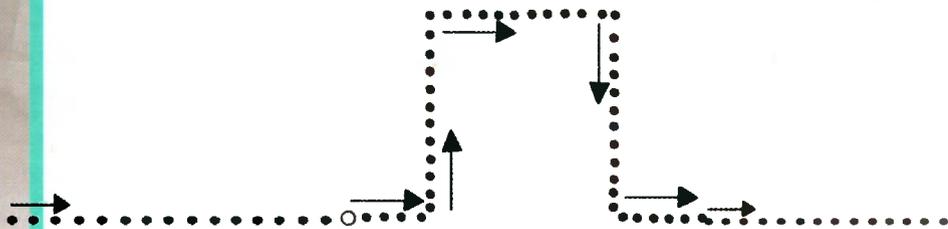
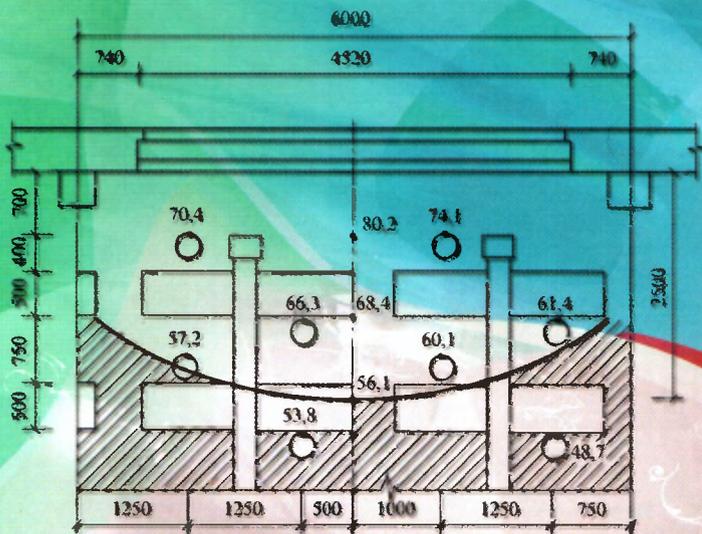


Умняков П.Н.

# ТЕПЛОВОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ



П. Н. Умняков

# ТЕПЛОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области сервиса и туризма  
в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений*



МОСКВА  
2009

УДК 34.5(075.32)  
ББК 621я723  
У54

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор Московского государственного университета сервиса *В. Н. Малахин*;  
доктор технических наук, профессор Российского заочного института текстильной и легкой промышленности *М. И. Сапронов*;  
заслуженный и почетный работник текстильной и легкой промышленности, доцент, кандидат технических наук ОАО «АКРО» *Н. В. Соколов*

**Умняков П. Н.**

У54 Тепловой и экологический комфорт. Проектирование процессов оказания услуг : учебник / П. Н. Умняков. — М. : ФОРУМ, 2009. — 448 с. : ил. — (Высшее образование).

ISBN 978-5-91134-230-2

Рассмотрен широкий круг вопросов теплового и экологического комфорта на различных сервисных предприятиях, расположенных в производственных зданиях. Приведены многочисленные примеры расчета зон теплового комфорта и дискомфорта; гигиенически целесообразной температуры для наружных стен и оконных заполнений в зависимости от соотношения их площадей; термовлажностных свойств рабочей одежды с учетом энергозатрат человека; систем кондиционирования воздуха для создания экологически благоприятных условий на производстве в летнее и зимнее время и др.

Материал учебника базируется на проведенных автором теоретических и экспериментальных исследованиях по конвективно-лучистому теплообмену человека в рабочей одежде и его связи с воздушной средой помещений, технологическими процессами и теплозащитными свойствами наружных стен и светопрозрачных конструкций.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Сервис» и «Проектирование процесса оказания услуг», специализаций «Сервис на предприятиях индустрии моды», «Основы химизации технологических процессов», «Основы технологии обработки швейных изделий для индивидуального потребления», «Технологические процессы в сервисе», а также «Конструирование швейных изделий», «Технология изделий из кожи», «Технология текстильных изделий» и «Технология швейных изделий», «Технология обувных и кожгалантерейных изделий», «Экономика и управление на предприятиях». Будет полезен широкому кругу специалистов, работающих в сервисной индустрии.

УДК 34.5(075.32)  
ББК 621я723

ISBN 978-5-91134-230-2

© Умняков П. Н., 2009  
© Издательство «ФОРУМ», 2009

# Предисловие

---

---

XXI век должен стать веком здоровой производственной среды для человека, веком энергосбережения тепловой энергии в зданиях, веком инновационных технологических процессов, веком создания комфортных тепловых и экологических условий на предприятиях, когда тепловой баланс между человеком и окружающими поверхностями (технологическим оборудованием, стенами, окнами) не будет способствовать перегреву в летнее время и переохлаждению в зимнее время года, а концентрация загрязняющих веществ от технологических процессов не будет угрожать здоровью человека.

На предприятиях сервиса в настоящее время работает более 20 % всего трудоспособного населения страны. В этой связи успешное освоение студентами методов расчета по определению теплового и экологического комфорта в производственных помещениях, выбора конструкции одежды с заданными теплофизическими свойствами, которые при различных энергозатратах человека во время его работы исключают образование в слоях одежды конденсата в виде капельно-жидкой влаги и обеспечат сбережение тепловых ресурсов на сервисных предприятиях, будет способствовать эффективному развитию современной производственной отрасли сервисных услуг.

Глобальное потепление климата на земле приводит к тому, что поддержание в летнее время года требуемых параметров воздушной среды по температуре, относительной влажности и скорости движения воздуха на предприятиях сервиса возможно будет поддерживать, только используя системы кондиционирования.

По всем этим перечисленным вопросам в учебнике даются практические рекомендации, что особенно важно для студентов как будущих работников сервисной отрасли.

В книге, состоящей из девяти глав, заключения и приложений, рассматриваются вышеперечисленные аспекты данной проблемы.

**В первой главе** проанализированы причины обрывности нитей при изготовлении швейных изделий, деформации кож в зависимости от относительной влажности воздуха и возникновения электростатического электричества в нитях и тканях при технологических процессах.

Для различных видов работ в зависимости от уровня энергозатрат человека для производственных и административно-бытовых помещений приведены нормативные оптимальные и допустимые температуры, относительные влажности и скорости движения воздуха. Эти параметры микроклимата обеспечат благоприятные тепловые и экологические условия на рабочих местах.

**Во второй главе** изложены новые инженерные методы, разработанные на основе теплофизической модели одежды человека, которые позволили получать уравнение для определения температуры на внешней поверхности одежды; уравнения для расчета термовлажностных процессов в слоях пакета одежды в зависимости от влажности воздуха в пододежной воздушной прослойке и уровня энергозатрат человека; уравнения для определения коэффициентов теплоотдачи конвекцией у поверхности одежды человека, когда движения воздуха в рабочей зоне направлено на него под углом 30...90°.

Проведенное математическое моделирование по определению угловых коэффициентов облучения позволили разработать комплекс графических зависимостей в виде семейства кривых, которые позволяют определить лучистую составляющую теплообмена человека, находящегося в любой точке помещения.

Достоверность предложенной теплофизической модели одежды человека, воссоздающая реальные условия теплообмена человека в производственном помещении, подтверждается экспериментальными данными.

**В третьей главе** приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций, результаты исследований свободного конвективного теплообмена у внутренней вертикальной поверхности наружной ограждающей конструкции, граничащей с замкнутым объемом помещения, с полом и потолком, на одну часть которой воздействует струя от общего конвективного кольца, а на другую, кроме того, воздействует неизотермическая восходящая струя от отопительного прибора, расположенного под окном.

На основе решений уравнений гидродинамического и теплового пограничного слоя для конвективного теплообмена у внут-

ренной поверхности окна получены формулы для определения скорости на внешней границе пограничного слоя, толщины пограничного слоя и значений коэффициентов теплоотдачи.

Для инженерных расчетов получено уравнение, позволяющее определить температуру на внутренней поверхности посередине окна с учетом инфильтрации и эксфильтрации в зависимости от разности температур внутреннего и наружного воздуха, сопротивления теплопередаче и количества фильтрующего воздуха. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными теплотехническими исследованиями, проведенными в климатических камерах и натуральных условиях, показало их близкое совпадение.

**В четвертой главе** рассмотрен новый метод расчета зон теплового комфорта и дискомфорта на основе допустимого уровня теплоотдачи человека конвекцией и излучением с учетом теплозащитных свойств одежды, позволяющий создать комфортные условия труда и отдыха для всех категорий работников на предприятиях отраслей сервиса, включая основные и вспомогательные производства. Применение этого метода при расстановке рабочих мест на технологическом потоке в производственных помещениях, размещении инженерно-технических работников в помещении конструкторских бюро, управлений позволяет рационально использовать имеющиеся площади.

Проведенные исследования показали, что учет теплоизоляционных свойств одежды значительно сокращает зону теплового дискомфорта в пристенном участке помещения. Граница зоны теплового дискомфорта изменяется по параболической кривой. В помещении против середины окна оно достигает своего максимума и по мере удаления от него уменьшается.

В рассмотренных ранее литературных источниках граница зоны теплового дискомфорта проходила параллельно плоскости наружного ограждения. Это приводило к необоснованному отнесению полезной площади помещения с комфортными тепловыми условиями к дискомфортным.

Установлено, что теплозащитные свойства одежды должны обязательно учитываться при расчете теплового состояния человека в производственных помещениях.

**В пятой главе** приведены расчеты теплового комфорта и дискомфорта при проектировании, реконструкции и техническом перевооружении сервисных предприятий. Для его выполнения даны теплофизические характеристики текстильных материалов, используемых в одежде работниц, и теплотехнические характе-

ристики экранированных материалов и различных конструкций окон.

На основе выполненных расчетов установлены границы, разделяющие зону теплового дискомфорта и комфорта.

Особое внимание уделено мероприятиям, позволяющим уменьшить размеры зоны теплового дискомфорта в производственных помещениях с постоянными рабочими местами.

В **шестой главе** рассмотрены пути оптимизации уровня теплового комфорта в рабочих зонах и улучшение условий труда за счет использования одежды с рациональными теплоизоляционными свойствами, перспективных оконных конструкций, эффективной воздухообработки и др.

В работе научно доказано, что повышение теплоизоляционных свойств одежды для зимних и летних условий можно достичь за счет применения для ее внешней поверхности материала с малыми коэффициентами излучения.

Введено новое понятие — гигиенически целесообразная температура внутренней поверхности посередине окна, обеспечивающая в пристенном участке помещения тепловой комфорт человека в одежде с теплозащитными свойствами, не превышающими  $0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Рассмотрены также вопросы нормирования теплозащиты ограждающих конструкций по гигиенически целесообразной температуре для внутренней поверхности посередине окна и наружной стены, базирующиеся на решении системы уравнений теплового баланса, исходя из условий: все теплопоступления в помещение от отопительного прибора и человека теряются через наружные ограждения; граница зоны теплового дискомфорта в центре пристенного участка минимальная; термические свойства пакета одежды определяются средней температурой внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи, а теплозащитные свойства окон с учетом инфильтрации — температурой внутренней поверхности по середине окна.

Рассмотрены практические пути уменьшения размеров зоны теплового дискомфорта в пристенном участке производственного помещения за счет улучшения теплозащитных свойств окон.

В **седьмой главе** приведена методика расчета параметров воздушной среды производственных помещений системами кондиционирования воздуха. Даны практические рекомендации по выбору отечественных кондиционеров.

В связи с глобальным потеплением эти вопросы становятся особенно актуальными. Системы кондиционирования должны создавать благоприятные условия теплового и экологического комфорта для работников, но и отвечать требованиям технологического процесса. На примере швейного, прядильного, трикотажного и обувного производств системами кондиционирования в цехах создается нормируемый искусственный микроклимат. В главе проанализирован температурно-влажный режим и влияние его параметров на технологический процесс и тепловое состояние человека в одежде заданной утепленности, которое оценивается по его фактическим энергозатратам.

В **восьмой главе** рассмотрены проблемы создания комфортных тепловых условий на рабочих местах при влажно-тепловой обработке деталей одежды. Процессы тепловой и влажно-тепловой обработки занимают существенное место в производстве швейных изделий, особенно в связи с выпуском высококачественной продукции.

В этой главе приведен инженерный метод расчета зон теплового комфорта и дискомфорта на операциях влажно-тепловой обработки изделий. Он позволяет на стадии технического перевооружения или реконструкции предприятия создать комфортные тепловые условия для работы оператора. Определена продолжительность рабочей смены оператора.

Глава восемь написана профессором, доктором техн. наук П. Н. Умняковым и доцентом, канд. техн. наук С. А. Лебедевым.

В **девятой главе** анализируется действие вредных веществ, образующихся при протекании технологического процесса и негативно действующих на самочувствие и здоровье человека.

Приведены гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредных веществ в воздушной среде производственных помещений.

В главе рассмотрены меры борьбы с вредными веществами в воздухе рабочей зоны по их уменьшению до предельно допустимых гигиенических требований.

**Заключение.** Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований особую актуальность приобретают для создания в производственных помещениях на рабочих местах условий теплового и экологического комфорта работникам отрасли при наблюдаемых тенденциях изменений климата на Земле.

Учебник «Тепловой экологический комфорт» рекомендован студентам, обучающимся по специальности «Сервис», «Проектирование процесса оказания услуг», специализаций «Сервис на предприятиях индустрии моды», «Основы химизации технологических процессов» и при изучении дисциплин «Основы технологии обработки швейных изделий для индивидуального потребления», «Технологические процессы в сервисе», а также для специальности «Конструирование швейных изделий», «Технология швейных изделий», «Технология обувных и кожгалантерейных изделий», «Технология текстильных изделий» и «Экономика и управление на предприятиях».

Предлагаемый учебник ориентирован на широкий круг работников сервисной отрасли. Использование его материалов на практике позволит улучшить условия труда на рабочих местах, что в итоге приведет не только к выпуску качественной продукции и изделий, но и повысит общий уровень отечественных сервисных услуг.

