис. 5.46. Система дискретно излучающих источников

Приходим к системе линейных уравнений

$$\begin{cases} J_1 A_{11} \cos \theta_{11} + J_2 A_{12} \cos \theta_{12} = \frac{1}{\pi} q_1 \\ J_1 A_{21} \cos \theta_{21} + J_2 A_{22} \cos \theta_{22} = \frac{1}{\pi} q_2 \end{cases}, \quad (5.11)$$

где A_{ij} - поглощательная способность i -того элемента по отношению к j -тому излучателю; θ_{ij} - угол направления от j -того излучателя на i -тый облучаемый элемент; J_k - искомая интенсивность K излучателя.

Эта задача решается достаточно просто, так как является линейной системой уравнений. Так в случае двух источников излучения и двух объектов облучения имеем:

$$J_1 = \frac{1}{\pi} \frac{q_2 A_{11} \cos \theta_{11} - q_1 A_{21} \cos \theta_{21}}{A_{11} A_{22} \cos \theta_{11} \cos \theta_{22} - A_{12} A_{21} \cos \theta_{12} \cos \theta_{21}} \quad (5.12)$$

$$J_2 = \frac{1}{\pi} \frac{q_1 A_{22} \cos \theta_{22} - q_2 A_{12} \cos \theta_{12}}{A_{11} A_{22} \cos \theta_{11} \cos \theta_{22} - A_{12} A_{21} \cos \theta_{12} \cos \theta_{21}} \quad (5.13)$$

Общая система уравнений для n облучаемых элементов и m облучателей примет вид:

$$\pi \sum_{j=1}^m J_j A_{ij} \cos \theta_{ij} = q_i, \quad i = 1, n \quad (5.14)$$

Для наглядности примем схему проведения измерения энергии излучения от источника теплового излучения по нормали от нескольких источников теплового излучения (рис. 5.46).

Для оценки термонапряженности на рабочих местах в зависимости от источников излучения (на пожаре) был разработан алгоритм и программное обеспечение, позволяющее быстро оценивать пожарную опасность

источников излучения, что позволяет безопасно расположить технологическое оборудование при тушении пожара и снизить риск травмирования и гибели работников спецподразделений.

При создании программного обеспечения были введены следующие допущения.

1. В качестве расчетной формулы использовали формулу 5.6.

2. В качестве источника теплового излучения приняли два типа излучателя: - круговые (локальные очаги теплового излучения (возгорания)), и односторонние (горящие площади больших размеров).

Зону предельно-граничного распределения тепловых полей ограничили величиной в 70 Вт/м^2 .

Для односторонних излучателей предусмотрены поправочные косинусные прямые с учетом Ламбертовского распределения.

5. Задан шаг температурного поля (сетки) в зависимости от интенсивности излучения источника и его размеров.

6. Определены значения интенсивности облучения E_n для каждого шага сетки.

7. Карта тепловых полей должна проектироваться в горизонтальной плоскости на 360° либо 180° , в зависимости от типа источника.

Измерения терморadiационного излучения на рабочих местах работников ГСЧС проводились разработанными на кафедре БЖД ГВУЗ «ПГАСА» радиометром с использованием стандартного датчика теплового потока, прошедшего поверку и имеющего паспорт, со специально разработанной приемной головкой [159, 161].

РАЗДЕЛ 6. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных нами исследований было установлено, что применяемые приборы и методы исследования высокоинтенсивных источников теплового излучения на рабочих местах горячих производств не позволяют оценить реальные условия, что не дает возможности объективно подходить к применению существующих и разработке новых средств коллективной и индивидуальной защиты работников. Поэтому, возникла необходимость в проведении опытно-промышленных исследований полученных нами результатов.

Исследования условий труда проводились по разработанной нами методике на рабочих местах с избыточными тепловыделениями, а также разработка мероприятий и средств, направленных на улучшения условий труда в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами. Для этого необходимо было исследовать экспериментально основные характерные данные, а также путем физического моделирования этих характерных данных с последующей математической обработкой распределения тепловых полей в рабочем пространстве источников избыточного теплового излучения технологического оборудования.

Исследования условий труда работающих в условиях повышенного теплового излучения проводились на ряде предприятий: запорожском заводе по изготовлению режущих инструментов им. Войкова (обследовано 8 рабочих мест), на заводе строительных материалов в Ново-Александровке (обследовано 4 рабочих места), а также в отделении цеха по изготовлению строительных изделий из стекломассы (обследовано 2 рабочих места). На запорожском заводе «Сантехника ЗАЗ» в термическом цехе было обследовано 11 рабочих мест. Были обследованы и ряд других производств, однако в диссертации рассматриваются наиболее характерные места с высокоинтенсивными избыточными излучениями. Всего было обследовано более 25 рабочих мест. При этом, из ряда обследованных рабочих мест были выбраны рабочие места с максимально возможным тепловым облучением.

6.1. Исследование условий труда на рабочих местах предприятия изготовления строительных инструментов им. Войкова г. Запорожье, цех механической и термической обработки режущего инструмента.

Из списка обследованных мест нами были выбраны рабочие места №116, 12а – с максимальной облученностью 800 Вт/м^2 (рис.6.1).

По стандартной методике при обследовании рабочих мест измерялась интенсивность теплового облучения только от источника теплового излучения. По методике, разработанной автором, было проведено сканирование теплового поля по дуге 360°C использованием спектральных фильтров. При этом, были выявлены неясные скрытые источники теплового

излучения недоступные при обычных исследованиях. При прямом излучении, рис.5.3., от деталей, нагреваемых в индукторе установки ТВЧ, облученность достигала 560 Вт/м^2 при нахождении в зоне индуктора набора нагретых изделий, при этом спектральный максимум длины волны излучения приходится на $1,4\text{-}2,5 \text{ мкм}$.

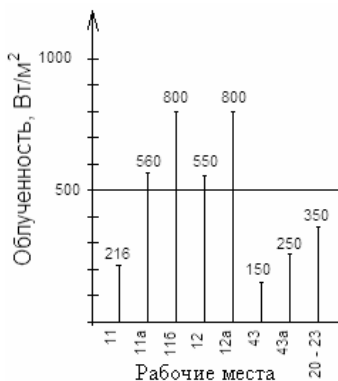


Рис. 6.1. Рабочие места участка термической обработки режущих инструментов

Нами при исследовании теплового поля в рабочей зоне был выделен неявный дополнительный источник периодически пульсирующего действия – движение нагретых изделий по лотку для сброса в корзину. При этом, величина облученности тела оператора в районе поясницы периодически меняется от 216 Вт/м^2 до 560 Вт/м^2 , в зависимости от размера изделия (резец или фреза) и одновременно от количества изделий в желобе. Детали имеют температуру в пределах $500\text{-}600 \text{ }^\circ\text{C}$, максимум спектрального излучения приходится в диапазоне $5\text{-}7 \text{ мкм}$. Также неявным источником теплового излучения является корзина с остывающими изделиями, общий вес которых может достигать 200 кг , а облученность может достигать 800 Вт/м^2 , т.е. больше, чем прямое излучение от изделий в индукторе установки ТВЧ (рис.6.1 – 6.2).

Таким образом, нами было выявлено неблагоприятное одновременного воздействие 3-х источников теплового излучения с разным спектральным составом. Следует учесть, что ранее источники теплового излучения E_2 и E_3 не учитывались ни службой охраны труда предприятия, ни СЭС. Следует отметить, что особенно неблагоприятные условия труда проявляются в переходной период осень-зима, зима-весна. Необходимо, при этом, учесть неоднородный температурный градиент по высоте от пола до уровня головы оператора, так и в рабочем пространстве. Дополнительным неблагоприятным фактором является электромагнитное излучение от индуктора установки твч, вызывающее разогрев кистей рук, а также световое излучение точечного

источника места сварки, вызывающего слепящее действие на оператора, а также условия микроклимата.

При этом, отмечено, что спинка вращающего сидения, которое выполнено из черного железа, нагревается тепловым излучением от корзины с остывающими изделиями (величина излучения доходит до 800 Вт/м^2).

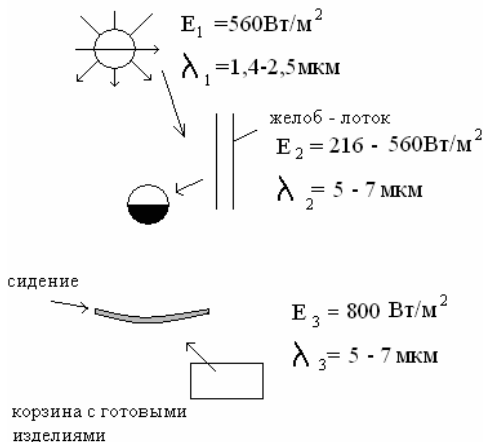


Рис. 6.2. Схема воздействия тепловых полей на рабочие места 116, 12а

Проведенные экспериментальные исследования при работе установок ТВЧ №11, №12 позволили установить, что на операторов в рабочей зоне одновременно оказывают воздействие до 3-х источников излучения: от установки при разогреве деталей – $E_1=560 \text{ Вт/м}^2$, от корзины с накоплением разогретых заготовок – E_3 до 800 Вт/м^2 , от катков и участков желоба при передаче заготовок в корзину E_2 до 560 Вт/м^2 . При этом, наблюдается тепловое излучение со следующими спектрами: $\lambda=1,4-2,5 \text{ мкм}$ и $\lambda_3=5-7 \text{ мкм}$, т.е коротковолновое и длинноволновое, что является одной из причин возможно целого ряда заболеваний. Интенсивность излучения в рабочей зоне (радиус 2 м), значительно превышает допустимое значение (140 Вт/м^2) при допустимой площади облучения тела до 25 %.