Автор выражает признательность профессору, доктору технических наук В. И. Малахину; профессору, доктору технических наук М. И. Сапронову и доценту Т. В. Панкиной, заслуженному и почетному работнику текстильной и легкой промышленности, доценту и кандидату технических наук Н. В. Соколову за ценные замечания и советы, сделанные при рецензировании учебника, а также В. А. Смирнову и Ж. С. Лукиной за техническую работу при подготовке рукописи к печати.

## Список условных обозначений

---

---

- $t_{в}$  — температура внутреннего воздуха, °С;  
 $t_{н}$  — температура наружного воздуха, °С;  
 $t_{\text{струч}}$  — температура по оси неизотермической струи, °С;  
 $\tau_{к}$  — температура поверхности кожи, °С;  
 $\tau_{ч}$  — температура внешней поверхности одежды человека, °С;  
 $\bar{\tau}_{ч}$  — средняя температура внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи, °С;  
 $\tau_{п.п}$  — температура поверхности пресса, °С;  
 $Q$  — количество теплоты, Вт/м<sup>2</sup> или Вт;  
 $\Theta$  — время, ч или сут;  
 $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · °С);  
 $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  
 $a$  — коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  
 $\alpha_{к}$  — коэффициент теплообмена конвекцией, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $\alpha_{л}$  — коэффициент теплообмена излучением, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $\varepsilon_{п}$  — степень черноты поверхности;  
 $\rho$  и  $\gamma$  — плотность воздуха или материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $C$  — коэффициент излучения поверхности, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  
 $\alpha_{в}$  и  $\alpha_{н}$  — коэффициент теплообмена на внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $\alpha_{ч}$  — коэффициент теплообмена на внешней поверхности одежды человека, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $R_0$  — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м<sup>2</sup> · °С/Вт;  
 $R_{\text{о.од}}$  — сопротивление теплопередаче пакета одежды, м<sup>2</sup> · °С/Вт;  
 $R_{п}$  — термическое сопротивление пакета одежды, м<sup>2</sup> · °С/Вт;  
 $u$  и  $v$  — скорость движения воздуха в пограничном слое и в помещении, м/с;  
 $\Delta p$  — разность давлений воздуха, Па;

- $J$  — количество фильтрующего воздуха, кг/(м<sup>2</sup> · ч);  
 $d_{\text{внеш}}, d_{\text{внутр}}$  — диаметр внешней и внутренней поверхности пакета одежды человека, м;  
 $Z$  — высота человека, м;  
 $L_{\text{внеш}}$  и  $L_{\text{внутр}}$  — периметр внешней и внутренней поверхности человека в одежде, м;  
 $h$  — высота светового проема, м;  
 $H$  — высота помещения, м;  
 $F_{\text{ч}}$  — площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>;  
 $c$  — удельная теплоемкость, Вт/(кг · °С);  
 $D$  — показатель тепловой инерции ограждения;  
 $s$  — коэффициент теплоусвоения материала, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $\varphi$  — относительная влажность воздуха, %;  
 $e$  — упругость водяного пара, Па;  
 $E$  — максимальная упругость водяного пара, Па;  
 $\mu$  — коэффициент паропроницаемости материала, г/(м · ч · Па);  
 $R_{\text{пар}}$  — сопротивление паропроницанию слоев одежды, м<sup>2</sup> · ч · Па/г;  
 $\delta$  — толщина слоя материала, м;  
 $i$  — теплосодержание воздуха, кДж/кг;  
 $d$  — влагосодержание воздуха, г/кг<sub>сухого воздуха</sub>;  
 $K$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  
 $\varphi_{\text{ч-п}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности человека на рассматриваемую поверхность.

## Критерии подобия

$$\text{Критерий Нуссельта: } Nu = \frac{\alpha h}{\lambda};$$

$$\text{Критерий Грасгофа: } Gr = \frac{gh^3\beta\Delta t}{\gamma^2};$$

$$\text{Критерий Рейнольдса: } Re = \frac{vl}{\nu};$$

$$\text{Критерий Прандтля: } Pr = \nu/a;$$

$$\text{Критерий Пекле: } Pe = RePr = \frac{vl}{a}.$$

# Введение

---

---

Предпосылкой для написания учебника послужило интенсивное развитие инфраструктуры сервисных отечественных производственных объектов, в которых необходимо создать условия теплового и экологического комфорта для работников, а здания должны отвечать современным требованиям энергосбережения. В сервисной отрасли в настоящее время работает несколько десятков миллионов человек.

К сожалению, этой важной проблеме в технической и, в частности, учебной литературе практически не уделено должного внимания. А единичные существующие публикации освещают отдельные локальные вопросы этой проблемы. В то же время во многих отраслях сервиса происходит модернизация технологических процессов за счет нового оборудования, позволяющего более рационально использовать производственный потенциал предприятия. Естественно, для работников отрасли должны быть созданы благоприятные условия микроклимата в производственных помещениях, а рабочая одежда должна обеспечивать благоприятные температурно-влажностные условия во время работы при различных энергозатратах человека. Нарушение этих условий может привести не только к профессиональным заболеваниям, но и серьезно подорвать здоровье. К числу производственных факторов, негативно сказывающихся на состоянии здоровья, относятся заниженная и повышенная температуры, относительная влажность, скорость движения воздуха, а также высокая концентрация загрязняющих веществ в производственной воздушной среде.

Так, резкое изменение температуры внутреннего воздуха оказывает негативное влияние на общее состояние организма. Врачами-гигиенистами доказано, что при температуре внутреннего воздуха 5...14 °С образуется зона повышенного теплообмена человека, а при температуре внутреннего воздуха 26...35 °С — зона пониженного обмена. Наиболее благоприятной температу-

рой для человека является температура 15...25 °С. При этой температуре организм человека практически находится в комфортных тепловых условиях.

В зоне повышенного теплообмена при температурах 5...14 °С особенно опасны для здоровья высокая относительная влажность и повышенная скорость движения воздуха, которая вызывает резкое охлаждение тела и его отдельных частей, что может привести к расстройству кровообращения и понижению иммунологических реакций организма. Резкое изменение температуры в помещении предрасполагает к различным простудным заболеваниям: катару верхних дыхательных путей, ревматизму, радикулиту, артрозам и другим заболеваниям суставов, а также к обострению хронических заболеваний.

Температура воздуха 26...35 °С при наличии высокой влажности приводит к перегреву организма. У человека краснеет лицо, учащается пульс и появляются аритмия, ощущение слабости и резкое снижение работоспособности.

Относительная влажность воздуха является не менее важным фактором для самочувствия человека. Нормальная относительная влажность воздуха составляет 30...60 %. Повышение значения относительной влажности воздуха выше 60 % вызывает затруднение отдачи влаги с поверхности кожи человека и приводит к нарушению влагообмена организма. Относительная влажность воздуха ниже 30 % вызывает усиленное испарение влаги с кожи и слизистых оболочек, создает неприятное ощущение сухости во рту и горле.

Повышенное содержание в воздухе аэрозолей различных видов пыли оказывает негативное влияние на организм человека, в частности, фиброгенное, аллергическое, токсическое и раздражающее действия.

Воздействие пыли преимущественно фиброгенного действия на организм человека зависит главным образом от содержания в ней свободного двуоксида кремния. Ряд видов пыли (пыль от кожи и льняных, хлопковых, шерстяных тканей) обладают аллергенными свойствами и часто вызывают заболевания носовой полости и бронхиальную астму.

Предельно допустимую концентрацию химических веществ в воздухе производственной среды устанавливают соответствующие санитарные нормы. Превышение их приводит к различным заболеваниям человека. Так, содержание в воздухе марганца

выше  $0,3 \text{ мг/м}^3$  вызывает прогрессирующее поражение центральной нервной системы и пневмонию, оксида азота более  $5 \text{ мг/м}^3$  — интоксикацию и респираторные заболевания и т. д.

Для предотвращения влияния на человека неблагоприятных микроклиматических условий не только на стадии проектирования новых предприятий, но и в существующих эксплуатируемых сервисных производственных помещениях необходимо произвести расчет конвективно-лучистого теплообмена между человеком в одежде с заданными теплофизическими свойствами и технологическим оборудованием, внутренними поверхностями ограждающих конструкций помещения. Это позволит определить зоны и участки теплового и экологического комфорта для работников сервисных предприятий.

Как следует из вышесказанного, поддержание нормативных параметров в производственной воздушной среде, включая полученные искусственным путем (приточно-вытяжной вентиляцией и системами кондиционирования воздуха), позволит работникам на предприятиях сервисного обслуживания находиться в экологической здоровой среде. Эти условия обеспечат эффективное расходование энергозатрат человека как на традиционных предприятиях, так и на объектах сервисного обслуживания, где применяются инновационные технологические процессы.

Рассматриваемая проблема полностью соответствует требованиям Государственного общеобразовательного стандарта высшего профессионального образования для студентов высших учебных заведений специальности «Сервис», «Проектирование процесса оказания услуг».

Молодые специалисты в своей практической деятельности сталкиваются с различными слоями населения, которым оказывают индивидуальные услуги. Они должны выявить и проанализировать их потребности и установить, какие из них будут пользоваться наибольшим спросом у широкого круга населения. На их основе должны быть намечены пути дальнейшего развития производственно-технической базы предприятий сервиса. При этом надо предусмотреть возможности нового проектирования, реконструкции и технического перевооружения существующих предприятий сервиса, где должны использоваться современные технологические процессы, на которых рабочие зоны и участки будут отвечать требованиям теплового и экологического комфорта.

Эти благоприятные условия труда в сервисной отрасли, включая вопросы энергосбережения предприятий, должны создать

специалисты, подготовленные по национально-региональной компонентной основной образовательной программе «Сервис».

Как правило, на сервисных предприятиях превалирует малое число рабочих, что позволяет им быстро реагировать на запросы рынка, выпускать художественные разнообразные изделия на швейных, трикотажных и обувных предприятиях, пользующихся у населения повышенным спросом. Предприятия легкой промышленности с большой численностью рабочих (350 человек и более) не всегда могут быстро реагировать на запросы потребителя. Перестройка технологического процесса для изготовления модных изделий занимает продолжительное время. Кроме того, большие объемы помещений требуют существенных затрат на их эксплуатацию, включая тепловую и электрическую энергию. Это обстоятельство стало одной из причин их кризисного состояния.

В отличие от них предприятия сервисной отрасли с меньшей численностью рабочих лучше и быстрее адаптируются к рыночным отношениям, и доля выпускаемой продукции и изделий ежегодно увеличивается. Такое состояние сервисной отрасли во многом обусловлено профессиональной подготовкой инженерно-технических кадров, позволившей эффективно использовать технологическое оборудование и технические средства для оказания услуг населению и изготовления требуемого ассортимента продукции и изделий с высоким качеством. Все это обеспечило спрос на их продукцию на отечественном рынке.

Рассматриваемая проблема базируется на комплексном подходе к ее решению с установлением взаимосвязей между: физиологическим состоянием человека в рабочей одежде с различной степенью утепленности; температурно-влажностным режимом и поддержанием его параметров в воздушной среде системами кондиционирования; технологическими процессами, исключаящими появление вредных технологических выделений в воздухе рабочей зоны; созданием условий теплового комфорта для операторов, занятых влажно-тепловой обработкой деталей одежды, а также выбором ограждающих конструкций с оптимальными теплотехническими свойствами для производственных зданий. При создании комфортных тепловых условий сократится текучесть кадров, что, в свою очередь, позволит сохранить профессиональный технический уровень у работников отрасли и повысить качество изготавливаемой продукции.

# **1. МИКРОКЛИМАТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

---

---

Параметры воздушной среды в производственных помещениях существенно влияют на протекание технологического процесса, самочувствие работающих, а также на качество изготавливаемой продукции. Известно, что уровень обрывности нитей в швейном производстве зависит от температурно-влажностного режима. Снижение обрывности позволит повысить производительность труда и оборудования и качество выпускаемой продукции, а в обувном производстве — избежать деформаций кожи в процессе изготовления продукции, благодаря чему снизятся потери материалов и их себестоимость.

При технологическом процессе между деталями оборудования и изделием, а также при раскрое текстильных материалов возникает трение и образуется электростатическое поле. Для создания безопасных условий для работы в цехах должна поддерживаться соответствующая относительная влажность воздуха.

## **1.1. Технологические процессы и температурно-влажностный режим производственных помещений**

### ***1.1.1. Обрывность нити и температурно-влажностный режим***

Причины обрывности нитей при изготовлении швейных изделий из текстильных, кожевенных и меховых материалов, а также в прядении и ткачестве разнообразны и многочисленны. Н. Е. Шутова и В. Н. Филоненко [1] считают, что принятая клас-

сификация причин обрывности нитей не лишена недостатков. Номенклатура причин обрывности, регламентируемая инструкциями, имеет широкий диапазон. В процессе выработки пряжи на прядильных машинах и ткани на ткацких станках существует множество факторов, которые приводят к обрывности нитей. При этом обрывность нитей связывают с неудовлетворительным качеством сырья и технологическими процессами. Однако они не выделяют в отдельную группу уровень обрывности в зависимости от окружающей воздушной среды. Температура и относительная влажность воздуха существенно влияют на уровень обрывности в хлопчатобумажном производстве. Высокая гигроскопичность хлопка изменяет прочностные свойства и повышает прочность нитей. Повышение влажности хлопка с 6 до 8 % снижает обрывность в прядении на 20 % [1]. Влажность текстильных материалов существенно влияет на ход и параметры технологических процессов швейного производства, особенно при влажностно-тепловой обработке изделий. Поэтому влажность текстильных материалов (волокон, нитей, швейных ниток, тканей, трикотажа и др.) строго регламентируется стандартами.

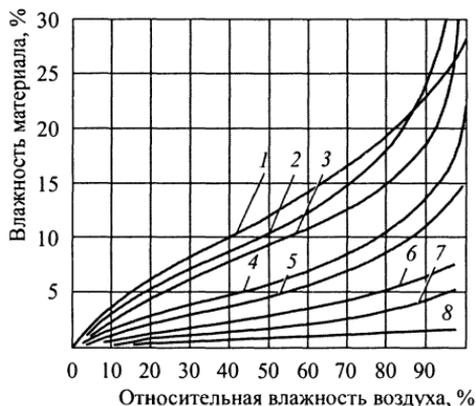
Различают равновесную и нормированную влажность текстильных материалов.

*Равновесной влажностью*  $W_p$  называют влажность материала, соответствующую сорбционному равновесию при данных условиях воздушной среды (относительной влажности воздуха, скорости его движения, температуры). При изменении относительной влажности и температуры воздуха равновесная влажность материала также меняется. Об этом можно судить по кривым зависимости влажности волокон  $W$  от относительной влажности воздуха  $\phi$  при постоянной температуре 25 °С (рис. 1.1). Как видно из рисунка, целлюлозные (хлопок, лен, вискоза) и белковые (шерсть, шелк) волокна обладают большей способностью поглощать водяные пары, чем нейлоновые и ацетатные волокна.

Равновесная влажность материала соответствует сорбционному равновесию при относительной влажности воздуха  $\phi = (65 \pm 2) \%$ , температуре окружающей среды  $t = (20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  и скорости движения воздуха 0,2...0,5 м/с.

В стандартах на текстильные материалы указывается нормированная влажность, которая по теплофизическим характеристикам близка к равновесной влажности.

В табл. 1.1 приведена нормированная влажность некоторых видов волокон и швейных ниток.



**Рис. 1.1.** Изотермы сорбции водяных паров текстильными волокнами: 1 — хлопок; 2 — шелк-сырец; 3 — лен; 4 — шерсть; 5 — лавсан; 6 — нитрон; 7 — нейлон; 8 — ацетат

**Таблица 1.1.** Нормированная влажность волокон и швейных ниток

| Волокно или нитки                | Нормированная влажность, % |
|----------------------------------|----------------------------|
| Хлопок                           | 8—13*                      |
| Лен                              | 12                         |
| Шерсть грубая                    | 15                         |
| Шерсть тонкая                    | 17                         |
| Шелк-сырец                       | 11                         |
| Вискозная нить                   | 11                         |
| Вискозное волокно                | 12                         |
| Медно-аммиачное волокно          | 12                         |
| Ацетатное волокно                | 7                          |
| Триацетатное волокно             | 5                          |
| Капрон                           | 5                          |
| Лавсан                           | 0,5                        |
| Нитрон                           | 1,5                        |
| Хлорин                           | 0,5                        |
| Хлопчатобумажные швейные нитки   | 7                          |
| Шелковые швейные нитки           | 9                          |
| Нитки льняные                    | 10                         |
| Вата одеждажная хлопчатобумажная | 10                         |

\* В зависимости от сорта хлопка и районов его произрастания.

Зависимость изменения прочности природных и искусственных волокон от относительной влажности приводится в работах Т. А. Модестовой, Б. А. Бузова, Н. Д. Алыменко [3, 4] и показана на рис. 1.2. На рисунке видно, что оптимальная прочность для льна, хлопка, нейлона, шерсти и натурального шелка, ацетатного и вискозного волокна становится при относительной влажности воздуха 65 %. Данные о гигроскопичности различных типов природных и искусственных волокон приведены в табл. 1.2.

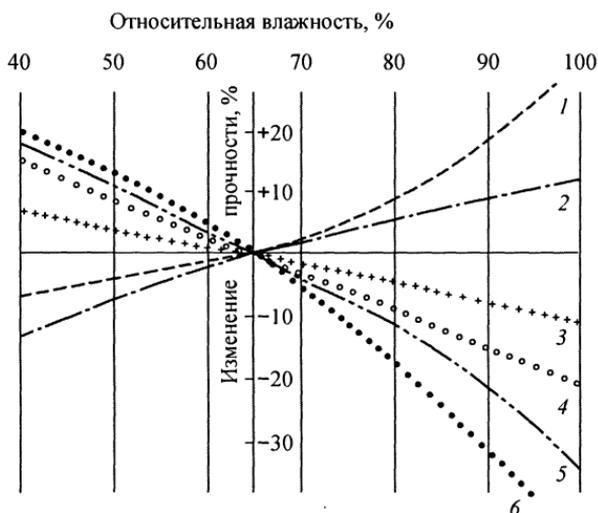


Рис. 1.2. Изменение прочности природных и искусственных волокон при различной относительной влажности воздуха (нормальная влажность — 65 %): 1 — лен; 2 — хлопок; 3 — нейлон; 4 — шерсть и натуральный шелк; 5 — ацетатное волокно; 6 — вискозное волокно

Как следует из данных табл. 1.2, гигроскопичность всех волокон при повышении относительной влажности воздуха до 85 % увеличивается.

На московской хлопчатобумажной фабрике имени М. В. Фрунзе при выработке бязи артикул 106 на станках АТ-100-5м проведены исследования [1] по определению обрывности нитей в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха (рис. 1.3). Наименьшая обрывность нитей получена при температуре 23 °С (относительная влажность 70 %) и температуре 24 °С (относительная влажность 85 %).

На уровень обрывности нитей в ткачестве влияет соблюдение установленного температурно-влажного режима и в других

Таблица 1.2. Гигроскопичность различных типов природных и искусственных волокон [1]

| Волокно          | Количество поглощенной влаги при относительной влажности воздуха, % |    |
|------------------|---|----|
|                  | 65  | 85 |
| Хлопок           | 6   | 20 |
| Шерсть           | 14  | 28 |
| Натуральный шелк | 11  | 30 |
| Ацетатный шелк   | 6—8   | 20 |
| Капрон           | 3,8—4   | 6  |
| Нейлон           | 3,8—4   | 6  |

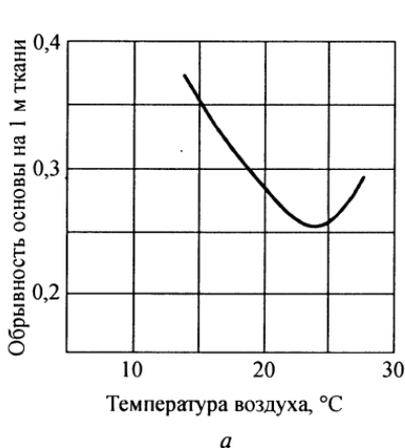
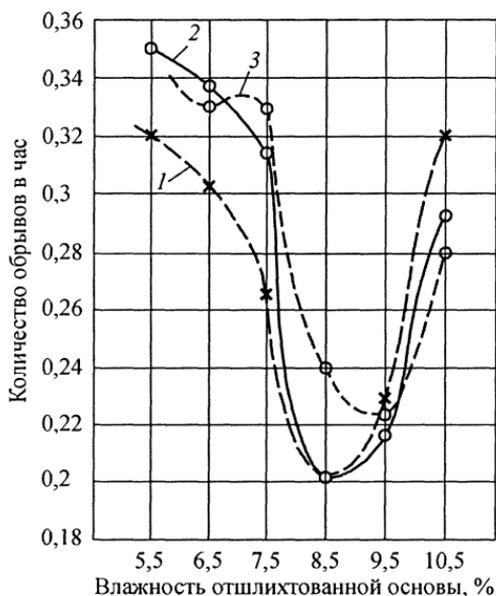


Рис. 1.3. Зависимость обрывности нитей основы от температуры (а) и относительной влажности воздуха (б)

цах, особенно шлихтовальном. В работе [5] исследовано влияние влажности основы после ее шлихтования на уровень обрывности (рис. 1.4). Наименьшему уровню обрывности соответствует влажность основы 8,5...10 % при относительной влажности воздуха в цехе 60...70 %.

В настоящее время в хлопчатобумажном прядильном и ткацком производствах все шире применяются химические волокна в чистом виде и в смеси с хлопком.

Гигроскопические свойства химических волокон существенно отличаются от хлопка, поэтому при одних и тех же темпера-



**Рис. 1.4.** Зависимость обрывности основы от начальной влажности ее после шлифования при разной относительной влажности воздуха в цехе: 1 — 70 %; 2 — 60 %; 3 — 50 %

турно-влажностных режимах эти волокна будут иметь различную влажность. Установлено, что наименьший уровень обрывности нитей основы и утка обеспечивается при относительной влажности воздуха 55 %. Это значение существенно отличается от оптимального значения при выработке хлопчатобумажных тканей — влажности 80...85 %, что обусловлено особенностями физико-механических свойств вискозных и хлопковых волокон.

В табл. 1.3 приведены нормы температуры и относительной влажности воздуха для цехов ткацких предприятий, которые регламентируются только технологическими требованиями\*.

\* Ткань представляет собой пространственную сетку из прямоугольных и квадратных ячеек, образуемых двумя взаимно перпендикулярными системами нитей — основными, расположенными вдоль ткани, и уточными, лежащими поперек ткани. Нити основы и утка огибают одна другую, располагаясь на лицевой и изнаночной стороне ткани. Переплетения изменяют технические характеристики ткани.

\*\* Справочник по технологии хлопчаточества / под ред. А. И. Бородина. М., 1968.

Таблица 1.3. Технологические требования к температурно-влажностному режиму

| Цех, отдел<br>или помещение              | Зимний период   |              | Летний период   |              |
|--|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
|  | Температура, °С | Влажность, % | Температура, °С | Влажность, % |
| Мотально-сновальный                      | 19—22           | 70—65        | 23—25           | 70—65        |
| Ткацкий (станки с каретками)             | 20—24           | 70—65        | 24—26           | 70—65        |
| Ткацкий (станки с жаккардовыми машинами) | 20—23           | 65—60        | 24—27           | 65—60        |
| Склад пряжи                              | 18—21           | 75—70        | 20—25           | 75—70        |
| Уточно-мотальный                         | 18—21           | 75—70        | 22—25           | 75—70        |
| Проборный                                | 19—21           | 65—60        | 23—26           | 65—60        |
| Шлихтовальный                            | 20—25           | Не более 75  | —               | Не более 80  |

### 1.1.2. Деформация кожаных материалов от температурно-влажностного режима воздушной среды

Под влиянием влаги и теплоты изменяются физико-механические свойства обувных материалов. Изменение относительной влажности воздуха в цехе приводит к деформации деталей, изделий и обуви. Обувь деформируется при хранении или перевозках в другие климатические зоны. При низкой относительной влажности воздуха в производственных помещениях наблюдается усадка кожаного ранта. Изменение относительной влажности воздуха с 95 до 30 % приводит к тому, что площадь комплекта деталей верха в незакрепленном состоянии уменьшается на один номер между смежными номерами обуви. При этом длина канта заготовки типа «лодочка» уменьшается на 16 мм. В связи с этим вопрос изменения влажности и линейных размеров кожаных материалов в зависимости от относительной влажности воздуха является важной задачей для отрасли.

При продолжительном контакте высушиваемого материала с воздушной средой устанавливаются молекулярное и термическое равновесие. Возникает равенство между давлением пара у поверхности материала и окружающей воздушной средой. Температура пара у поверхности материала равна температуре окру-

жающей воздушной среды. Влажность материала достигает равновесной состояния  $W_p$ , величина которой зависит как от свойств материалов, так и от параметров окружающей среды: относительной влажности и температуры воздуха. Каждому равновесному состоянию материала соответствуют определенные значения температуры и относительной влажности окружающей воздушной среды.

Влажностное состояние материала определяют по изотермам сорбции (увлажнение) и десорбции (сушка). Изотермы сорбции и десорбции используют для контроля процессов увлажнения и сушки, условий хранения и обработки материалов [6].

Зависимость влажности материала от относительной влажности воздуха при определенной температуре называется кривой равновесной влажности (рис. 1.5). При изменении относительной влажности воздуха от 0 до 40 % влажность материала быстро возрастает, а при 40...70 % влажность материала почти не меняется. Это значит, что при указанных условиях физико-механические свойства кожи остаются постоянными. С увеличением относительной влажности воздуха от 70 до 97...100 % влажность материалов резко возрастает в результате массовой капиллярной конденсации влаги.



Рис. 1.5. Кривые равновесной влажности кожи хромового дубления (1) и хром-таннидного дубления (2)

Влажность обувных материалов при различной влажности воздуха приведена в табл. 1.4.

На рис. 1.6 показан характер кривой, изображающей изменение площади образца хромового опойка\* в зависимости от аб-

\* Кожа, выработанная из шкур телянка.

Таблица 1.4. Влажность обувных материалов при температуре воздуха 25 °С (по данным ЦНИИКП)

| Материал                               | Равновесная влажность, %, при относительной влажности воздуха, % |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 0  | 10  | 20   | 31   | 43   | 52   | 66   | 77   | 88   | 95   | 98   | 100  |
| Кожа хромтаннидного дубления* из шкур: |  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| крупного рогатого скота                | 3,5  | 7,7 | 10,3 | 13   | 14,6 | 16   | 19,5 | 24   | 28,8 | 38,1 | —    | 53,5 |
| кита                                   | 3,8  | 7,8 | 11,4 | 13,3 | 14,7 | 16,5 | 22,9 | 27,2 | 31,6 | 38,3 | —    | 44,9 |
| Полукожник хро-мового дубления         | 1  | 7   | 11   | 14,1 | 17,6 | 18,3 | —    | —    | —    | 47,6 | —    | 69,4 |
| Юфть                                   | 0,6  | 4,4 | 7,3  | 9,1  | 11,8 | 13,5 | —    | —    | —    | 47,6 | —    | 60,9 |
| Шевро                                  | 3,7  | 7,4 | 10,8 | 13,3 | 16,3 | 17,9 | 21,3 | 25,7 | 32,5 | —    | 48,6 | 67,7 |
| Лак-шевро                              | 2,9  | 6,3 | 9,8  | 10,7 | 12,5 | 14,1 | 17,3 | 21,3 | 26,6 | —    | 41,6 | 54,4 |
| Лаковая пленка                         | 3,3  | —   | —    | —    | —    | 4,4  | —    | —    | —    | 15,4 | —    | 16   |
| Кожкартон с проклейкой:                |  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| латексной и битум-но-канифольной       | 1,4  | —   | 6,5  | —    | 9    | —    | 13,1 | 13,5 | —    | 17,2 | 25,8 | 36,4 |
| поливинилацетат-ной эмульсией          | 0,6  | —   | 7,4  | —    | 10,9 | —    | 17,2 | 17,3 | —    | 22,9 | 36,5 | 47,2 |

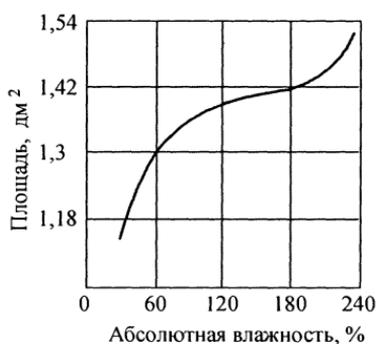


Рис. 1.6. Усадка площади образца хромового опойка

\* Дубление осуществляется растворами солей хрома, а также растительными дубителями из коры дуба, каштана, ели, ивы, лиственницы и др.