На предприятии ранее не учитывалось влияние неявных источников избыточного теплового излучения на оператора, не симметричного типа.

На основании комплексного обследования условий труда по методике, разработанной автором, предложены средства защиты оператора от избыточного теплового излучения:

Для защиты от источников: $E_1 - 560 \text{ Вт/м}^2$; $E_2 - 560 \text{ Вт/м}^2$; $E_3 - 800 \text{ Вт/м}^2$: были предложены следующие меры:

В качестве коллективной защиты рабочего места оператора

предусмотрено применение экранирования (рис.6.3).

Экран 1 – устройство, состоящее из теплозащитных стекол ЗАТОС, ЛИТОС с воздушной прослойкой 20-30 мм и естественным охлаждением.

Экран 2 и 3 – комбинированное устройство – теплоотражающий и теплопоглощающий экран.

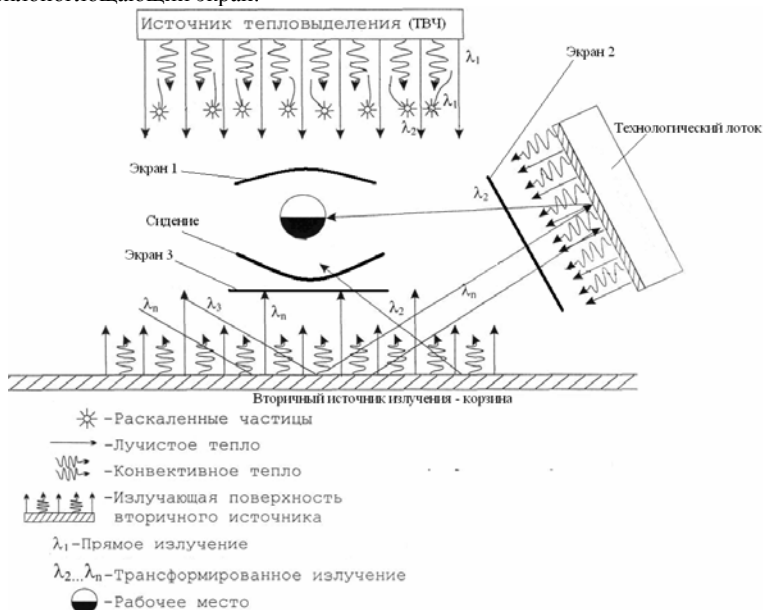


Рис.6.3. Экранирование рабочего места оператора.

Предложено на металлическом экране использовать в качестве покрытия алюминиевую фольгу с минеральной ватой ($\delta=50\text{мм}$) – УРСА ДСТУ Б.В.2.7-56-2010 (коэффициент отражения до 97 %, коэффициент теплопроводности изоляционного слоя 0,038-0,051 Вт/м⁰С, группа горючести Г1, температура воздействия на экран 250⁰С).

Также возможно применение экрана с алюминиевого полированного листа с изоляцией минеральной или стекловатой толщиной $\delta=50\text{мм}$.

При этом необходимо учитывать требования ГОСТ ССБТ 12.1005-78 и ГОСТ ССБТ 12.4.176-89 [138, 139.]

Защита головы: на голове оператора установлен защитный щиток с полупрозрачной металлизированной пленкой, выполняющей роль оптического фильтра и экрана от ВЧ излучений.

Защита рук: перчатки оператора выполнены из металлизированной полимерной ткани, защищающей от теплового и ВЧ излучения.

Защита тела: куртка оператора имеет нагрудник из металлизированной ткани на уровне действия теплового излучения E_1 . На уровне действия избыточного теплового излучения E_2 от лотка с деталями, с правой стороны куртки нашита металлизированная ткань. Для защиты спины и поясницы оператора от избыточного теплового излучения корзины с готовыми изделиями E_3 , спинка сидения была выполнена сплошной со стороны источника избыточного излучения и покрыта отражающей теплоизоляцией ТМ «Изолон», которое состоит из фольгированного пенополиэтилена, где используется химически чистая полированная алюминиевая фольга, отражающая до 90% теплового излучения (рис.6.4).

Отражающая изоляция ТМ «Изолон», ту2244-012-0020-3476-2009, производитель НПО «Изолон», г. Ижевск, Россия. Толщина до 20мм (полированная алюминиевая фольга). Температура применения «Изолона» в качестве экрана до $+140^{\circ}\text{C}$.

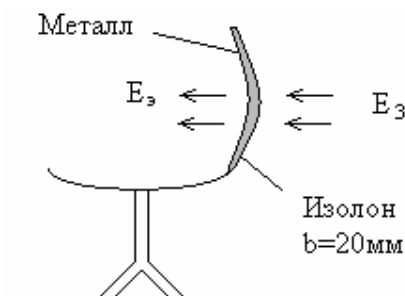


Рис. 6.4. Теплозащита рабочего места оператора, путем усовершенствования сидения

После установки теплозащиты на спинку сидения оператора при помощи измерительного комплекса, разработанного автором, проведены замеры облученности до применения защиты и после теплоизоляции сидения.

До теплозащиты сидения оператора тепловое излучение действовало на спину оператора величиной от 600 до 800 Вт/м². После установки теплозащиты облученность спины оператора снизилась до 50 Вт/м² и температура нагрева до 50 °С. При этом, коэффициент теплозащиты составил:

$$\eta = \frac{E_3 - E_3}{E_3} = \frac{800 - 50}{800} = 0,94$$

Исследования показали, что при защите рабочих мест операторов ТВЧ от негативного влияния не только непосредственных, но и неявных второстепенных источников ИК-излучения на данном производстве более эффективно применение экранов из алюминиевой фольги или отполированного алюминия, а также окрашенного стального листа

титаномагниевыми алюминиевыми белилами или напыленного алюминия чем применения металлических стальных экранов. Так, установлено, что эффективность защиты экранов с алюминиевым покрытием открытых рабочих мест в начальной стадии достигает 90-94 % при интенсивности излучения от 0,7 до 3,5 кВт/м² (при использовании однослойных экранов) и при интенсивности 3,5-8,5кВт/м² (при использовании комбинированных экранов – отражающая пленка и теплопоглощающий материал (асбест, минеральная вата, вспученные теплозащитные материалы)).

Однако в процессе эксплуатации в течение 1 года в реальных условиях производств защитные свойства таких экранов снижаются до 65-70%.

В дальнейшем по истечении примерно 1 года эксплуатации при обновлении нанесения повторного слоя алюминиевой фольги или напыления краски на экран, практически, сохраняется контроль эффективности защиты рабочих мест (рис.6.5.).

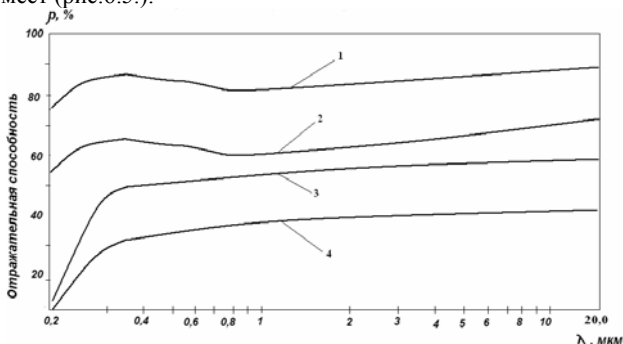


Рис. 6.5. Спектры отражения от поверхности экранов:

- 1 – отполированная фольга из алюминия (начальная стадия эксплуатации);
- 2 – полированное железо (начальная стадия эксплуатации);
- 3 – полированная фольга после 1 года эксплуатации;
- 4 – полированное железо после 1 года эксплуатации.

В результате проведенных мероприятий на рабочих местах и применения средств индивидуальной защиты операторов на участке изготовления строительного инструмента предприятия им. Войкова г. Запорожья были выполнены требования ДСН 3.3.6.042-99 «Государственные санитарные нормы микроклимата производственных помещений». Средства промышленной вентиляции, как показали исследования при достаточной эффективности средств защиты от ИК-излучения должны выполнять вспомогательную роль – довести температуру воздуха на рабочих местах до уровня комфортности с минимальными эксплуатационными затратами (в жаркие периоды года).

6.2. Разработка мероприятий и средств защиты по улучшению условий труда на рабочих местах завода стройматериалов Ново-Александровке.

Ново-Александровский завод стройматериалов характеризуется значительными тепловыделениями, различающимися как по температуре, так и по величине теплового излучения на рабочих местах. Наиболее характерными как по выполняемой работе, так и по условиям труда были выбраны 4 рабочих места и зоны их обслуживания. Максимальные уровни облучения представлены на рис.6.6.

Тепловое излучение от печи обжига кирпича по периметру рис.5.17. Характеризуется относительно небольшими уровнями теплового излучения до 780 Вт/м^2 и температурами излучающей поверхности $70\text{-}150^\circ\text{C}$. Максимум спектра излучения приходится на длину волны $\lambda=7\text{-}14\text{ мкм}$. Такое излучение превышает допустимые нормы, а спектр излучения также действует на рефлекторные рецепторы. Учитывая огромную площадь стен обжиговой печи в рабочее пространство и по всему объему цеха, особенно в летнее время, поступают значительные тепловые потоки, вызывающие неблагоприятные условия труда. Необходимо учесть перемещение огромных масс воздуха, что вызывает сквозняки и перепады температур в пределах от уровня пола до 2 м, т.е. в пределах роста человека.

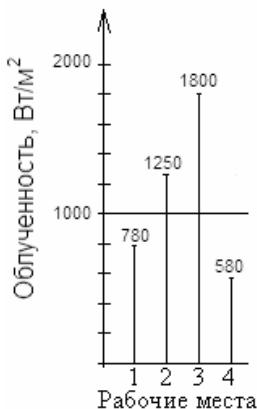


Рис. 6.6. Рабочие места, участок обжига кирпича в Ново-Александровке

Для уменьшения теплового излучения от поверхности в пространство цеха нами предложено покрыть стены обжиговой печи по периметру композитным покрытием IV вариант (рис.4.42), состоящего из кристаллического кварца, окиси магния, окиси титана, строительного гипса, измельченного магнезита, окиси бария затворенных на жидком стекле. На рис.4.42. Видно подъем отражательной способности в области $\lambda=7,5\div 14 \text{ мкм}$, до 80 %, что хорошо согласуется с максимум излучения поверхности

обжиговой печи, рис.5.17, рис.6.7.

В качестве теплоизоляции использованы теплоизоляционный газобетон М125, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,5$ Вт/м⁰С ДСТУ Б.В.27-164-2008.

Предложено производить нанесение композитным покрытием на подготовленную поверхность предварительно закрепленного газобетона. Это позволяет не только обеспечить снижение ИК-излучения, но и экономить энергетические ресурсы (экономию энергоресурсов (газа) до 10-15 %.

Учитывая максимальную облученность от стен обжиговой печи в 800 Вт/м² и отражательную способность покрытия IV варианта до 94 % (с учетом применения теплоизоляции) можно определить эффективность экранирования – ослабления избыточного теплового излучения.

$$\eta = E_{\max} * \rho = 800 \cdot 0,94 = 758 \text{ Вт/м}^2$$

где, η – степень ослабления; e_{\max} – облученность Вт/м²; ρ – отражательная способность, %.

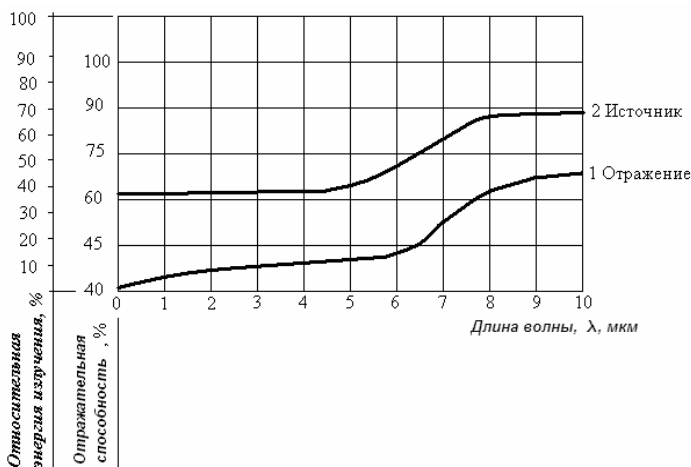


Рис. 6.7. Спектры максимума излучения стен обжиговой печи и отражательной способности покрытия IV варианта

Т.е. остаточное облучение составляет $800-758=42$ Вт/м² на расстоянии 1 м от обжиговой печи. Если принять реальное расстояние нахождения обслуживающего персонала в 2 м то остаточное облучение составит $42 \text{ Вт/м}^2 \cdot 0,06=25,2 \text{ Вт/м}^2$, что в 4,5 раз уменьшит выделение тепла в рабочее пространство цеха.

Вторым источником излучения на рабочие места является выгрузка с печи готового продукта, интенсивность теплового облучения составляет до 1250 Вт/м², индикатриса распространения тепловых полей (рис.5.18).

Максимум спектра излучения от открытого окна печи составляет $+800^{\circ}\text{C}$ – $+1000^{\circ}\text{C}$, при степени черноты $\varepsilon=0,8-0,85$, (рис.4.20 и 4.21) находится в пределах $\lambda=2,0-2,1$ мкм, а от готового продукта – тележки с остывающим кирпичом с температурой $+100$ – $+200$ $^{\circ}\text{C}$ (рис.4.23), максимумом спектра излучения 8мкм.

Таким образом, на рабочие места действуют два источника теплового излучения с различными длинами волн.

Для защиты от коротковолнового излучения от окна печи достаточно одежды из алюминизированной ткани, но излучение от тележки длинноволновое, вызывающее дополнительное вредное воздействие на открытые части тела – лицо, руки. Поэтому рекомендовано для защиты рабочих на тележки с готовой продукцией со стороны захвата установить теплозащитные экраны, изготовленные из двух слоев – вспученного теплоотражающего материала со стороны остывающего кирпича и фольгопласта (рис.6.8).

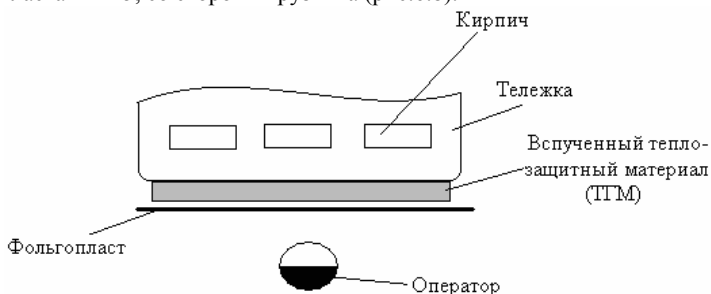


Рис. 6.8. Теплозащита грузчика готовой продукции

Фольгопласты марки Ф состоят из стеклосетки и полированной алюминиевой фольги, отражательная способность до 97 %. Температура применения до 180°C .

В качестве вспученного теплоизолирующего материала используется трудногорючий материал (ТГМ), изготовленный на основе латексов синтетических каучуков и наполнителей (плотных стеклосфер) с добавками антипиренов. ТГМ стойкий к воздействию температур до 280°C , малое водопоглощение, стоек к маслам и агрессивным средам, высокая адгезионная прочность. Прочность до 5 МПа, коэффициент теплопроводности до $0,03$ Вт/ $\text{м}^{\circ}\text{C}$, отнесен к трудногорючим материалам – Г-1.

При контроле температуры технологического процесса, (рабочее место №3), распределение тепловых полей представлено на индикатрисе рис.5.19. Максимальный уровень облученности оператора достигает 1800 Вт/ м^2 , а спектральный максимум излучения приходится на $\lambda=1,5-3,7$ мкм.

Для защиты оператора автором предложено пешеходные площадки движения оператора по замеру температуры и наблюдения за режимом

обжига снабдить теплозащитным экраном разработанным автором, аналогично рис.6.8. Эффективность такого экрана достигает 97% с учетом отражательной способности до 90% и вспененного теплозащитного материала, который защищает фольгопласт от высоких температур выше +100 °С. Остаточное излучение через такой теплозащитный экран составит $1800 \cdot 0,03 = 54 \text{ Вт/м}^2$, что обеспечивает защиту оператора в пределах нормы. Расположение такого экрана представлено рис.6.9.

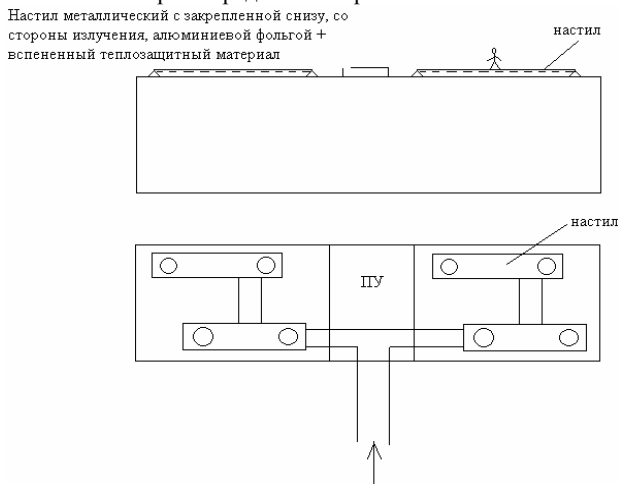


Рис. 6.9. Расположение теплозащитных экранов на пешеходных площадках

Проведенные исследования позволили снизить тепловое воздействие на работающих и выполнить требования санитарно-гигиенических норм – ДСН 3.3.6.042-99 «Государственные санитарные нормы микроклимата производственных помещений».

6.3. Разработка мероприятий и средств защиты от теплового излучения на рабочих местах стекловарочного цеха.

При варке стекломассы, формировании стеклоизделий, отжиге и остывании готовых изделий диапазон температур меняется от 1600 °С до 100 °С на выходе готового продукта, а спектральный максимум изменяется λ от 1,3-0,8 мкм (рис.6.10).

Выбираем в качестве примера для разработки мероприятий и средств защиты по улучшению условий труда по тепловому фактору рабочее место № 70. Температура внутренней поверхности стекловаренной печи достигает +1200-1300 °С, степень черноты 0,92-0,96 спектральный максимум излучения $\lambda = 1,5-2,5 \text{ мкм}$. Круговые индикатрисы распределения тепловых полей представлены на рис.5.21. На формовщика воздействует

высокотемпературное излучение из окна стекловарочной печи и от формованной стекломассы с температурой +800-900 °С.

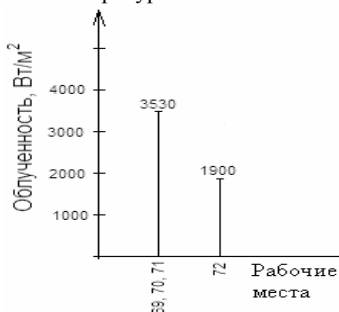


Рис. 6.10 Рабочие места стекловарочного цеха

Рассмотрим основные два источника избыточного теплового излучения – открытое окно стекловарочной печи, формы с готовыми изделиями, и неявное второстепенное, низкотемпературное излучение от поверхности печи. Для уменьшения избыточного теплового излучения от поверхности стекловарочной печи, температура которой достигает 100-150 °С поверхность боковых стен и верха печи покрывается разработанным автором теплозащитным покрытием IV вариант с коэффициентом отражения теплового излучения до 80%, точка А, рис. 6.11. Сверху него наносится вспененное теплозащитное покрытие, а поверх него располагается фольгопласт. В результате температура поверхности стен и верха печи была снижена до 40 °С.