солютной влажности воздуха. Как видно на графике, кривую усадки площади образца хромового опойка можно разбить на три участка. В начале происходит уменьшение площади кожи весьма интенсивно, обгоняя скорость обезвоживания, в некоторый момент времени скорость обоих процессов выравнивается, между ними устанавливается прямолинейная зависимость (кривая выпрямляется), затем вновь увеличивается скорость усадки площади кожи и тем больше, чем меньше остается в ней влаги. На третьем участке кривая изгибается вогнутой частью к оси абсцисс.

Г. С. Климчук\* [7] выполнил исследования по изучению влияния относительной влажности воздуха на изменение линейных размеров образца кожи верха обуви (рис. 1.7). На рисунке видно, что с изменением относительной влажности воздуха в помещении изменяется размер образца кожи. Изменение влажности воздуха примерно на 40 % приводит к изменению длины образца опойки хромового дубления примерно на 1 %. Исключительно интересным является факт быстрого реагирования кожи на изменение относительной влажности воздуха.

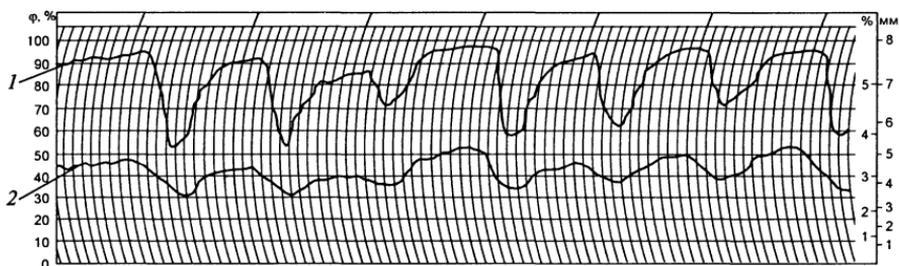


Рис. 1.7. Совмещенные графики изменения относительной влажности воздуха в течении недели, записанные на гигрографе, и соответствующих изменений линейных размеров образца кожи для верха обуви (опойка):

1 — относительная влажность воздуха; 2 — влажность кожи

Г. С. Климчук показал, что изменение линейных размеров образцов кожи в процессе сорбции (табл. 1.5) и десорбции (табл. 1.6) влаги закономерно связано с изменением относительной влажности воздуха. Из таблиц следует, что при сорбционном

\* Климчук Г. С. Исследование влияния относительной влажности воздуха на изменение размеров кожаных деталей. Диссертация канд. МТИЛП, 1971 г.

процессе линейные размеры образцов мягкого кожного материала увеличиваются, а при десорбционном процессе — уменьшаются. Причем это увеличение и уменьшение линейных размеров не является адекватным.

Таблица 1.5. Изменения линейных размеров мягкого кожматериала в процессе сорбции влаги (по данным Г. С. Климчука)

| Наименование и характеристика образца   | Время процесса сорбции, ч | Начальное значение $\phi$ , % | Конечное значение $\phi$ , % | Начальное значение длины образца, мм | Конечное значение длины образца, мм | $\Delta l$ , мм |
|---|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Выросток, чепрачная часть вырезана вдоль хребтовой линии                          | 15                        | 53                            | 93                           | 141,7                                | 142,7                               | 1               |
|   | 14                        | 53                            | 88                           | 141,7                                | 142,4                               | 0,7             |
|   | 20                        | 71                            | 98                           | 142                                  | 143,3                               | 1,3             |
|   | 15                        | 58                            | 94                           | 141,85                               | 142,87                              | 1,02            |
|   | 15                        | 62                            | 95                           | 142,12                               | 142,92                              | 0,8             |
| Выросток, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии<br>поперек хребтовой линии    | 24                        | 10                            | 70                           | 134,4                                | 138,3                               | 3,9             |
|   | 24                        | 10                            | 70                           | 134,4                                | 138,1                               | 3,7             |
| Свиной хром, чепрачная часть вдоль хребтовой линии                                | 17                        | 31                            | 98                           | 139,75                               | 141,65                              | 1,9             |
|   | 16                        | 25                            | 90                           | 139,25                               | 141,05                              | 1,8             |
|   | 11                        | 29                            | 81                           | 139,05                               | 140,05                              | 1,45            |
| Свиной хром, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии<br>поперек хребтовой линии | 162                       | 7                             | 62                           | 134,3                                | 136,1                               | 1,8             |
|   | 162                       | 7                             | 62                           | 134,3                                | 136,9                               | 2,6             |
| Свиной хром, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии<br>поперек хребтовой линии | 22                        | 10                            | 70                           | 134,6                                | 137,2                               | 2,6             |
|   | 22                        | 10                            | 70                           | 134,6                                | 137,85                              | 3,25            |

Проведенный анализ на основании ряда работ В. А. Фукина, В. В. Костылевой, А. А. Захаровой [8] показал, что в цехах обувных предприятий необходимо создавать особые температурно-влажностные условия, позволяющие исключить большое количество дефектов в процессе изготовления обуви, и должны быть приняты меры по сохранению технологического уровня влаги в кожевенных материалах.

**Таблица 1.6. Изменения линейных размеров мягкого кожматериала в процессе десорбции влаги (по данным Г.С. Климчука)**

| Наименование и характеристика образца                    | Время процесса десорбции, ч | Начальное значение ф, % | Конечное значение ф, % | Начальное значение длины образца, мм | Конечное значение длины образца, мм | $\Delta l$ , мм |
|--|-----------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Выросток, чепрачная часть вырезана вдоль хребтовой линии | 10                          | 95                      | 53                     | 143                                  | 141,7                               | 1,3             |
|  | 8                           | 93                      | 53                     | 142,7                                | 141,7                               | 1               |
|  | 6                           | 88                      | 71                     | 142,4                                | 142                                 | 0,4             |
|  | 7                           | 98                      | 58                     | 143,3                                | 141,85                              | 1,45            |
|  | 8                           | 94                      | 62                     | 142,87                               | 142,12                              | 0,75            |
| 6  | 95                          | 71                      | 142,12                 | 142,12                               | 0,8                                 |                 |
| Выросток, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии      | 2                           | 76                      | 10                     | 140                                  | 134,4                               | 5,6             |
|  | 2                           | 76                      | 10                     | 140                                  | 134,4                               | 5,6             |
| Свиной хром, чепрачная часть вдоль хребтовой линии       | 6                           | 95                      | 31                     | 141,55                               | 139,75                              | 1,8             |
|  | 7                           | 98                      | 25                     | 141,66                               | 139,25                              | 2,4             |
|  | 14                          | 90                      | 29                     | 141,05                               | 139,05                              | 2,0             |
| Свиной хром, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии   | 2                           | 64                      | 7                      | 140                                  | 134,3                               | 5,7             |
|  | 2                           | 64                      | 7                      | 140                                  | 134,3                               | 5,7             |
| Свиной хром, чепрачная часть:<br>вдоль хребтовой линии   | 2                           | 75                      | 10                     | 140                                  | 134,6                               | 5,4             |
|  | 2                           | 75                      | 10                     | 140                                  | 134,6                               | 5,4             |

### **1.1.3. Статическое электричество нитей и тканей в зависимости от относительной влажности воздуха**

При механической обработке волокна и нити трутся о металлические части машины, что приводит к их электризации. Одноименные электрические заряды волокон и нитей отталкиваются,

пушатся, вместо того чтобы располагаться взаимно параллельно. Электризация волокон происходит не только в результате их трения друг о друга или детали машин, но она частично обусловлена сжатием и растяжением волокон, а также сушкой теплым воздухом. Особенно сильно электризуются капроновые, нитроновые, амидные, хлориновые и другие синтетические волокна и нити.

Одним из способов борьбы с зарядами статического электричества при изготовлении различных тканей является повышение относительной влажности воздуха в производственных помещениях, что в свою очередь увеличивает влагосодержание волокон и текстильных материалов.

Электрическое сопротивление нити зависит от влагосодержания и характеризуется сорбционными свойствами нитей и относительной влажностью воздуха. Чем выше влажность воздуха, тем ниже величина электрического сопротивления нити. Это подтверждается результатами испытаний, проведенных на вискозных нитях (табл. 1.7)\*.

Таблица 1.7. Удельное сопротивление вискозных нитей при разной относительной влажности воздуха

| Виды нитей                                | Толщина (номер) нитей, текс | Влагосодержание нити, %                  |  | Удельное электрическое сопротивление нити, Ом |  |
|---|-----------------------------|--|--|---|--|
|   |                             | при относительной влажности воздуха 35 % | при относительной влажности воздуха 65 % | при относительной влажности воздуха 35 %      | при относительной влажности воздуха 65 % |
| Вискозные суровые, матированные, 110 кр/м | 16,7 (60)                   | 13,2                                     | 15,0                                     | $1,52 \cdot 10^{12}$                          | $0,63 \cdot 10^{12}$                     |
| Окрашенные, 110 кр/м                      | 16,7 (60)                   | 11,7                                     | 13,0                                     | $1,89 \cdot 10^{12}$                          | $0,84 \cdot 10^{12}$                     |

Как видно из табл. 1.7, с увеличением относительной влажности с 35 до 65 % влагосодержание нитей возрастает с 1,3 до 1,8 %. Электрическое сопротивление соответственно уменьшилось до  $0,63 \cdot 10^{12}$  и  $0,84 \cdot 10^{12}$  Ом. В табл. 1.8 приведены значения удельных сопротивлений вискозных, нитроновых, капроновых, ацетатных и других нитей в зависимости от влажности.

\* Гейфер П. Л., Локшина Н. В. Трение и электризация текстильных нитей. М.: Легкая индустрия, 1973.

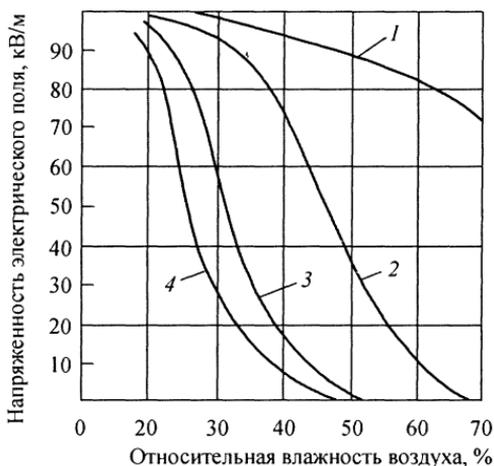
**Таблица 1.8. Значения удельного сопротивления, Ом · см, различных видов нитей при разной относительной влажности воздуха  $\varphi$ , % (по П. А. Полонику)**

| Нити                                      | $\varphi = 20 \%$    | $\varphi = 44 \%$    | $\varphi = 64 \%$    | $\varphi = 75 \%$    |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Вискозная блестящая размаслованная        | $3,08 \cdot 10^9$    | $8,65 \cdot 10^8$    | $1,12 \cdot 10^8$    | $7,75 \cdot 10^7$    |
| Вискозная матированная размаслованная     | $3,55 \cdot 10^9$    | $8,00 \cdot 10^8$    | $9,20 \cdot 10^7$    | $6,35 \cdot 10^7$    |
| Нитроновая                                | $4,10 \cdot 10^{11}$ | $5,40 \cdot 10^{10}$ | $1,17 \cdot 10^{10}$ | $6,5 \cdot 10^9$     |
| Капроновая матированная размаслованная    | $2,08 \cdot 10^{13}$ | $7,74 \cdot 10^{12}$ | $2,01 \cdot 10^{11}$ | $4,22 \cdot 10^{10}$ |
| Анидная размаслованная                    | $2,83 \cdot 10^{13}$ | $8,20 \cdot 10^{12}$ | $3,50 \cdot 10^{11}$ | $5,64 \cdot 10^{10}$ |
| Энантовая размаслованная                  | $4,55 \cdot 10^{13}$ | $2,60 \cdot 10^{13}$ | $3,15 \cdot 10^{11}$ | $3,96 \cdot 10^{10}$ |
| Лавсановая размаслованная                 | $1,59 \cdot 10^{13}$ | $8,17 \cdot 10^{12}$ | $1,68 \cdot 10^{12}$ | $5,02 \cdot 10^{10}$ |
| Ацетатная размаслованная                  | —                    | $8,25 \cdot 10^{12}$ | $5,72 \cdot 10^{11}$ | $8,36 \cdot 10^{10}$ |
| Шелк-сырец:<br>изоляционный<br>окрашенный | $7,10 \cdot 10^{12}$ | $9,80 \cdot 10^{10}$ | $3,70 \cdot 10^{10}$ | $3,90 \cdot 10^9$    |
|   | $1,04 \cdot 10^{13}$ | $2,71 \cdot 10^{12}$ | $3,90 \cdot 10^{11}$ | $5,40 \cdot 10^{10}$ |
| Хлориновая размаслованная                 | $5,30 \cdot 10^{13}$ | $3,43 \cdot 10^{13}$ | $5,56 \cdot 10^{13}$ | $4,87 \cdot 10^{13}$ |

Плотность заряда ткани на оборудовании зависит от ее структуры, волокнистого состава, рабочих скоростей машины, а также материалов технологического оборудования. Основными параметрами, определяющими величину плотности заряда, являются влажность и загрязнение поверхности волокон различными солями, играющими роль электролитов. Эти два параметра увеличивают электропроводность материала и создают условия для повышения скорости стекания зарядов.

Основным фактором, влияющим на электризацию тканей, является относительная влажность воздуха в цехе. На рис. 1.8 приведен характер изменения напряженности электростатического поля тканей различных видов от относительной влажности воздуха. На рисунке видно, что с повышением относительной влажности воздуха резко снижается электризация тканей.

Электростатическое поле напряженностью менее 20 кВ/м не оказывает заметного влияния на организм человека, а напряженность электростатического поля свыше 60 кВ/м вызывает различные физиологические изменения.