Для защиты формовщика стекломассы предусмотрен защитный рабочий костюм из алюминизированной ткани и защитная полумаска с теплозащитным прозрачным щитком для защиты глаз.

Применение костюма позволяет снизить облученность тела формовщика до допустимых норм. Защитный костюм из алюминизированной ткани обладает эффективностью до 80%. Излучение от стекломассовых форм достигает 500-600 Вт/м². Таким образом через теплозащитный костюм проходит:

$$600 \cdot 0,8 = 480 \text{ Вт/м}^2 \text{ – отраженное излучение.}$$

$$600 - 480 = 120 \text{ Вт/м}^2 \text{ – пропущенное излучение.}$$

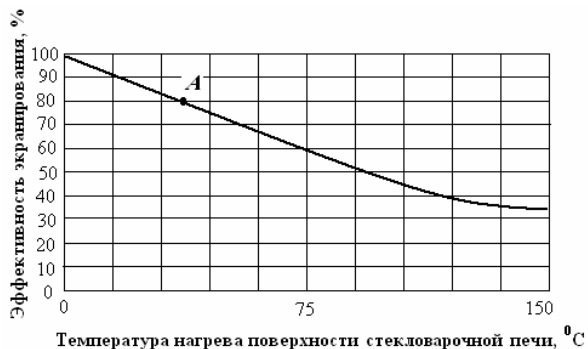


Рис. 6.11 Температура нагрева поверхности стекловарочной печи до и после применения теплозащитного покрытия



Рис. 6.12. Теплозащита рабочих мест при выдаче и формировании изделий из стекломассы

Аналогично решен вопрос теплозащиты погрузчиков и отжигальщиков при работе у обжиговой печи (рис.6.13).



Рис. 6.13. Теплозащита рабочих мест у обжиговой печи

Таким образом, при внедрении предложенных автором мероприятий и разработанных средств защиты на рабочих местах в стекловаренном цехе

условия труда по тепловому фактору были приведены в соответствие с санитарными нормами.

6.4. Внедрение результатов исследования и улучшение условий труда при избыточном тепловом излучении на рабочих местах термического участка ООО «Сантехника ЗАЗ».

При анализе условий труда на рабочих местах в термическом цехе выявлен ряд рабочих мест с избыточным тепловым излучением, которые представлены на рис.6.14.

Наиболее сложным в отношении разработки мероприятий и средств защиты от теплового избыточного излучения является рабочее место № 72 рис.5.21. Облученность рабочего места достигает 8352 Вт/м². Обычно поддон с нагретыми деталями перемещается специальными захватами и отправляется в ванну с раствором солей, аналогично рис. 6.15. На рабочего действует излучение, защита на предприятии не предусмотрена.

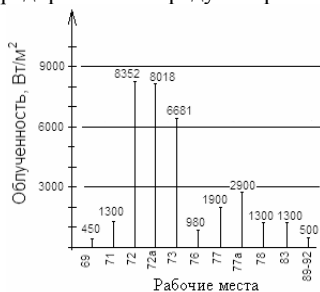


Рис. 6.14. Облученность на рабочих местах

Для защиты рабочего от высокоинтенсивного излучения нами предложена схема механизации операции выемки нагретых изделий и перемещения их с поддоном в ванну с расплавом солей.

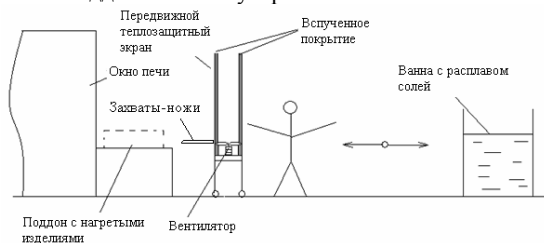


Рис. 6.15. Схема применения механизации тяжелых условий труда с использованием передвижного теплозащитного экрана

Передвижной теплозащитный экран имеет захваты – ножи, состоит из

двух алюминиевых экранов – отполированных с фронтальной и тыльной стороны. Внутренние стороны теплозащитного экрана покрыты зачерненным материалом, состоящим из смеси сажи и жидкого стекла, которое при воздействии высоких температур вспучивается. В пространстве между листами расположен вентилятор (соотношение наполнителя: жидкое стекло 30:70).

Принцип работы теплозащитного экрана рис.6.15 заключается в следующем. Фронтальный лист полированного алюминия имеет коэффициент отражения, (с учетом загрязнения) не менее 80-90%. При этом, пропущенная часть излучения (принимаем среднее значение облученности) $8200 \text{ Вт/м}^2 \cdot 0,9 = 7380 \text{ Вт/м}^2$. $8200 - 7380 = 820 \text{ Вт/м}^2$. Второй лист с тыльной стороны экрана, обращенной к рабочему пропустит $820 \text{ Вт/м}^2 \cdot 0,9 = 738 \text{ Вт/м}^2$. $820 - 738 = 82 \text{ Вт/м}^2$.

Но учитывая загрязненность полированных частей теплозащитных экранов, необходимо повысить эффективность экранирования за счет принудительного конвективного охлаждения внутренних сторон алюминиевых листов, покрытых чернящим покрытием, улучшающего теплоотдачу алюминиевых листов.

Для наблюдения за ходом работы предусмотрены смотровые окна из специального теплоотражательного стекла ЛИТОС и ЗАТОС. При исследовании эффективности экрана получена зависимость температуры нагрева тыльной стороны теплозащитного экрана от времени воздействия на него теплового излучения в 8200 Вт/м^2 (рис.6.16).

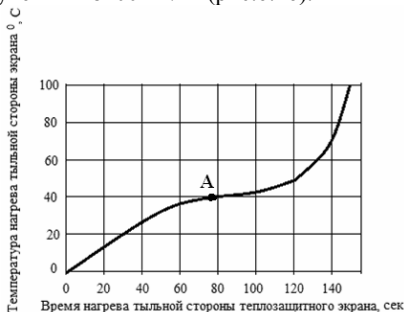


Рис. 6.16. Зависимость нагрева тыльной стороны экрана при воздействии теплового излучения 8200 Вт/м^2

При исследовании было установлено, что на поверхности экрана температура $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ достигает за время 75 секунд (точка А). Время же перемещения поддона с нагретыми изделиями в ванну с расплавленными солями занимает 30 секунд. Таким образом, экран при перемещении от нагревательной печи до ванны не успевает нагреваться, а тыльная сторона экрана не нагревается выше $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует санитарным нормам. Остальным рабочим местам с избыточным тепловым излучением были даны

также рекомендации по теплозащите, однако в данной работе не рассматриваются подробно.

Как показывают проведенные исследования, возникает необходимость защитить обслуживающий персонал от действия избыточного теплового излучения с учетом в каждом случае спектральной составляющей излучения для каждого рабочего места.

Это могут быть теплозащитные экраны, одежда специальная, маски, специальные покрытия и краски. Комплекс средств защиты подбирают с учетом эффективности в соответствии с максимумом и спектром излучения источника, а также постановкой задачи: поглощения, отражения и т.д.

6.5. Выбор и разработка средств защиты от негативного влияния теплового излучения.

В результате созданного комплекса контрольно-измерительных приборов, позволяющего определение спектрального, векторного, количественного и качественного состава избыточного излучения на каждое рабочее место в зоне действия источников теплового излучения были составлены паспорта-индикатриссы расположения тепловых полей, построены графики изменения уровня избыточного теплового излучения в зависимости от расстояния до источника. Все уровни избыточного теплового излучения на рабочих местах представлены в виде линейных диаграмм, а также была составлена обобщенная диаграмма комплексного исследования условий труда на рабочих местах различных производств (рис.6.17-6.20).



Рис. 6.17. Диаграмма условий труда участка обжига кирпича – Ново-Александровка: 11 – операция укладки пластин; 11а, 11б – детали в желобе и корзине готовых изделий; 12 – операция пайки пакета пластин; 12а, 12б – корзина с остывающими изделиями; 43, 43а – пайка изделий на ТВЧ и закалка; 20-23 – приварка хвостовиков метчиков



Рис. 6.19. Диаграмма условий труда рабочих мест (69, 71, 72, 72а, 73) термического участка ООО «Сантехника ЗАЗ»: 69, 71, 72, 72а, 73 – отпуск деталей

В начальной стадии производится анализ выпускаемых промышленностью СЗТИ (тип, марка, вид, эффективность).

- по выявленным характеристикам источников интенсивного теплового излучения производим анализ наиболее пригодных к использованию выпускаемых промышленностью средств индивидуальной защиты.

Так, выпускаемая одежда подразделяется:

- одежда специальная для защиты от повышенных температур. Костюм мужской ТИ. ГОСТ 12.4.045-78, тип Б и В. Костюм женский ТИ. ГОСТ 12.4.044-87, тип Б. Для повышения эффективности защиты на передние части одежды, плечевые, нашиваются накладки из специальной алюминизированной ткани с эффективностью – 90 % типа ИВНИИПИК;

- фартуки специальные. ГОСТ 12.4.029-76 тип В. На основу которых также нашивается специальная теплоотражательная алюминизированная ткань;

- рукавицы T_n и T_p . ГОСТ 12.4.010 тип Е с крагами и T_n и T_p . ОСТ 17-528-85. Тыльная сторона которых покрыта специальной теплоотражательной алюминизированной тканью;

- щиток для защиты лица и глаз с наголовным креплением, с бесцветным ударопрочным органическим стеклом НБТ-1, ТУ-64-1-456-76. На внутреннюю поверхность, со стороны лица, на прозрачное оргстекло накатана специальная лавсановая пленка с двухсторонним алюминиевым покрытием. Для связки использован технический вазелин, наносимый перед накатыванием.



Рис. 6.20. Диаграмма условий труда рабочих мест (76, 77, 77а, 78, 83, 89-92) термического участка ООО «Сантехника ЗАЗ»: 76, 77, 77а – отпуск деталей; 78 – закалка деталей; 83 – извлечение деталей при открытой крышке с вынутой ретортой; 89-92 – отпуск деталей в вакууме

На рис.6.22 представлена эффективность выбранных средств защиты от высокотемпературных воздействий. Среди них теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоизолирующие, комбинированные экраны, а также экраны и покрытия разработанные нами. На основании проведенных исследований (рис.6.21, 6.22) нами были даны рекомендации по улучшению условий труда на рабочих местах горячих производств по тепловому фактору (табл.6.1).

В результате проведенных нами исследований и анализа негативного влияния ИК-излучения, выпускаемых промышленностью и предложенных автором теплозащитных средств, для защиты работающих от ИТИ на предприятиях: завод им. Войкова, Ново-Александровский завод стройматериалов, цех строительных стеклоизделий, термический участок ООО «Сантехника», были рекомендованы к использованию и установке следующие индивидуальные и коллективные средства защиты (табл.6.2) с их кодом и техническими характеристиками.

Внедрение полученных результатов исследований на предприятиях: запорожском заводе по изготовлению режущих инструментов им. Войкова, заводе строительных материалов в Ново-Александровке, отделении цеха по изготовлению строительных изделий из стекломассы в термическом цехе, на запорожском заводе «Сантехника ЗАЗ» позволили по предложенной нами методике провести комплексные исследования условий труда на данных предприятиях и определить эффективные средства защиты рабочих мест с учетом влияния высокотемпературных источников излучения.

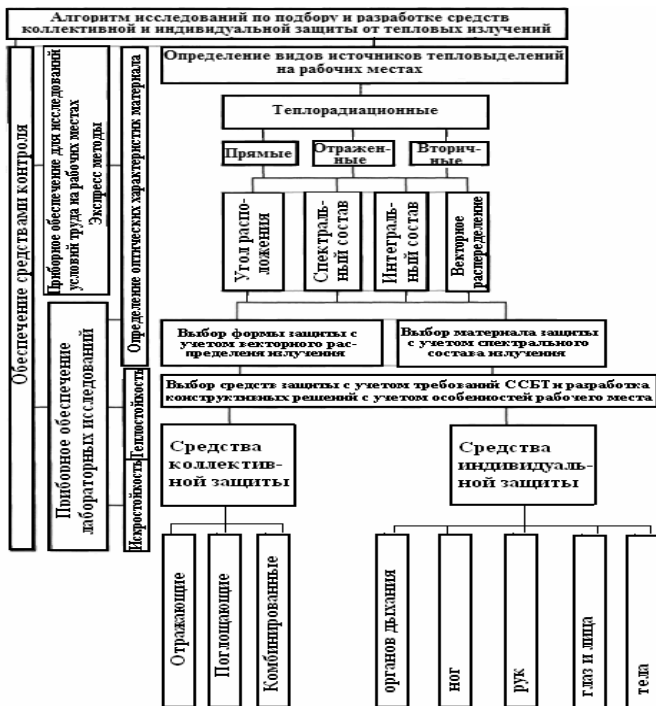


Рис. 6.21. Алгоритм исследований по подбору и разработке средств коллективной и индивидуальной защиты от тепловых воздействий

Таблица 6.1. Эффективность индивидуальных и коллективных типовых СЗТИ рекомендуемых к решению задачи

№ п/п	СЗТИ	Код	Допустимая облученнос ть, кВт/м ²	Эффектив ность СЗТИ, %	Допустимая температура эксплуатации, °С	Диапазон спектральной эффективности, мкм	Эффектив ность защиты от искр
1	Экран отражающий	5	14	80-90	400	0,76-10	+
2	Экран теплопоглощающий	5	12	25-75	300-500	0,76-10	+
3	Экран комбинированный	5	14	90-96	350	0,76-10	+
4	Экран полупрозрачный	5	7	50-60	200	2,5-10	+
5	Экран прозрачный	5	5	70-80	200	2,5-10	+
6	Воздушный душ	8	3	60-65	0	0	-
7	Водораспыление	8	8	50-60	100	2,5-10	-
8	Маски МТЗ	7	10	60-70	200	2,5-10	+
9	Одежда алюминизированная ЦВНИПО	1	11	50-60	120	1,5-10	+
10	Стекло «ЗАТОС»	5	7	50-100	120	2,6-10	+
11	Стекло «ЛИТОС»	5	6	60-70	120	0,76-10	+
12	Теплозащитная ткань «ЧЕХОЛЬ»	6	10	96	200	0,76-10	+
13	Ткань полимерная с ПХС	6	10	90	300	0,76-10	+
14	Покрывало, разраб. автором	7	10	80	350	0,76-10	+
15	Фартуки специальные	2	5-6	80	100	0,76-10	+
16	Рукавицы специальные	3	6-8	80-90	200	0,76-10	+
17	Щиток для защиты глаз и лица	4	8-10	80-90	120	0,76-10	+

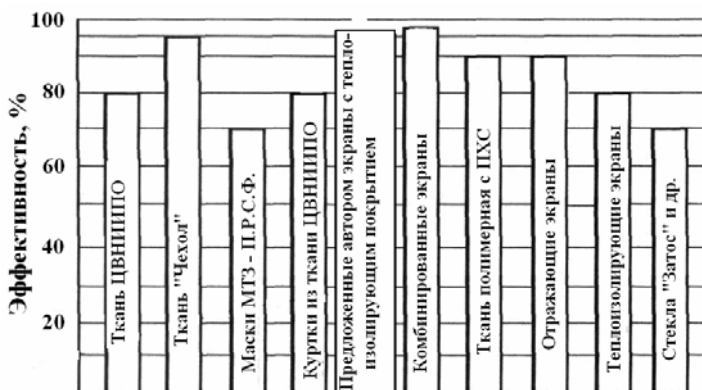


Рис.6.22. Оценочный график эффективности выбранных СЗТИ

Таблица 6.2. Рекомендации по улучшению условий труда

№ п/п	Код источника излучения	Код средств защиты от теплового излучения	Сопутствующий фактор
1	Завод им. Войкова	1. 2. 3. 4.5. 6. 8. 9. 10. 11. 15. 16.	Электромагнитное поле
	11, 12 20, 21, 22, 23, 43		
2	Ново-Александровский завод стройматериалов	1. 3. 2. 4. 5. 6. 9. 10. 11. 14. 16.	—
	5 РАБ. МЕСТ		
3	Цех строительных стекло-изделий	1. 2. 3. 4. 5. 12. 16. 17.	—
	69, 70, 71, 72, 73, 74, 75		
4	Термический участок ООО «Сантехника» 68, 69, 70, 71, 72, 72А, 73, 74, 75, 76, 77, 77А, 78, 83, 89, 90, 91, 92	1. 2. 3. 4. 6. 10. 11. 13.	— Электромагнитное излучение

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беликов А.С., Кожушко А.П., Сафонов В.В. / Охрана труда на предприятиях строительной индустрии / Под ред. д.т.н., профессора А.С. Беликова. – Днепропетровск: Федоренко А.А.- 2010.- 528с.
2. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С. Мельников О.В. Основы охорони праці. Підручник. – Вид 5-е доп. – Львів: Афіша, 2002. – 350 с.
3. Сахновский Я.Д. Физиологические особенности деятельности инфракрасного излучения. Сб. Вопросы гигиены. Харьков, 1958.
4. Галанин Н.Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. М.: Медгиз, 1969.- 175с.
5. Мелесова Л.М. Особенности терморегуляции в условиях конвекционного и лучистого обогрева. Гигиена и санитария, 1974, №6, С.18-21.
6. Дуганов Г.В., Стрежекуров Э.Е. Прибор для измерения терморadiационной напряженности рабочего пространства горячих цехов. Сб. Приборостроение.- К., 1981.- Вып.31.- С.6-9.
7. Стрежекуров Э.Е., Гашко С.В. Исследование терморadiационной напряженности в горячих цехах металлургического производства. Гигиена и санитария.- М.- 1980.- №9.- С.62-64.
8. Стрежекуров Э.Е., Гасило Ю.А. Дуганов Г.В. Улучшение безопасности труда рабочих горячих цехов металлургического производства. Деп. Укр. НИИНТИ. 524-УК 89.7.02.89.- 13с.
9. Бабалов А.Ф. Отражающие экраны для защиты рабочих от теплового излучения. М., Профиздат, 1954.
10. Бабалов А.Ф. К вопросу применения экранов отражения для защиты от излучения промышленных печей. Гигиена и санитария, 1950, Р7, с.4-5.
11. Жирнова Г.Е. ИЖ излучение на производстве и роль спектрального состава, его воздействие на организм человека. М.: Госмедиздат, 1955.
12. Жирнова Г.Е. Физиологические сдвиги в организме человека при воздействии длинно- и коротковолновой ИК радиации. Вопросы физиологического труда. К., 1955.
13. Кныш К.П. Действие ИК излучения различного спектрального состава на симпато-адреналовую систему. Сб. Гигиена населенных мест. Респ. межвед. сб. 1973, вып.12, С.141-147.
14. Левицкий В.А. Проблема лучисто-конвекционной теплоты. Гигиена труда и техника безопасности, 1934, №6, с.22-31.
15. Бабалов А.Ф. Расчет равномерности потоков облучения методом эпюр. В кн. Сб. научных работ институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1961, №4, С.47-52.
16. Закон Украины «Об охране труда». Законодательство Украины об охране труда (в трех томах), т.1.- Киев, 1995. -558с.
17. Сафонов В.В. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии. К.: Будівельник.- 1976.- 175с.
18. Калитин Н.Н. Несколько данных о проникновении лучистой энергии в живой организм человека. Гигиена, безопасность и патология труда, 1930, №2, 27с.
19. Курляндская Ю.Б. К механизму действия лучистой энергии. Автореф. дис. канд. мед. наук. М., 1959, С.2-55.
20. Летавег А. А., Малышева А.Е. Исследование по радиационному теплообмену человека с окружающей средой. Гиг. и сан.1941, №4, 25с.
21. Уквольберг Л.Я., Ящумова З.А. О влиянии инфракрасных радиации разных интегралов длин волн на организм человека. В кн. физические факторы

производственной среды и их влияние на состояние здоровья работающих. М., 1973, С.122-129.