**Рис. 1.8.** Обобщенная зависимость относительной электролизации тканей от относительной влажности воздуха:

1 — полиамидные и полиэфирные; 2 — шерстяные; 3 — вязкие; 4 — хлопчатобумажные

В рабочей одежде рекомендуется использовать хлопчатобумажные ткани.

## 1.2. Теплоощущения человека и нормирование микроклимата

Человеческий организм является своеобразной термостатической системой с внутренними источниками тепла. Поступление тепла в организм происходит благодаря химической терморегуляции, потери теплоты — за счет физической терморегуляции. Тепло, выделяемое при химических реакциях, протекающих главным образом во внутренних органах, поддерживает постоянную температуру тела. Эти процессы, происходящие в организме человека, в условиях помещения можно описать уравнением общего теплового баланса:

$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{ч,л}} + Q_{\text{ч,к}} + Q_{\text{ч,и}} + Q_{\text{ч,д}}, \quad (1.1)$$

где  $Q_{\text{ч,л}}$  — количество теплоты, теряемое человеком излучением, Вт;  $Q_{\text{ч,к}}$  — количество теплоты, теряемое человеком конвек-

цией, Вт;  $Q_{ч.и}$  — количество теплоты, теряемое человеком испарением, Вт;  $Q_{ч.д}$  — количество теплоты, теряемое человеком при дыхании, Вт.

Из уравнения (1.1) следует, что комфортные теплоощущения человека обеспечиваются его тепловым режимом. Если  $Q_{ч} > Q_{ч.л} + Q_{ч.к} + Q_{ч.и} + Q_{ч.д}$ , то в теле человека образуется излишняя теплота и организм перегревается. Если  $Q_{ч} < Q_{ч.л} + Q_{ч.к} + Q_{ч.и} + Q_{ч.д}$ , то человеческий организм в воздушную среду отдает теплоты больше, чем в нем вырабатывается. В этом случае происходит переохлаждение организма. Подбором одежды с заданными теплозащитными свойствами можно снизить потери теплоты и создать ощущение комфорта.

Количество теплоты, теряемое человеком излучением в помещении, определяется по формуле

$$Q_{ч.л} = \alpha_{ч.л}(\tau_{ч} - t_{в})F_{ч}, \quad (1.2)$$

где  $\alpha_{ч.л}$  — коэффициент теплообмена излучением внешней поверхности одежды человека, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $\tau_{ч}$  — температура внешней поверхности одежды человека, °С;  $t_{в}$  — температура внутреннего воздуха, °С;  $F_{ч}$  — площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>.

Коэффициент теплообмена излучением у человека в помещении, ограниченном внутренними ограждающими конструкциями, можно найти по формуле

$$\alpha_{ч.л} = \frac{1}{\frac{1}{C_{ч}} + \frac{F_{ч}}{F_{в.орг}} \left( \frac{1}{C_{в.орг}} - \frac{1}{C_{о}} \right)} \frac{\left( \frac{\tau_{ч} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{в.п} + 273}{100} \right)^4}{\tau_{ч} - \tau_{в.п}}, \quad (1.3)$$

где  $\tau_{в.п}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения, °С;  $F_{ч}$  — площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>;  $F_{в.орг}$  — площадь внутренних поверхностей помещения, м<sup>2</sup>;  $C_{ч}$  — коэффициент излучения внешней поверхности одежды человека, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $C_{в.орг}$  — средний коэффициент излучения поверхностей помещения, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $C_{о}$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

Поскольку средняя температура  $\tau_{в.п}$  внутренних поверхностей помещения  $F_{в.орг}$ , то угловой коэффициент облучения можно принять  $\varphi_{ч-в.п} = 1$ .

Величину  $\Omega = \frac{\left(\frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{\text{в.п}} + 273}{100}\right)^4}{\tau_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}}$  называют темпера-

турным коэффициентом, и ее можно определить по графику, приведенному на рис. 1.9. При подсчете температуры поверхности кожи человека за определяющую температуру принимаем температуру поверхности головы (лба) человека.

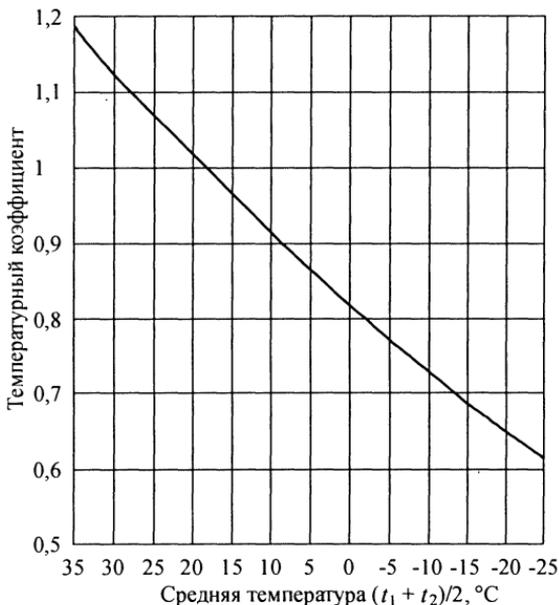


Рис. 1.9. Температурный коэффициент

Коэффициент теплообмена излучением у человека можно рассчитать по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{ч.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.орг}}} \left( \frac{1}{C_{\text{орг}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega. \quad (1.4)$$

По данным В. Байера\*, коэффициент излучения кожи белого человека в зависимости от степени пигментации составляет 3,1...4,1 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), а кожи негра — 4,6...4,8 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

\* Байер В. Биофизика. М.: Иностранная литература, 1962. С. 175.

П. А. Колесниковым [9] приведены характеристики коэффициентов излучения для различных тканей. Так, коэффициент излучения составил у поплина хлопчатобумажного сорочечного и полотна Херсонского  $3,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , нейлона —  $4,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Потери теплоты конвекцией определяются по формуле

$$Q_{\text{ч.к}} = \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}}, \quad (1.5)$$

где  $\alpha_{\text{ч.к}}$  — коэффициент конвективного теплообмена у поверхности человека,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ .

Количество теплоты, отдаваемое поверхностью тела человека при испарении, равно

$$Q_{\text{ч.и}} = \alpha_{\text{и}} W_{\text{к}} (p_{\text{к}} - p_{\text{в}}) F_{\text{ч}}. \quad (1.6)$$

где  $\alpha_{\text{и}}$  — коэффициент перехода теплоты во внешнюю среду при испарении влаги с поверхности тела человека  $\alpha_{\text{и}} = \frac{1,25}{R_{\text{п}}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Па})$ ;

$W_{\text{к}}$  — коэффициент увлажнения кожи (в нормальных условиях  $W_{\text{к}} = 0,2$ ; при работе в горячих цехах —  $1,0$ );  $p_{\text{к}}$  — парциальное давление водяного пара в насыщенном воздухе в пододежном слое над поверхностью кожи, Па;  $p_{\text{в}}$  — парциальное давление водяного пара в окружающем воздухе, Па.

Потери теплоты при дыхании вследствие нагревания вдыхаемого воздуха можно определить по следующей формуле:

$$Q_{\text{ч.д}} = c \rho V_{\text{выд}} (t_{\text{выд}} - t_{\text{в}}), \quad (1.7)$$

где  $c$  — теплоемкость воздуха,  $\text{Вт}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ ;  $\rho$  — плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{выд}}$  — объем выдыхаемого воздуха,  $\text{м}^3$ ;  $t_{\text{выд}}$  — температура выдыхаемого воздуха,  $^\circ\text{С}$ .

На основе экспериментальных исследований Р. Ф. Афанасьевой\* установлено, что тепловому комфорту в условиях относительного физического покоя человека с поверхности кожи и легких на составляющую испарением приходится от 23 до 27 % всей теплоотдачи. При интенсивной мышечной деятельности увеличиваются энергозатраты, что приводит к повышению доли составляющей испарением. На долю потерь тепла испарением с верхних дыхательных путей придется  $1/3$ , с поверхности тела —  $2/3$ .

Состояние теплового комфорта или дискомфорта человека на рабочем месте определяется из условий, что его организм не

\* Афанасьева Р. Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. М.: Легкая индустрия, 1977. С. 140.

должен переохлаждаться и перегреваться. Эти условия в зависимости от вида выполняемой работы гигиенисты оценивают по уровню энергозатрат.

Так, санитарные правила и нормы (СанПиН) характеризуют отдельные категории работ [10] следующим образом:

- к категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т. п.);
- к категории Ib относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140...174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т. п.);
- к категории IIa относятся работы с интенсивностью энергозатрат 175...232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т. п.);
- к категории IIб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233...290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.);
- к категории III относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.).

В соответствии с нормами СанПиН 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» параметры микроклимата на рабочих местах характеризуются оп-

тимальными и допустимыми условиями, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 1.9, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

**Таблица 1.9. Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений**

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 22—24                   | 21—25                        | 60—40                              | 0,1                            |
|             | Iб (140—174)                               | 21—23                   | 20—24                        | 60—40                              | 0,1                            |
|             | IIa (175—232)                              | 19—21                   | 18—22                        | 60—40                              | 0,2                            |
|             | IIб (233—290)                              | 17—19                   | 16—20                        | 60—40                              | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 16—18                   | 15—19                        | 60—40                              | 0,3                            |
| Теплый      | Ia (до 139)                                | 23—25                   | 22—26                        | 60—40                              | 0,1                            |
|             | Iб (140—174)                               | 22—24                   | 21—25                        | 60—40                              | 0,1                            |
|             | IIa (175—232)                              | 20—22                   | 19—23                        | 60—40                              | 0,2                            |
|             | IIб (233—290)                              | 19—21                   | 18—22                        | 60—40                              | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 18—20                   | 17—21                        | 60—40                              | 0,3                            |

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и не превышать значений, указанных в табл. 1.9 для отдельных категорий работ.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теп-

лового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.10, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 1.10. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах в производственных помещениях

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С           |                                   | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с                                       |  |
|-------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|
|             |  | диапазон выше оптимальных величин | диапазон ниже оптимальных величин |                              |                                    | для диапазонов температур воздуха ниже оптимальных величин, не более | для диапазонов температур воздуха ниже оптимальных величин, не более |
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 20,0—21,9                         | 24,1—25,0                         | 19,0—26,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,1  |
|             | Iб (140—174)                               | 19,0—20,9                         | 23,1—24,0                         | 18,0—25,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,2  |
|             | IIa (175—232)                              | 17,0—18,9                         | 21,1—23,0                         | 16,0—24,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,3  |
|             | IIб (233—290)                              | 15,0—16,9                         | 19,1—22,0                         | 14,0—23,0                    | 15—75                              | 0,2  | 0,4  |
|             | III (более 290)                            | 13,0—15,9                         | 18,1—21,0                         | 12,0—23,0                    | 15—75                              | 0,2  | 0,4  |
| Теплый      | Ia (до 139)                                | 21,0—22,9                         | 25,1—28,0                         | 20,0—29,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,2  |
|             | Iб (140—174)                               | 20,0—21,9                         | 24,1—28,0                         | 19,0—29,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,3  |
|             | IIa (175—232)                              | 18,0—19,9                         | 22,1—27,0                         | 17,0—28,0                    | 15—75                              | 0,1  | 0,4  |
|             | IIб (233—290)                              | 16,0—18,9                         | 21,1—27,0                         | 15,0—28,0                    | 15—75                              | 0,2  | 0,5  |
|             | III (более 290)                            | 15,0—17,9                         | 20,1—26,0                         | 14,0—27,0                    | 15—75                              | 0,2  | 0,5  |

При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах можно принимать:

- перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать:
  - при категориях работ Ia и Ib — 4 °С;
  - при категориях работ IIa и IIб — 5 °С;
  - при категории работ III — 6 °С.

При этом абсолютные значения температуры воздуха не должны превышать значения, указанные в табл. 1.10 для отдельных категорий работ.

При температуре воздуха на рабочих местах 25 °С и выше максимально допустимые значения относительной влажности воздуха не должны превышать:

- 70 % — при температуре воздуха 25 °С;
- 65 % — при температуре воздуха 26 °С;
- 60 % — при температуре воздуха 27 °С;
- 55 % — при температуре воздуха 28 °С.

При температуре внутреннего воздуха в помещении 26... 28 °С скорость движения воздуха для теплого периода года должна соответствовать следующему диапазону:

- 0,1—0,2 м/с — при категории работ Ia;
- 0,1—0,3 м/с — при категории работ Ib;
- 0,2—0,4 м/с — при категории работ IIa;
- 0,2—0,5 м/с — при категориях работ IIб и III.

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности» Российского заочного института текстильной и легкой промышленности на основе проведенного анализа трудовой деятельности рабочих дифференцировала отдельные виды выполняемых работ (табл. 1.11).

**Таблица 1.11. Выполняемые работы на предприятиях легкой и текстильной промышленности**

| Производство      | Профессия   | Категория работ |
|-------------------|---|-----------------|
| Швейное           | Швея-мотористка (сшивание края, пришивка пуговиц, выполнение петель, обметка края, пришивка ярлыков, стачка и обметка, пошив изделия) | Ia              |
|                   | Запускальщики, контролеры   | Iб              |
|                   | Раскройщики, настильщики и комплектовщики   | IIa             |
|                   | Термоотделочники (влажно-тепловая обработка)  | IIa             |
| Обувное           | Заготовщики, намазчики клея   | Iб              |
|                   | Рабочие литейного участка   | IIa             |
|                   | Вырубщики, фрезеровщики, затяжки  | IIб             |
| Прядильно-ткацкое | Прядильщики   | IIa             |
|                   | Ткачи   | IIa             |
|                   | Трикотажники  | IIa             |

В табл. 1.12 приведено количество влаги, которое выделяет человек при выполнении работ различной категории.

Таблица 1.12. Количество влаги, выделяемое человеком, г/ч

| При температуре воздуха в помещении, °С |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10                                      | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  |
| В состоянии покоя                       |     |     |     |     |     |
| 30                                      | 40  | 40  | 50  | 75  | 115 |
| При работе по категории Ia и Ib         |     |     |     |     |     |
| 40                                      | 55  | 75  | 115 | 150 | 200 |
| При работе по категории IIa и IIb       |     |     |     |     |     |
| 70                                      | 110 | 110 | 185 | 230 | 280 |
| При работе по категории III             |     |     |     |     |     |
| 135                                     | 185 | 240 | 295 | 355 | 415 |

*Примечание.* В условиях повышенных температур при интенсивной мышечной деятельности организма человек вступает в так называемое мокрое охлаждение, когда испарение пота является основным средством теплоотдачи.

Проведенные расчеты по определению количества испаряющей влаги с поверхности кожи  $Q_{ч.и}$  и за счет дыхания  $Q_{ч.д}$  показали, что доля испарения при уровне энергозатрат 175 Вт и температуре воздуха 24 °С составит 35 %, при уровне энергозатрат до 139 Вт и температуре воздуха 22...24 °С — 30 %, при уровне энергозатрат до 139 Вт и температуре воздуха 27 °С — 34 %.

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещениях приведены в табл. 1.13 и 1.14.

Таблица 1.13. Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений

| Период года                   | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с, не более |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--|
| Теплый                        | 20—22                   | 30—60                              | 0,2                                      |
|                               | 23—25                   | 30—60                              | 0,2                                      |
| Холодный и переходные условия | 20—22                   | 30—45                              | 0,2                                      |

*Примечание.* Нормы установлены для людей, находящихся в помещении непрерывно более 2 ч.

**Таблица 1.14. Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений.**

| Период года                   | Температура воздуха, °С  | Относительная влажность воздуха, %, не более | Скорость движения воздуха, м/с, не более |
|-------------------------------|--|--|--|
| Теплый                        | Не более чем на 3 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметр А) | 65***  | 0,5                                      |
| Холодный и переходные условия | 18**—22  | 65   | 0,2                                      |

*Примечание.* 1. Нормы установлены для людей, находящихся в помещении непрерывно более 2 ч.

2. Расчетные параметры А наружного воздуха принимаются по СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование» или по приложению 16.

\* Но не более 28 °С для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей и не более 33 °С для указанных зданий, расположенных в районе с расчетной температурой наружного воздуха (параметр А) 25 °С и выше.

\*\* Не ниже 14 °С — для общественных и административно-бытовых помещений с пребыванием людей в уличной одежде.

\*\*\* Допускается принимать до 75 % в районах с расчетной относительной влажности воздуха более 75 % (параметры А).

В последующих главах на примере предприятий сервиса рассматриваются параметры воздушной среды, которые, с одной стороны, должны обеспечить комфортные тепловые условия жизнедеятельности человека на рабочих местах, а с другой — нормальное протекание технологического процесса.

## **2. ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОДЕЖДЕ**

---

---

К современной одежде предъявляется ряд требований. По термовлажностным свойствам она должна соответствовать условиям интенсивной трудовой деятельности человека при его различном уровне энергозатрат. Ее покрой должен обеспечивать свободу движения и отвечать требованиям современной моды. Человек в одежде должен выглядеть элегантно, что придает ему уверенности при работе в различных областях многогранной деятельности. При этом немаловажным фактором являются тепловой и экологический комфорт, который достигается обеспечением в пакете одежды оптимальных температурно-влажностных условий.

### **2.1. Расчетная теплофизическая модель теплоотдачи кожного покрова в одежде и метод расчета сопротивления теплопередаче пакета одежды**

Е. Б. Коблякова [11], приняв горизонтальное сечение торса за круг, при расчете прибавок на толщину слоя одежды рассматривает одежду как круглую поверхность вокруг тела. Эта геометрическая форма принята при конструировании и расчете одежды.

Для разработки методики расчета теплоизоляционных свойств одежды схематически представим человеческий организм как систему с внутренним источником теплоты, приняв, что теплообмен происходит через кожный покров (эпидермис  $\sigma_k$  — лишенный кровеносных сосудов, где передача тепла осуществляется теплопроводностью). В качестве расчетной модели человека в одежде примем кожный покров в виде полый ци-

цилиндрической стенки с внутренним источником тепла, начиная со слоя эпидермиса до концентрически расположенных слоев одежды.

Рассмотрим бесконечно длинную цилиндрическую стенку в виде кожного покрова и прилегающего пакета одежды ( $R_{п.од}$ ) с радиусами  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  (рис. 2.1):  $r_1$  — расстояние от центра цилиндра до внутренней поверхности кожного покрова;  $r_2$  — расстояние от центра цилиндра до внешней поверхности кожного покрова;  $r_3$  — расстояние от центра цилиндра до внешней поверхности пакета одежды. Коэффициент теплопроводности кожного покрова ( $\lambda_k$ ) примем за постоянную величину, температура  $t_{кр}$  соответствует температуре крови,  $\tau_k$  — температура поверхности кожного покрова и  $\tau_r$  — температура внешней поверхности пакета одежды. Принимаем, что источники тепла производительностью  $q_v$  распределяются равномерно в полой цилиндрической стенке. При принятых условиях падение температур будет проходить в направлении радиуса.

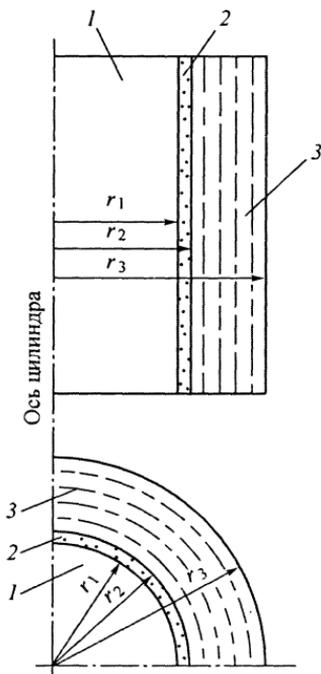


Рис. 2.1. Расчетная модель человека в одежде:  
1 — тело; 2 — эпидермис; 3 — пакет одежды

Процесс теплопроводности описывается следующим уравнением:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0. \quad (2.1)$$

Выполним замену переменных  $dt/dr = u$ , тогда уравнение (2.1) примет вид

$$\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (2.2)$$

или

$$rdu + udr + \frac{q_v}{\lambda} r dr = 0. \quad (2.3)$$

Проинтегрируем уравнение

$$u + \frac{q_v r}{2\lambda} = \frac{c_1}{r}. \quad (2.4)$$

Подставим в уравнение (2.4)  $u = dt/dr$ :

$$\frac{dt}{dr} + \frac{q_v r}{2\lambda} = \frac{c_1}{r}. \quad (2.5)$$

Проинтегрировав уравнение (2.5), получим

$$t = -\frac{q_v r^2}{4\lambda} + c_1 \ln r + c_2. \quad (2.6)$$

Если принять, что теплообмен между цилиндрической внутренней стенкой отсутствует при  $r = r_1$  и  $\left(\frac{dt}{dr}\right)_{r=r_1} = 0$ , тогда из уравнения (2.6) при  $r = r_1$  получим

$$\left(\frac{dt}{dr}\right)_{r=r_1} = -\frac{q_v r_1}{2\lambda} + \frac{c_1}{r_1} = 0, \quad (2.7)$$

отсюда

$$c_1 = \frac{q_v r_1^2}{2\lambda}.$$

Чтобы определить значение  $c_2$ , примем следующие условия. Если по горизонтальной оси отложить в масштабе термическое сопротивление теплопередачи пакета одежды  $R_n$  и сопротивление теплообмена у внешней поверхности одежды человека  $R_4$

(рис. 2.2), а по вертикали температуру, то линия от температуры поверхности кожи ( $\tau_k$ ) человека до температуры воздуха ( $t_B$ ) будет представлять прямую линию.

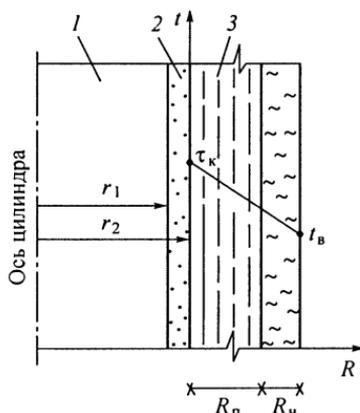


Рис. 2.2. Распределение температуры в пакете одежды в масштабе термического сопротивления:

1 — тело; 2 — эпидермис; 3 — пакет одежды

Представим, что теплообмен между слоем эпидермиса и прилегающими слоями (пакет одежды  $R_n$  и сопротивление теплообмена у внешней поверхности одежды  $R_c$ , происходит следующим образом:

$$\lambda_k \left( \frac{dt}{dr} \right)_{r=r_2} = \frac{1}{R_n + R_c} (\tau_k - t_B) \quad (2.8)$$

или

$$-\frac{q_v r_2}{4\lambda_k} + \frac{c_1}{r_2} = \frac{1}{\lambda_k (R_n + R_c)} (\tau_k - t_B). \quad (2.9)$$

Подставим в уравнение (2.9) значение постоянной интегрирования:

$$-\frac{q_v r_2}{2\lambda_k} + \frac{q_v r_1}{2\lambda_k} = \frac{1}{\lambda_k (R_n + R_c)} (\tau_k - t_B), \quad (2.10)$$

откуда

$$\tau_k = t_B + \frac{q_v r_2 (R_n + R_c)}{2} - \frac{q_v r_1^2 (R_n + R_c)}{2r_2}. \quad (2.11)$$

Приравняем уравнения (2.6) и (2.11) и найдем постоянную интегрирования  $c_2$ :

$$\begin{aligned} & -\frac{q_v r_2^2}{4\lambda_k} + \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r_2 + c_2 = \\ & = t_B + \frac{q_v r_2 (R_n + R_q)}{2} - \frac{q_v r_1^2 (R_n + R_q)}{2r_2}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Найденные значения постоянных интегрирования  $c_1$  и  $c_2$  подставляем в уравнение (2.6) и получим выражение для температурного поля:

$$\begin{aligned} t = t_B - \frac{q_v r^2}{4\lambda_k} + \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r + \frac{q_v r_2 (R_n + R_q)}{2} + \\ + \frac{q_v r_1^2 (R_n + R_q)}{2r_2} + \frac{q_v r_2^2}{4\lambda_k} - \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r_2. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Для температуры поверхности кожи под одеждой при  $r = r_k$  и  $t = \tau_k$  получим

$$\tau_k = t_B + \frac{q_v r_2 (R_n + R_q)}{2} - \frac{q_v r_1^2 (R_n + R_q)}{2r_2}$$

или

$$\tau_k = t_B + \frac{q_v (R_n + R_q)}{2} \left( \tau_2 - \frac{r_1^2}{r_2} \right). \quad (2.14)$$

Из выражения (2.14) определим термическое сопротивление теплопередаче пакета одежды:

$$R_n = \frac{2r_2 (\tau_k - t_B)}{q_v \delta_k^2} - R_q, \quad (2.15)$$

где  $q_v$  — интенсивность объемного тепловыделения через кожный покров человеческого тела,  $\text{кДж/м}^3$ .

Если  $q_v$  разделить на объем кожного покрова (цилиндрическая стенка)  $V = (\pi r_2^2 - \pi r_1^2) Z = \pi \delta_k^2 Z$ , то получим количество теплоты, теряемое человеком  $Q$  в Вт.

Выражение (2.15) примет следующий вид:

$$R_{\text{п}} = \frac{2\pi r_2 (\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}) Z}{Q} - R_{\text{ч}}, \quad (2.16)$$

где  $Z$  — высота цилиндра, м.

Потери телом человека теплоты при расчете теплозащитных свойств пакетов одежды составит в соответствии с конвективно-лучистым теплообменом:

$$Q = Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л}}. \quad (2.17)$$

В выражении (2.16) множитель  $2\pi r_2$  является периметром окружности  $L$ . Термическое сопротивление теплопередаче пакета одежды можно представить следующей формулой:

$$R_{\text{п}} = \frac{(\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}) LZ}{Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л}}}. \quad (2.18)$$

Тогда сопротивление теплопередачи пакета одежды будет равняться:

$$R_{\text{о.п}} = \frac{(\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}}}{Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л}}}, \quad (2.18a)$$

где  $Q_{\text{ч.к}}$  и  $Q_{\text{ч.л}}$  — уровень энергозатрат конвекцией и излучением при выполнении различных категорий работ, Вт. Они определяются по следующим формулам:

$$Q_{\text{ч.к}} = \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}}; \quad (2.19)$$

$$Q_{\text{ч.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.орг}}} \left( \frac{1}{C_{\text{орг}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega (\tau_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п.об.св}}), \quad (2.19a)$$

где  $\tau_{\text{в.п.об.св}}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения, действующего технологического оборудования и осветительных устройств.

Далее будут рассмотрены уравнения, по которым можно определить конвективную и лучистую составляющую у поверхности одежды человека, температуру на внешней поверхности одежды ( $\tau_{\text{ч}}$ ), среднюю температуру воздуха в помещении с учетом температуры внутренних поверхностей, действующего оборудования и осветительных устройств ( $\tau_{\text{в.п.об.св}}$ ), а также результаты экспериментальных исследований значений коэффициентов излучения различных текстильных материалов.