22. Познанская И.Б. Кожная чувствительность к видимому и ИК облучению. Физиол.ж. СССР, 1938, с.24, в.4, С.474-783.

23. Зайдшнур И.А. Материалы по механизму действия на организм человека ИК радиации. В кн. физические факторы внешней среды. М., 1960, С.282-290.

24. Еловская А.Т. Влияние ИК радиации на некоторые физиологические функции организма человека. Автореф., дис. канд. мед. наук, Л., 1955.

25. Шахбазян Г.Х., Шлейман Ф.М. Гигиена производственного микроклимата. К., 1977, с.135.

26. Ажаев В.Н. Влияние длинноволнового ИФК облучения на тепловое состояние организма человека. Материалы всесоюзной научной конференции 1-4, ХП. 1968, М.

27. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963, 278с.

28. Горняев К.С. Проникающая способность организма для коротко-волновых ИФК. Гигиена труда и профзаболеваний, 1965.

29. Гордон Э.В. Температурная реакция кожи на воздействие лучистого тепла. В кн. Изменение в организме при действии лучистой энергии при охлаждении. Упр. ин-та Гигиены труда и профзаболеваний, 1940, т.23, с.45-78.

30. Каспаров А.А. Гигиена труда и промышленная санитария. М.: Медицина, 1977, с. 384.

31. Мальшева А.Е. ИК радиация (радиационное нагревание и охлаждение). В кн. Руководство по гигиене труда. М.: Медицина, 1965, т.1, С.218-269.

32. Бабалов А.Ф. Промышленная теплозащита в металлургии. М.: Металлургия, 1971, 232с.

33. Воробьева О.В. Защита от тепловых излучений. М.: Металлургия, 1969, С.139-142.

34. Геращенко О.А. Царенко Н.В., Сажина С.А., Грабовский В.В. Измерения лучистой составляющей в диапазоне спектра 1-8 мкм. Вестник Киевского политехнического института. Серийное приборостроение, 1977, вып.7, С.40-42.

35. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения, 2-е изд. перераб. и доп. М.: Гидрометеиздат, 1978, 392с.

36. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения. К.: Наукова думка, 1965, 304с.

37. Справочник по гигиене труда. Под. ред. Е.Д.Карпова, В.Е. Ковшило, 2-е изд. доп. и перераб. Л.: Медицина, 1979, 448с.

38. Клюгин С.А. Упрощенный метод расчета интенсивности теплового облучения и защитного действия экранов и воздушных душей. Гигиена и санитария. 1956, №12, С.24-29.

39. Стрежекуров Э.Е., Милютин В.Н., Гасило Ю.А., Гусар В.В., Щербинский В.Г., Вайнбаум С.Г. Графоаналитический метод определения теплового излучения. Деп. Укр. НИИНТИ. 2025 УК.89., 18.09.89.- 8с.

40. Гвозденко Л.А., Кузина А.С., Стрежекуров Э.Е., Волошин В.С. Гигиеническая оценка теплового излучения в современных мартеновских и электросталеплавильных цехах. Гигиена труда.- Респ. Межведомств. Сб.- К.: Здоровье, 1984.- Вып.20.- С.12-17.

41. Определение эффективности мероприятий по улучшению условий труда. Межотраслевые методические рекомендации. М.: НИИ труда, 1979, 61с.

42. Количественная оценка тяжести работ. Методические рекомендации. М.: НИИ труда, 1977, 68с.

43. Типовые внутрисменные режимы труда и отдыха рабочих промышленных предприятий. Межотраслевые рекомендации. М.: НИИ труда, 1977, 75с.
44. Типовые внутрисменные режимы труда, отдыха рабочих промышленных предприятий (межотраслевые методические рекомендации). М.: НИИ труда, 1977, 52с.
45. Методические рекомендации по применению теплозащитных средств в горячих цехах металлургической промышленности. К.: Минздрав УССР. 1983, 33с.
46. Губернский Е.Д., Корневская Е.И., Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. М.: Медицина, 1978, 192с.
47. Теплозащита в металлургии. Справочник. Петров С.В., Шорин А.Ф. М.: Металлургия, 1981, 120с.
48. Теплоизоляционные и отделочные полимерные строительные материалы: Сб.т.р.- Вып.66 / ВНИ Стройполимер // гл.ред. А Полуянов.- М., 1989.- 127с.
49. Табушников Ю.А. и др. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю.А. Табушников, Д.Ю. Хромец, Ю.А. Матросов.- М.: Стройиздат, 1986.- 379с.
50. Исследование отражательной способности теплозащитных материалов. Астронавтика и ракетодинамика. /5.-И./, 1975, №7, С.27-42.
51. Steck В., Die Entzwicklung des optischen Strallung (Licht, UV und IR) duf Organismus des Menschen.-Fechn. Wiss.Abb.Oszam.les:1973,-s.416-428.Bd.-II.
52. Летавет А.А., Тейлор Д.Х. Уф, видимые и ИК лучи. В кн. Основы космической биологии и медицины, совм. сов.-ам. изд., т. II, кн.2, М.: Наука, 1975, 59с.
53. Черняев Ю.С. Оптические характеристики кожного покрова человека в гигиеническом диапазоне их области спектра. Гигиена труда и профзаболевания, 1967, № 3, С.47-49.
54. Zuchiesh Oppllications of Germicidal Erythema and infrared Energy. 1946.
55. Куксинская Т.Е., Либерман В.Б. Влияние прерывности теплового облучения на организм человека. В кн.сб. научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1968, вып.54, С.51-57.
56. Лондон Н. Борьба с тепловым облучением на производстве. М.: Металлургия, 1967, 40с.
57. Вабалов А.Ф. Альбом эпюр облучения рабочих мест в горячих цехах заводов черной металлургии. Тбилиси, ВНИИОТ ВЦСПС, 1967, 128с.
58. Левицкая М.А. Инфракрасные лучи. М.-Л.: Академия наук, 1935.- 136с.
59. Бабалов А.Ф., Петров С.В. Спектральная характеристика промышленных источников тепла. Тбилиси, ВПИПОТ ВЦСПС, 1966, №17, С.1-7.
60. Стрежекуров Э.Е., Стрежекурова Е.А. Методы исследования условий труда и эффективности теплозащитных средств в горячих цехах металлургической промышленности. В кн. тез. докл. научн.-техн. конф. «Молодежь и технический прогресс».- Липецк.- 1982.
61. Стрежекуров Э.Е., Гасило Ю.А. Шуваев Э.А. Новый радиометр для измерения лучистого тепла с использованием микро-ЭВМ. В кн.тез. докл. «Совершенствование исследований в области охраны труда в вузах страны» М.: МАТИ.- 1990.
62. Стрежекуров Э.Е., Крамной В.П., Харченко П.П., Печерский Б.Ф. Паспортизация горячих цехов промышленных предприятий. Инф. листок №91-147. ЗЦНТИ.- Запорожье.- 1991.
63. Стрежекуров Э.Е., Гасило Ю.А. Защита от теплового излучения и рекомендации по проектированию теплозащитных средств. В кн. тез. докл. 11 научн.-техн. семинар по проблемам охраны труда и окружающей среды.- М.- 1987.
64. Стрежекуров Э.Е., Гасило Ю.А. Теплозащитный экран. Инф. листок №88-062. ЗЦНТИ.- Запорожье.- 1988.