## 2.2. Моделирование конвективного теплообмена человека в одежде с воздушной средой помещения

Коэффициент теплоотдачи конвекцией поверхности человека в одежде определяем с учетом физических параметров воздушной среды и размеров тела человека. В здании под влиянием теплового напора (разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха) и ветрового напора (различное действие ветра на наветренную или заветренную поверхности здания), а также из-за работы систем вентиляции и отопления происходит движение воздуха. Принятая расчетная теплофизическая модель человека в виде круглого цилиндра, который омывается потоком воздуха, позволяет проанализировать состояние окружающей воздушной среды числом Рейнольдса  $Re = \frac{V_b d}{\nu}$ . Выразим диаметр цилиндра через периметр  $d = 2r = L/\pi$  и получим

$$Re = \frac{V_b L}{\pi \nu}, \quad (2.20)$$

где  $Re$  — критерий Рейнольдса;  $V_b$  — скорость движения воздуха, м/с;  $L$  — периметр тела человека;  $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Ниже приведены значения числа Рейнольдса для различных скоростей движения воздуха  $V_b$  при периметре тела человека  $L = 0,8$  м и кинематической вязкости воздуха (при температуре 20 °С)  $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с:

- при рекомендуемой нормами подвижности воздуха в помещении
  - $V_b = 0,1$  м/с     $Re = 1691$ ;
  - $V_b = 0,2$  м/с     $Re = 3383$ ;
  - $V_b = 0,3$  м/с     $Re = 5075$ ;
  - $V_b = 0,4$  м/с     $Re = 6766$ ;
  - $V_b = 0,5$  м/с     $Re = 8458$ ;
- при наблюдаемой скорости движения воздуха в помещении
  - $V_b = 0,6$  м/с     $Re = 10\ 150$ ;
  - $V_b = 0,7$  м/с     $Re = 11\ 841$ ;
  - $V_b = 0,8$  м/с     $Re = 13\ 533$ ;
  - $V_b = 0,9$  м/с     $Re = 15\ 225$ ;
  - $V_b = 1,0$  м/с     $Re = 16\ 916$ ;

$$V_B = 1,5 \text{ м/с} \quad \text{Re} = 25\,375;$$

$$V_B = 2,0 \text{ м/с} \quad \text{Re} = 33\,833.$$

Число Рейнольдса при нормативных значениях скорости движения воздуха колеблется в пределах от 1691 до 8458 и при скорости движения воздуха 0,6 м/с и более возрастает до 10 150 и выше.

При этих числах Рейнольдса пограничный слой на лобовой и в кормовой части цилиндра отрывается, образуя вихри, которые по движению воздушного потока вытягиваются все дальше от цилиндра. При  $\text{Re} \geq 1000$  за цилиндром образуется вихревая дорожка. Условия омыwania лобовой и кормовой частей цилиндра различны. Такое обтекание цилиндра отражается на его теплоотдаче. В работе М. А. Михеева и И. М. Михеевой\* показано, что при  $\text{Re} = 10\,000$  коэффициент теплообмена в любой части достигает своего максимального значения, на поверхности цилиндра в направлении движения воздуха снижается и в кормовой части увеличивается.

Г. Н. Кружилин\*\* теоретически установил, что коэффициент теплообмена в любой точке цилиндра описывается следующим уравнением:

$$\text{Nu} = 1,04\text{Re}^{0,5}\text{Pr}^{0,33}, \quad (2.21)$$

где Nu — критерий Нуссельта; Pr — критерий Прандтля. Откуда:

$$\alpha_k = 1,04 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33}. \quad (2.22)$$

При этом

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= \frac{\alpha_k d}{\lambda} = \frac{\alpha_k L}{\pi \lambda}; \\ \text{Re} &= \frac{V_B d}{\nu} = \frac{V_B L}{\pi \nu}; \\ \text{Pr} &= \frac{\nu}{a}, \end{aligned} \quad (2.23)$$

где  $a$  — коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

\* Михеев М. А., Михеева И. М. Курс теплопередачи. М.: Энергия, 1973. С. 319.

\*\* Кружилин Г. Н. Теория передачи круглого цилиндра в поперечном потоке жидкости // Техническая физика. 1936. Т. VI. С. 854—865.

Если модель человека в разрезе представить в виде эллипса, то при обтекании потоком воздуха эллипса видно (рис. 2.3), что окружность цилиндра можно взять как среднюю из них.

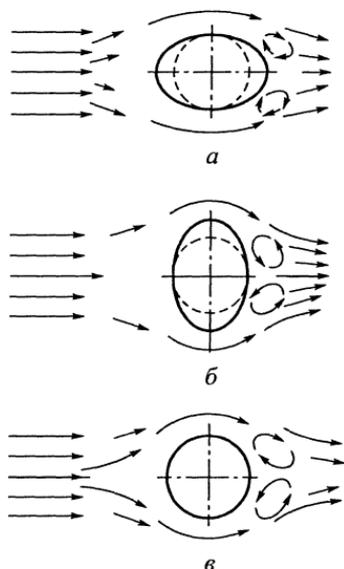


Рис. 2.3. Обтекание потоком воздуха эллипса (а и б) и цилиндра (в) с отрывом граничного слоя

В результате анализа и обобщения существующих данных для расчета средней теплоотдачи по периметру цилиндра А. А. Жукаускасом\* получены следующие формулы:

- при  $Re < 1000$

$$Nu_{ж} = 0,5 Re_{ж}^{0,5} Pr_{ж}^{0,36} (Pr_{ж}/Pr_{с})^{0,25}; \quad (2.24)$$

- при  $Re = 1000 \dots 20\,000$

$$Nu_{ж} = 0,25 Re_{ж}^{0,6} Pr_{ж}^{0,36} (Pr_{ж}/Pr_{с})^{0,25}, \quad (2.25)$$

где  $(Pr_{ж}/Pr_{с})^{0,25}$  — поправка, учитывающая физические свойства теплоносителя в зависимости от температуры.

Полученные формулы при  $Re = 1000 \dots 20\,000$  будут иметь вид

$$Nu = 0,24 Re^{0,6}, \quad (2.26)$$

\* Жукаускас А. А. Теплоотдача при поперечном омывании цилиндра. М.: АН СССР, 1959. С. 201—212.

откуда

$$\alpha_{\kappa} = 0,24 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0,6} = 0,24 \frac{\lambda V_{\text{в}}^{0,6} d^{0,6}}{d v^{0,6}}, \quad (2.27)$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности воздуха (см. в разд. 2.2), Вт/(м · °С).

После соответствующих преобразований получим для цилиндра средний коэффициент теплообмена в Вт/(м<sup>2</sup> · °С):

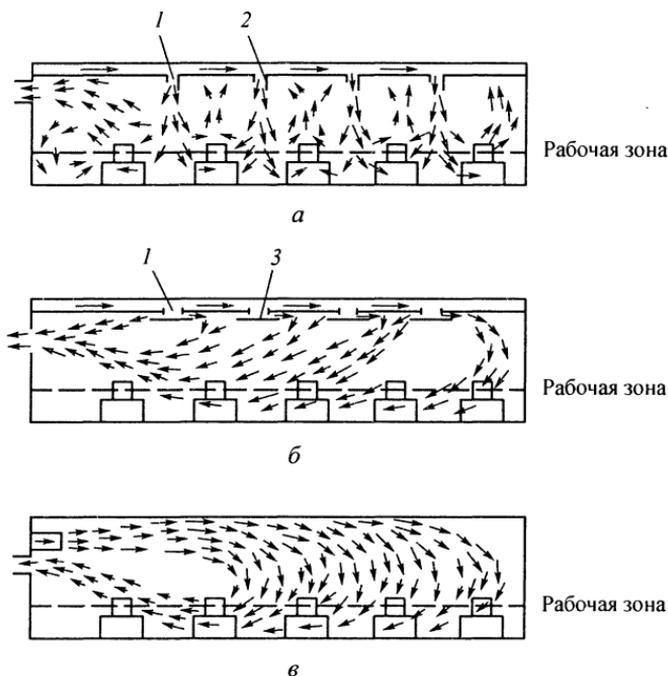
$$\alpha_{\kappa} = 0,24 \lambda \frac{V_{\text{в}}^{0,6}}{v^{0,6} d^{0,4}}. \quad (2.28)$$

Если подставить в выражение (2.28)  $d_{\text{внут}} = \frac{L_{\text{внут}}}{\pi}$ , то при  $\text{Re} = 1000 \dots 200\,000$  и при движении воздуха перпендикулярно телу человека коэффициент теплоотдачи конвекцией поверхности тела человека определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{ч.к}} = 0,38 \lambda \left( \frac{V_{\text{в}}}{v} \right)^{0,6} \left( \frac{\pi}{L_{\text{внут}}} \right)^{0,4}. \quad (2.29)$$

Направление движения воздуха в помещении цеха зависит от способа его подачи, распределения и удаления загрязненного воздуха из помещения. Рабочая зона должна омываться свежим приточным воздухом с подвижностью, не более нормируемой санитарными нормами (табл. 1.9 и 1.10). Подача приточного воздуха в помещение может осуществляться при верхней подаче через приточные каналы, подвешенные к междуэтажному перекрытию, с выпуском воздуха через щелевые отверстия (рис. 2.4, а), при верхней подаче — через отверстия в нижнем потолочном канале (рис. 2.4, б), при сосредоточенной подаче через специальные насадки круглой и прямоугольной формы, установленные около потолка (рис. 2.4, в). Как видно на рисунках, направление циркулирующего воздуха в рабочей зоне помещения может быть самым разнообразным. Поэтому величина теплоотдачи человека будет зависеть от направления движения воздуха в рабочей зоне. Наибольшая теплоотдача человека будет при движении воздуха перпендикулярно его оси. Если воздушный поток направлен под углом, то теплоотдача с поверхности человека уменьшается.

В связи с этим приведенные формулы (2.28) и (2.29) справедливы только для случая, когда угол атаки ( $\phi$ ), образуемый на-



**Рис. 2.4.** Распределение проточных струй в помещении:

*a* — подвесной короб с щелевыми отверстиями; *б* — потолочный канал с отверстиями; *в* — насадка круглой или прямоугольной формы; 1 — отверстия; 2 — экран; 3 — горизонтальный щит

правлением потока воздуха и осью человеческого тела, равен  $90^\circ$  (рис. 2.5, *a*). Если угол атаки меньше  $90^\circ$ , то теплоотдача уменьшается (рис. 2.5, *б* и 2.5, *в*). Эти условия представим следующим соотношением:

$$\varepsilon_\phi = \frac{\alpha_\phi}{\alpha_{\phi=90}}, \quad (2.30)$$

где

$$\varepsilon_\phi = 1 - 0,54 \cos^2\phi. \quad (2.31)$$

Величина  $\varepsilon_\phi$  с уменьшением угла атаки, как следует из формулы (2.31), резко уменьшается. Подставив значение  $\varepsilon_\phi$  в формулу (2.31), получим

$$\alpha_{\text{ч.к.}\phi} = \alpha_{\phi=90}(1 - 0,54 \cos^2\phi). \quad (2.32)$$

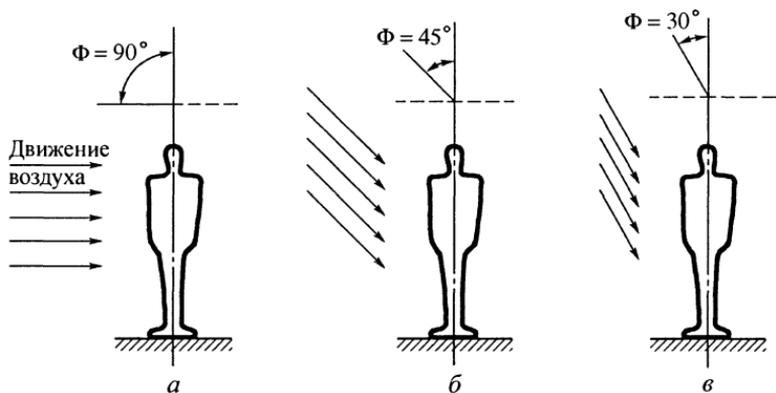


Рис. 2.5. Условия обдува воздухом человека в помещении

Подставляя в выражение (2.32) формулу (2.29), получим коэффициент теплообмена конвекцией поверхности человека в зависимости от направления потока воздуха при  $Re = 1000 \dots 20\,000$ :

$$\alpha_{ч.к.ф} = 0,38\lambda(1 - 0,54 \cos^2\varphi) \frac{V^{0,6} \pi^{0,4}}{\sqrt{0,6} L_{внут}^{0,4}}. \quad (2.33)$$

Из анализа формулы (2.33) следует, что если струя воздуха направлена на человека перпендикулярно его оси, то  $\varphi = 90^\circ$  и формула (2.33) превращается в выражение (2.29). Она справедлива для угла атаки от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ . При угле атаки меньше  $30^\circ$  начинают действовать другие условия.

Для решения уравнения (2.33) на рис. 2.6 приведена циркулярная номограмма. Она позволяет в зависимости от коэффициента теплопроводности и кинематической вязкости воздуха, его подвижности и угла атаки довольно просто найти коэффициент теплообмена конвекцией у поверхности одежды человека.

Если скорость движения воздуха равна нулю, то расчет коэффициента теплообмена конвекцией поверхности человека можно произвести по формулам\*, полученным для вертикальных цилиндров. Эти уравнения имеют следующий вид:

- для ламинарного режима  $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$

$$Nu = 0,76(Gr \cdot Pr)^{0,25}; \quad (2.34)$$

\* Михеев М. А., Михеева И. М. Курс теплопередачи. М.: Энергия, 1973. С. 319.

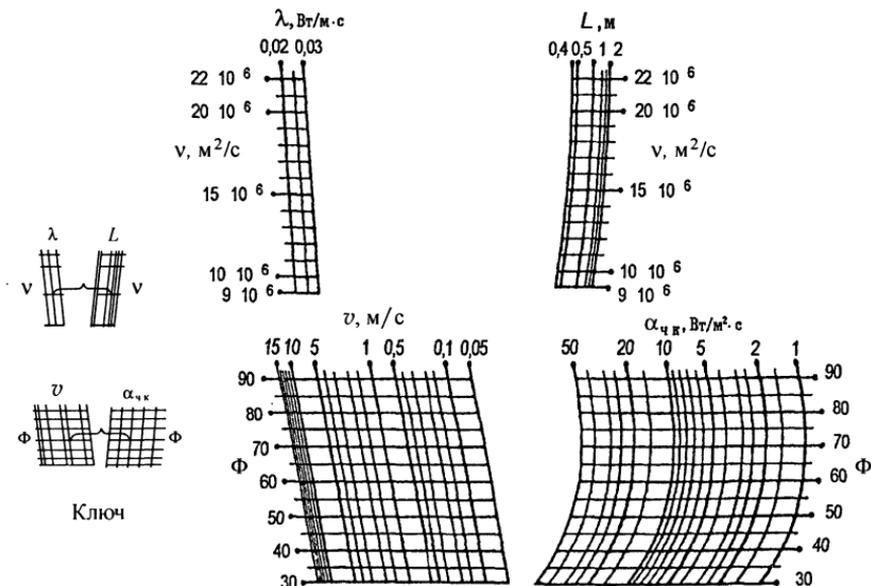


Рис. 2.6. Циркулярная номограмма для определения коэффициента конвективно-го теплообмена у поверхности человека

- для турбулентного режима  $Gr \cdot Pr > 10^9$

$$Nu = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33}, \quad (2.35)$$

где  $Gr$  — критерий Грасгофа.