65. Справочник по приборам инфракрасной техники. Л.З.Криксунов, В.А.Волков, В.К.Вялов и др. Под ред. Л.З.Криксунова. К.,Техніка, 1980, 232с.
66. Стрежекуров Э.Е., Гашко С.В. Особенности исследования терморadiационной напряженности в металлургических цехах. Гигиена труда и профзаболеваний.- М.- 1981.- №5.
67. Calle R.I. The longwaze radiation incideht upon the external Surface of Luillings.- Build. Serw Eng. 1976, 44, №9, P. 195-206.
68. Гасило Ю.А., Стрежекуров Э.Е. Синтез и рганизация самостоятельной работы студентов в учебной работе и научной деятельности кафедры по вопросам исследований условий труда в горячих цехах. Поиск-89. Сб. тез. докладов 1 научн.-метод. семинара.- М.- 1989.
69. Яковенко В.А., Стрежекуров Э.Е., Крикунов Г.Н. Паспортизация промышленных источников теплового загрязнения окружающей среды. тез. докл. студ. конф. Донецк 18-20 марта 1995.
70. Исследование терморadiационной напряженности на рабочих местах и разработка рекомендаций по улучшению условий труда. Тема 913/89. Госрегистрация №0189.0048968 Зак. «Моторостроитель».
71. Стрежекуров Э.Е. Повышение безопасности труда на рабочих местах с повышенным тепловым излучением: Дис.... канд. техн. наук / Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. - Днепропетровск, 2002. - 173с.
72. Стрежекуров Э.Е., Гасило Ю.А., Шуваев Э.А. Метод определения интегрального теплового потока на рабочих местах металлургической промышленности. Деп. Укр. НИИНТИ. Ук.90, 18.09.90.- 5с.
73. Марголин И.А., Румянцев Н.Н. Основы инфракрасной техники. М., Воениздат, 1957, с.308.
74. Поскачей А.А., Губарев Е.П. Оптико-электронные системы измерения температуры.- М.: Энергия.- 1979.- 208с.
75. Методические рекомендации по определению облученности рабочих мест световым моделированием. ВНИИОТ ВЦСПС, Тбилиси, 1978, с.9.
76. Зиберт В. Определение отражательной способности строительных материалов. Ж. Техническая физика, 22.130. 1941, с.48-55.
77. Академия наук УССР. Ордена трудового красного знамени институт проблем материаловедения. НПО. Термоприбор, датчики для измерения температуры в промышленности. К.: Наукова думка, 1972.
78. Рагимов С.Ю. Нормирование теплового излучения на рабочих местах / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, В.А. Шаломов, Ю.Ф. Стаценко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, - 2009.- Вип.49.- С.183-187.
79. Рагимов С.Ю. Методика оценки эффективности работы огнезащитных покрытий / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Л.В. Дранишников, Г.Г. Капленко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, - 2010.- Вип.52.- ч.1.- С.5-12.
80. Рагимов С.Ю. Некоторые аспекты оптимизации исследования условий труда по микроклимату в промышленной индустрии / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, В.Д. Акиншин // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, - 2010.- Вип.52.- ч.2.- С.3-9.
81. Рагимов С.Ю. Теоретичні дослідження інтенсивності енергетичної освітленості робочого виробництва / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, В.А. Шаломов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук. пр. – Макіївка, - 2010.- т.2.- С.406-411.

82. Зайдшнур Н.А. Измерение времени зрительного ощущения под влиянием лучистой энергии различными длинами волн. Вопросы гигиены труда и профзаболеваний. М.: Академия наук СССР, 1948.
83. Линевег. Измерение температур в технике. Справочник. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1980, 544с.
84. Герашенко О.А. Основы теплотриетрии. Киев.: Наукова думка, 1971, 192с.
85. Куритник И.П., Стадник Б.И. Термоизмерения. Брош. Знание. Сер. Радиоэлектроника и связь. 1979. Вып.7.- 74с.
86. Стрежекуров Э.Е. Новый прибор / Пожарное дело.- М., 1980.- №9. С.27.
87. А.с. №1190686. Стрежекуров Э.Е., Стрежекурова Е.А. Устройство для измерения теплового потока.
88. Стрежекуров Э.Е., Долгов С.Н., Китаев В.П., Пузакин В.Г., Мирошниченко Б.А. Новый полимерный материал для защиты технологического оборудования от вредного воздействия избыточного теплового излучения. Инф. листок №91-017. ЗЦНТИ.- Запорожье.- 1991.
89. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. 3-е изд.- М.: Энергия, 1975.- 488с.
90. А.с. №1613881 Стрежекуров Э.Е., Белых К.Д., Тихонцов А.М., Смаль Н.М., Стрежекурова Е.А. устройство для измерения температур.
91. Рагимов С.Ю. Разработка универсальных номограмм для оценки интенсивности теплового облучения на рабочих местах // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель та споруд. – Макіївка, - 2010.- Вип.5(85).- С.406-411.
92. Рагимов С.Ю. Определение фактического предела огнестойкости защищенных металлических конструкций / М.М. Удянский, С.Ю. Рагимов // Пожежна безпека-2007: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, - 2007.- Вип.91.- С.262-267.
93. Рагимов С.Ю. К вопросу теоретических исследований интенсивности энергетической освещенности термических участков производства / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, А.М. Кравчук // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, - 2010.- Вип.8.- С.21-27.
94. Рагимов С.Ю. Моделирование изменения энергетической освещенности источников высокотемпературного излучения / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, В.А. Шаломов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, - 2010.- Вип.8.- С.50-54.
95. А.с. №1286995. Стрежекуров Э.Е., Стрежекурова Е.А., Гасило Ю.А., Долгов С.Н. Устройство для измерения отражательной способности материалов.
96. Андрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена.- М.: Энергия, 1972.- 464с.
97. Рагимов С.Ю. Исследование термодинамической напряженности на рабочих местах с высоким тепловыделением / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Г.Г. Капленко, В.И. Кравчук // Коммунальное хозяйство городов: сб. научн. тр. – Харьков. - 2011.- Вип.99.- С.3-8.
98. Пат. На корисну модель 64884 Україна, МПК F21V 11/00. Приймальний пристрій для енергетичних вимірювань / Беліков А.С., Капленко Г.Г., Рагімов С.Ю.; заявник і патентоволодар Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна). - №u201104118; заявл. 05.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл.№22.
99. Егоров Б.Н. Комплексное определение теплофизических свойств твердых материалов импульсно-адиабатическим методом / Б.Н. Егоров, В.С. Килессо // теплофизические свойства твердых тел.- К.: Наукова думка, 1971.- С.65-71.

100. Пат. 117106 РФ, МКИ G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических характеристик материалов / В.Н. Чернышов, Т.И. Чернышова, Э.В. Сысов. заявл. 04.08.97; опубл. 26.12.2000.
101. Рагимов С.Ю. Исследование термодинамической напряженности на рабочих местах с высоким тепловыделением / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Г.Г. Капленко // Безпека життєдіяльності в середовищі: Матеріали Міжнародної конференції. – Х.: ХНАНГ.- 2011.- С.41-43.
102. Разработка и изготовление устройства для измерения характеристик теплового излучения Тема 399/87. Госрегистрация №0187.0069976 Зак. ИВНИИПИК.
103. Методические рекомендации по определению теплотехнических показателей ограждающих конструкций в лабораторных условиях / НИИСК.- К., 1982.- 25с.
104. Рагимов С.Ю. Метод оценки времени сохранения несущей способности огнезащищенных металлических конструкций при пожаре / М.М. Удянский, С.Ю. Рагимов // Проблемы пожарной безопасности: сб. научн. тр. УГЗУ. – Харьков, - 2006.- Вип.20.- С.228-234.
105. Рагимов С.Ю. Методика расчета влияния пожара на легкие металлические конструкции, защищенные вспучивающимися огнестойкими покрытиями // Проблемы пожарной безопасности: сб. научн. тр. ХИПБ. – Харьков, - 1997.- Вип.2.- С.130-134.
106. Стрежекуров Э.Е. Особенности исследования терморadiационной напряженности в горячих цехах промышленности. Сб.научн.тр. Системные технологии. Днепропетровск, 1999.
107. Сафонов В.В., Стрежекуров Э.Е. Методика обследования условий труда на рабочих местах с избыточным тепловым излучением // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, - 2001.- Вип.13.- С.96.
108. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978.- 400с.
109. Милотин В.И., Раздобудько Э.В., Стрежекуров Э.Е. Термогравиметрическая установка с кварцевым пьезорезонатором. Деп.ст., Черкассы.- №38.- 1998.
110. Баталов В.С. Одновременное определение теплофизических параметров твердofазовых веществ // ИФЖ. 1982. Т.42.- №6.- С.1026-1027.
111. Афанасьев В.Н., Тартаковский Д.Ф. Имитационная модель датчика температуры для измерительных информационных систем // Теоретические и прикладные исследования в области систем измерений. Львов: Вища школа, 1987.- С.81-85.
112. Азизов А.М., Гордов А.Н. Точность измерительных преобразователей. Л.: Энергия, 1975.- 256с.
113. Дуганов Г.В., Чистяков В.Л., Стрежекуров Э.Е. Новый теплофизический прибор ТПМ. Сб. Приборостроение.- К., 1973.- Вып.13.- С.17-21.
114. Стрежекуров Э.Е. Приборы для контроля избыточного теплоизлучения. Экспресс-информация ВЦНИИОТ ВЦСПС. Охрана труда. – Вып.9-10.- 1984.- С.2-4.
115. Беляев Ю.И., Вент Д.П. Двигат Басам. Теплофизические приборы системы КБ «Теплофон». Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика, Т.10.- С.47-49.
116. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.- 414с.
117. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов теплообмена.- М.: Высшая школа, 1967.- 303с.
118. Аметистов Е.В. Основы теории теплообмена. М.: МЭИ, 2000.- 242с.
119. Топорец А.С. Отражение света шероховатой поверхностью. Оптико-мех.пром., 1979, № 1, с.34-46.

120. Рагимов С.Ю. Оценка эффективности огнезащитных покрытий и рациональных характеристик их нанесения на легкие металлические конструкции в зданиях и сооружениях // Проблемы пожарной безопасности: сб. научн. тр. ХИПБ. – Харьков, - 1998.- Вып.3.- С.131-134.
121. Hrensei D., Gaston A. Dieffuse and specular of reflectance; Why and how. - H.Nlum Eng. Inst 1978, 7, №4, s/240-245. Discus, P. 246-248.
122. Гасило Ю.А., Бельх К.Д., Стрежекуров Э.Е. Новая научно обоснованная методика разработки и исследования эффективности теплозащитных обмазок и покрытий. В кн. тез.докл. НТК. Севастополь.- 1991.
123. Рагимов С.Ю. Основные требования, предъявляемые к средствам защиты от инфракрасного излучения на рабочих местах / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Г.Г. Капленко // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства: Матеріали Третьої Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, - 2010.- Вип.91.- С.262-267.
124. Космическая оптика: труды IX международного конгресса международной комиссии по оптике / Пер. с англ. // А.В. Фролова, под ред. В.К. Аблекова, М.: Машиностроение, 1980.- 536с.
125. Рагимов С.Ю. Зависимость температуры металлической конструкции, покрытой огнезащитным покрытием, от температуры в помещении во время пожара / А.Ф. Стоянов, С.Ю. Рагимов // Пожежна безпека: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси: ЧПБ МВС України, - 1999.- Вип.91.- С.167-170.
126. Рагимов С.Ю. Обеспечение безопасных условий жизнедеятельности на рабочих местах с избыточным теплоизлучением / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, В.А. Шаломов // Безпека життєдіяльності як умова сталого розвитку сучасного суспільства: наук.-техн.. – Київ: Основа - 2011.- С.126-132.
127. Гасило Ю.А., Стрежекуров Э.Е., Дуганов Г.В. Новые теплозащитные материалы и методика определения их эффективности. В кн. тез.докл. 11 научн.-техн. семинара по проблемам охраны труда и окружающей среды. М.- 1987.
128. ДСН 3.3.6-037-99 Государственные санитарные нормы производственного шума, ультразвук и инфразвук.
129. ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.
130. ГОСТ ССБТ12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
131. Курепин В.В., Дикалов А.И. Определение теплофизических характеристик методом мгновенного теплового импульса при учете влияния контактных термических сопротивлений // ИФЖ. 1981. Т.40.- №6.- С.1046.
132. Буравой С.Е. Установка для измерения истинной теплоемкости жаростойких материалов в режиме охлаждения / С.Е. Буравой, Е.С. Платунов // Теплофизика высоких температур.- 1966.- Т.4, №3.- С.459-462.
133. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В.А. Осипова.- М.: Энергия, 1979.- 319с.
134. Падерин Л.Я. Расчетное исследование погрешностей контактного метода измерения температур поверхностей неметаллических материалов в условиях лучистого теплообмена / Л.Я. Падерин // Теплофизика высоких температур.- 1981.- Т.19, №6.- С.1277-1284.
135. Hennecke, D.K. Local heat sink on a convectively cooled surface application to temperature measurement error / D.K. Hennecke, E.M. Sparrow // Yintern. J. Heat. Mass Transfer.- 1970.- Vol.13, N2.- P. 15-21.
136. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.- 330с.

137. Видин Ю.В., Иванов В.В. Расчет температурных полей в твердых телах, нагреваемых конвекцией и радиацией одновременно. Красноярск, 1965.- 95с.
138. ГОСТ ССБТ 12.4.176-89 Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека.
139. ГОСТ ССБТ 12.4.123-83 Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
140. Сафонов В.В., Стрежекуров Э.Е. Методика защиты рабочих от избыточного теплового излучения в горячих цехах промышленности // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, - 2001.- Вип.13.- С.96.
141. Дуганов Г.В., Чистяков В.Л., Стрежекуров Э.Е. Новые приборы, применяемые для измерения теплофизических характеристик горных пород. Сб. Приборостроение.- К., 1972.- Вып.12.- С.3-5.
142. А.с. №1419277. Стрежекуров Э.Е., Милютин В.Н., Китаев В.П., Долгов С.Н. Радиометр для измерения тепловых потоков.
143. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.:В.Ш., 1967.- 599с.
144. Чернышов В.Н. Анализ и синтез измерительных систем / В.Н. Чернышов и др.- Тамбов: ТГТУ, 1995.- 234с.
145. А.с. №1381379. СССР, МКИ G01N25/18. Способ комплексного определения теплофизических характеристик материалов и устройств для его осуществления / В.Н. Чернышов и др. 1988. Бюл.№10.
146. Елисеев В.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование погрешности измерения температур термопарами в теплоизоляционных материалах / В.Н. Елисеев, В.А. Соловов // Инженерно-физический журнал.- 1983.- №5.- С.737-742.
147. Гусева Л.И. Комплексные исследования теплофизических характеристик теплоизоляционно теплозащитных материалов длительного и многоразового применения: Автореф.дис. канд.техн.наук. М., 1981.- 20с.
148. Стрежекуров Э.Е. Комплекс новых приборов для исследования и контроля непроизводительных потерь избыточного теплового излучения и определение эффективности теплозащитных материалов. Инф. листок №91-218. ЗЦНТИ.- Запорожье.- 1991.
149. Стрежекуров Э.Е., Долгов С.Н., Китаев В.П. Прибор для оценки отражающей способности ИК-излучения различных материалов. В кн. тез.докл. НТК Новое в технологии искусственных кож и пленочных материалов. Иваново.- 1990.
150. Марков М.Н. Приемники инфракрасного излучения. М.: Наука, 1968.- 168с.
151. Гасило Ю.А., Стрежекуров Э.Е., Дуганов В.Г. Специальные эффективные средства индивидуальной защиты для рабочих горячих и вредных производств. В кн. тез.докл. «Совершенствование исследований в области охраны труда в вузах страны» МАТИ.- М.= 1990.
152. Стрежекуров Э.Е. Комплексное решение задач теплозащиты рабочих мест и охраны окружающей среды от теплового загрязнения. В кн. тез. Приборы для экологии – 92. Ужгород.- 1992.
153. Мищенко С.В., Чуриков А.А., Подольский В.Е. Метод неразрушающего контроля при исследовании температурной зависимости теплофизических характеристик массивных образцов // Вестник ТГТУ, 1995. Т.1. №3-4.- С.246-254.
154. Власов В.В. и др. Теплофизические измерения: Справочное пособие по методам расчета полей, характеристик теплопереноса и автоматизации измерений. Тамбов, 1975.
155. Герашенко О.А. Температурные измерения: Справочник / О.А. Герашенко, А.Н. Гордов, В.И. Лах.- К.: Наукова думка, 1984.- 496с.

156. Стрежекуров Э.Е., Крикунов Г.Н., Сафонов В.В. Использование теплозащитных полимерных материалов для защиты технологического оборудования и людей от избыточного солнечного излучения. сб. тез и докл. ПГАСА.- 1994.
157. Стрежекуров Э.Е., Крикунов Г.Н., Сафонов В.В. Использование полимерных материалов для защиты строительного оборудования и людей от избыточного теплового излучения. Сб.труд.. ДГТУ.- 1996.
158. Стрежекуров Э.Е. Прибор ТПИ-1 для определения эффективности теплозащитных средств и материалов. Инф. листок Серия 1305.05 №81-47. ЗЦНТИ.- Запорожье.- 1981.- 4с.
159. Контроль высокотемпературного излучения на рабочих местах / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов, А. С. Чаплыгин // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 80 : Стародубовские чтения – 2015. – С. 49-54.
160. Аметистов Е. В. Основы теории теплообмена / Е. В. Аметистов. – Москва : МЭИ, 2011. – 242 с.
161. Решение задач по защите работников спецподразделений в условиях экстремальных ситуаций по тепловому воздействию / А. С. Беликов, Э. Е. Стрежекуров, В. А. Шаломов, С. Ю. Рагимов, С. П. Кордунов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 82 : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – С. 25-31.
162. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – Москва : Мир, 2005. – 934 с.
163. Ишук И. Н. Численное решение задачи теплопроводности при исследовании ИК-сигнатур объектов специального мониторинга / И. Н. Ишук, В. В. Михайлов, А. В. Парфирьев // Нелинейный мир. - 2014. – Т. 12, № 3. - С. 20-23.
164. Мошаров В. Е. Пирометрия с использованием П.З.С.-камер / В. Е. Мошаров, В. Н. Радченко, И. В. Сенюев // Приборы и техника эксперимента. - 2013. - № 4. - С. 132-137.
165. Охрана труда в строительстве : учебник / [Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н. и др.]; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
166. Пиданов И. Н. "Рецепт оптики" для туннельной печи / И. Н. Пиданов // Измерительная техника. – 2010. - № 1. – С. 49-52.
167. Фрунзе А. В. Расчетный метод определения температуры спектрального отношения / А. В. Фрунзе // Измерительная техника. - 2010. - № 6. - С. 39-41.
168. Шевчук В. П. Диагностика и прогноз эффективности функционирования информационно-измерительных и управляющих систем / В. П. Шевчук // Метрология. - 2014. - № 7. - С. 24-38.
169. Hespel L. Radiative properties of scattering and absorbing dense media: theory and experimental study / Hespel L., Mainguy S., Grajef J.-J. // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. – 2013. – Vol. 77. – P. 193–210.
170. Makino T. Thermal radiation properties of ceramic materials / T. Makino, T. Kunitomo, I. Sakai // Heat Transfer - Japanese Research. – 2014. – Vol. 13, № 74. – P. 33–50.
171. Nicolau V. P. Spectral radiative properties identification of fiber insulating materials / V. P. Nicolau, M. Raynaud, J.-F. Sacadura // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 37, suppl. 1. – P. 311–324.
172. Wentink T. Infrared emission spectra / T. Wentink, W. G. Planet // Journal of the Optical Society of America. – 2011. – Vol. 51, №. 36. – P. 595–603.

Научное издание

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ

Беликов Анатолий Серафимович
Рагимов Сергей Юсубович
Петренко Анатолий Олегович
Шаломов Владимир Анатольевич
Удянский Николай Николаевич
Соколов Дмитрий Львович
Шаранова Юлия Григорьевна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА
РАБОЧИХ МЕСТАХ С ПОВЫШЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ
ИЗЛУЧЕНИЕМ**

монография

Здано на складання 09.12.2017. Підписано до друку 09.12.2017. Формат 60×84/16. Папір офсетний. Друк ризографічний. Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 7,01. Обл.-вид. арк. 7,5. Тираж 10 прим. Зам. № 12128

Видавництво «*Літограф*»
Ідентифікатор видавця у системі
ISBN 978-617-7540-12-9
Адреса видавництва та друкарні:
49000, м. Дніпро, вул. ім. М.В. Гоголя, 10/а, оф.38.
тел. : (066) 369-21-55, (056)713-57-25
E-mail: Litograf.dp@gmail.com