В качестве определяющей температуры в уравнениях (2.34) и (2.35) принята температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}}$  и определяющего размера — высота человека  $Z_{\text{ч}}$ .

Из уравнений (2.34) и (2.35) найдем коэффициент теплообмена конвекцией у поверхности человека:

- для ламинарного режима

$$\alpha_{\text{ч,к}} = 0,76 \frac{\lambda}{2} \left[ \frac{g \beta \Delta t Z_{\text{ч}}^3}{\nu^2} \right]^{0,25}; \quad (2.36)$$

- для турбулентного режима

$$\alpha_{\text{ч,к}} = 0,15 \frac{\lambda}{Z_{\text{ч}}} \left[ \frac{g \beta \Delta t Z_{\text{ч}}^3}{\nu^2} \right]^{0,33}, \quad (2.37)$$

где  $\beta$  — коэффициент объемного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

### 2.3. Моделирование лучистого теплообмена человека с внутренними поверхностями помещения

Самочувствие человека в помещении зависит от потери им лучистой теплоты. Поэтому при лучистом теплообмене с ограждающими конструкциями принята стационарная модель человека в одежде различной утепленности, термические свойства которой учитываются средней температурой внешней поверхности одежды человека  $\tau_{\text{ч}}$  и открытых участков кожи, что отражает его физическое состояние при нахождении в различных местах помещения. Она отличается от схемы расчета, приведенной в работах О. Фангера, который рассматривает теплообмен человека с ограждающими конструкциями только при его нахождении в центре помещения [12].

Величина лучистого теплообмена поверхности человека с наружным ограждением определяется по формуле

$$Q_{\text{ч.орг}} = C'_{\text{ч.орг}} \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч.орг}}, \quad (2.38)$$

где  $C'_{\text{ч.орг}}$  — приведенный коэффициент излучения, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $\Phi_{\text{ч.орг}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности тела человека на поверхность наружного ограждения;  $\tau_{\text{в}}$  — температура на внутренней поверхности, °С.

Вычисление количества теплоты, теряемого человеком при лучистом теплообмене по формуле (2.38), представляет определенные трудности. Для упрощения расчета по определению величины лучистого теплообмена между поверхностью человека и наружным ограждением построены номограммы, представленные на рис. 2.7 и 2.8. По номограмме из равноудаленных точек по коэффициенту излучения поверхности человека  $C_{\text{ч}}$  и наружного ограждения  $C_{\text{орг}}$ , температуре поверхности одежды человека  $\tau_{\text{ч}}$  и температуре внутренней поверхности наружного ограждения  $\tau_{\text{в}}$  определяется количество теплоты, теряемой человеком при излучении.

В уравнении (2.38) угловой коэффициент облучения характеризует долю излучаемой поверхностью тела человека энергии, падающей на поверхности ограждающих конструкций. Он зависит от геометрического соотношения площади человека и ограждения, а также от взаимного расположения поверхностей.

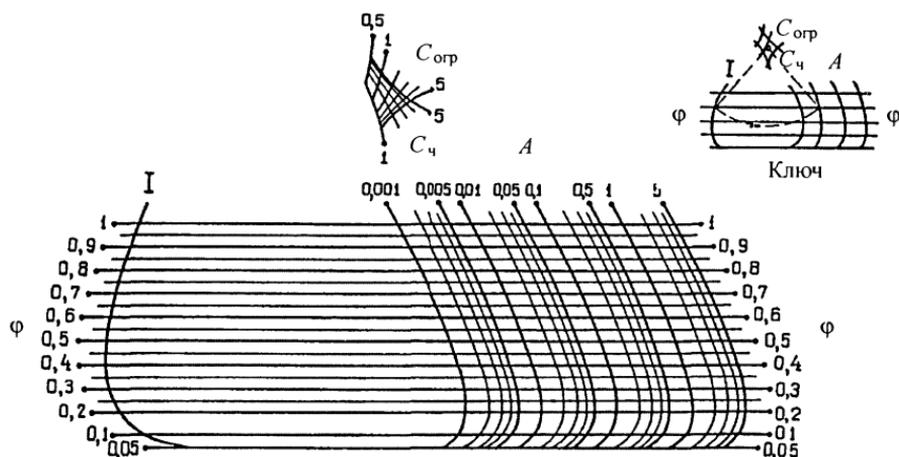


Рис. 2.7. Номограмма из равноудаленных точек

$$\text{для определения } \frac{1}{\frac{1}{C_ч} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_{огр}}} \varphi_{ч.огр}$$

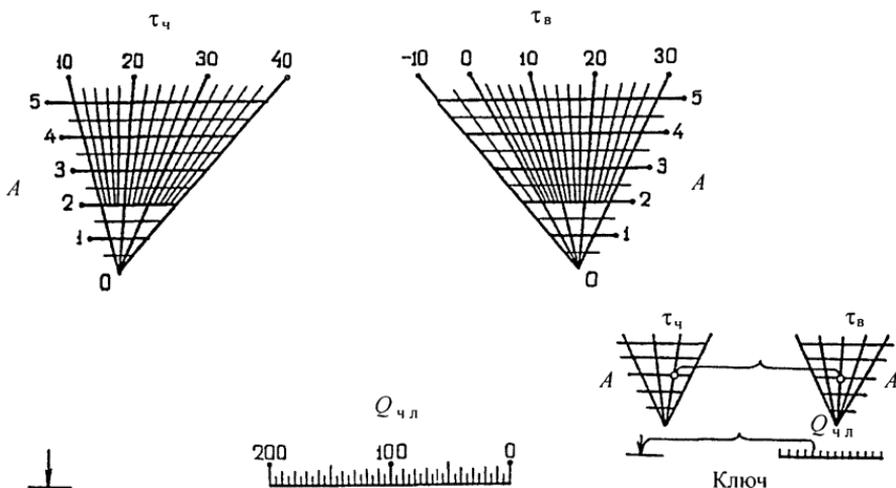


Рис. 2.8. Циркулярная номограмма для определения количества теплоты, передаваемого человеком излучением

В. Н. Богословский [13] в зависимости от площади облучаемой поверхности ограждения  $F_{пов}$  и расстояния между облучаемой и облучающей поверхностями  $x$  только по центру помещения ре-

комендует для определения коэффициента углового облучения ориентирующую формулу

$$\varphi_{ч.п} = 1 - 0,8 \frac{x}{\sqrt{F_{пов}}} . \quad (2.39)$$

Исследования, проведенные И. И. Шаркаускасом [13] на цилиндрической модели высотой 1,8 м и диаметром 0,28 м методом светового моделирования, позволили получить по центру помещения значения углового коэффициента облучения в виде графиков.

Для анализа лучистого теплообмена между человеком и наружным ограждением З. И. Жуковой предложено определять угловой коэффициент облучения по графикам А. М. Данилюка, применяемым для нахождения геометрического коэффициента естественного освещения.

О. Фагнер [12] при определении углового коэффициента облучения человека на вертикальную поверхность принимает не фигуру человека, а точку на его поверхности. Для сидящего человека на расстоянии 0,6 м и стоящего на расстоянии 1 м от уровня пола в центре помещения.

Таким образом, рассматриваемые методы не имеют четко выраженной теоретической основы и позволяют определить значения углового коэффициента облучения только для человека, передвигающегося по центральной оси помещения.

В работе при определении углового коэффициента облучения принята фигура человека в одежде различной утепленности в виде цилиндра. При этом за излучаемую поверхность человека при теплообмене с вертикальной плоскостью принята в середине цилиндра прямоугольная плоскость высотой  $Z = 1,7$  м, диаметром  $d = 0,3$  м и площадью  $F_z = 0,51$  м<sup>2</sup>, которая может находиться в различных местах плоскости пола (рис. 2.9). Исходя из этих предпосылок, задача определения углового коэффициента облучения между человеком и окном ( $\varphi_{ч.окн}$ ), простенком ( $\varphi_{ч.прост}$ ), перемычкой ( $\varphi_{ч.перем}$ ), отопительным прибором ( $\varphi_{ч.отп}$ ) определяется соотношением (2.47).

Угловой коэффициент облучения между человеком и наружным ограждением можно записать в следующем виде:

$$\varphi_{ч.орг} = \frac{1}{F_z} \int_{F_z} dF_{ч} \int_{F_{орг}} \frac{\cos \phi_1 \cos \phi_2}{\pi r^2} dF_{орг}, \quad (2.40)$$

где  $F_z$  — прямоугольная плоскость середины цилиндра, м<sup>2</sup>.

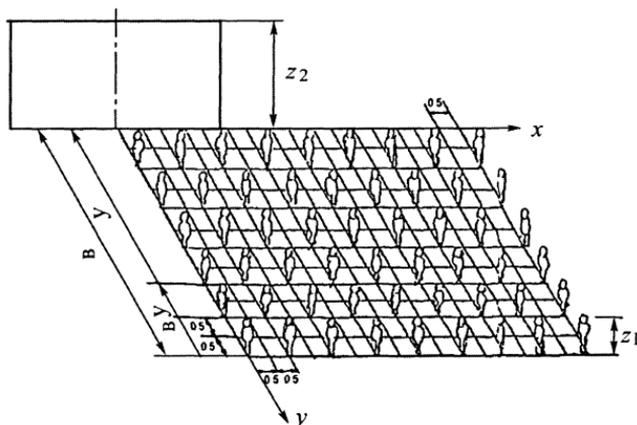


Рис. 2.9. Перемещение человека в помещении по отношению к вертикальной поверхности наружного ограждения

Согласно принятым условиям лучистого теплообмена (см. рис. 2.9)

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \frac{B - y_1}{r} = \cos \varphi.$$

Выражение (2.40) можно записать в следующем виде:

$$\varphi_{ч.орг} = \frac{1}{F_Z} \int_{F_Z} dF_{ч} \int_{F_{орг}} \frac{\cos^2 \varphi}{\pi r^2} dF_{орг}$$

или

$$\varphi_{ч.орг} = \frac{1}{F_Z} \int_{F_Z} dF_{ч} \int_{F_{орг}} \frac{(B - y_1)^2}{\pi r^4} dF_{орг}. \quad (2.41)$$

Расстояние между  $F_{ч}$  и  $F_{орг}$  можно описать следующим выражением:

$$r^2 = (x_2 - x_1)^2 + (B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2. \quad (2.42)$$

Подставив выражение (2.42) в уравнение (2.41) и выполнив некоторые вычисления, получим

$$\varphi_{ч.орг} = \frac{1}{F_Z} \int_{F_Z} dF_{ч} \int_{F_{орг}} \frac{(B - y_1)^2}{\pi [(x_2 - x_1)^2 + (B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2]^2} dF_{орг}. \quad (2.43)$$

Согласно принятой схеме (см. рис. 2.9) пределы интегрирования по горизонтали  $0 \leq x \leq l_{\text{в.о}}$  и по вертикали  $0 \leq Z \leq Z_2$ , поэтому пределы интегрирования углового коэффициента облучения

$$\Phi_{\text{ч.орг}} = \frac{(B - y_1)^2}{\pi} \int_0^{Z_2} \int_0^{l_{\text{в.о}}} \frac{dx_2 dz_2}{[(x_2 - x_1)^2 + (B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2]^2}. \quad (2.44)$$

Обозначим  $x_2 - x_1 = \bar{x}$  и  $d\bar{x} = dx_2$ , тогда  $-x_1 \leq \bar{x} \leq l_{\text{в.о}} - x_1$ . Примем  $A^2 = (B - y_1)^2 + (Z_1 - Z_2)^2$  или  $A = \sqrt{(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$ .

Угловой коэффициент облучения с учетом принятых обозначений можно представить в следующем виде:

$$\Phi_{\text{ч.орг}} = \frac{(B - y_1)^2}{\pi} \int_0^{Z_2} dr \int_{-x_1}^{l_{\text{в.о}} - x_1} \frac{1}{(A^2 + \bar{x}^2)} d\bar{x}. \quad (2.45)$$

Проинтегрируем выражение

$$\begin{aligned} \int_{-x_1}^{l_{\text{в.о}} - x_1} \frac{1}{(A^2 + \bar{x}^2)^2} d\bar{x} &= \left( \frac{\bar{x}}{2A^2(A^2 + \bar{x}^2)} + \frac{1}{2A^3} \arctg \frac{\bar{x}}{A} \right) \Big|_{-x_1}^{l_{\text{в.о}} - x_1} = \\ &= \left\{ \frac{l_{\text{в.о}} - x_1}{2A^2[A^2 + (l_{\text{в.о}} - x_1)^2]} + \frac{1}{2A^3} \arctg \frac{l_{\text{в.о}} - x_1}{A} \right\} - \\ &\quad - \left\{ \frac{-x_1}{2A^2 + x_1^2} + \frac{1}{2A^3} \arctg \frac{-x_1}{A} \right\}. \end{aligned} \quad (2.46)$$

Перепишем соотношение (2.45) с учетом выражения (2.46):

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{ч.орг}} &= \\ &= \frac{(B - y_1)^2}{\pi} \int_0^{Z_2} \left[ \frac{l_{\text{в.о}} - x_1}{2[(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] \{ [(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] + (l_{\text{в.о}} - x_1)^2 \}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2[(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] \sqrt{(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \arctg \frac{l_{\text{в.о}} - x_1}{\sqrt{(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \right] dr_2 - \\ &\quad - \frac{(B - y_1)^2}{\pi} \int_0^{Z_2} \left\{ \frac{-x_1}{2[(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] \{ [(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] + x_1^2 \}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2[(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2] \sqrt{(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \arctg \frac{-x_1}{\sqrt{(B - y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \right\} dr_2. \end{aligned} \quad (2.47)$$

Интегрирование соотношения (2.47) связано с математическими трудностями и записать его через элементарные функции

не представляется возможным. Поэтому интегральное соотношение (2.47) представим в виде графиков, по которым произведем вычисление углового коэффициента облучения для поверхности наружных ограждений (стен и окон), принимая наиболее распространенные по типовым проектам гражданских и промышленных зданий размеры наружных стен и световых проемов.

В интегральном соотношении (2.47) размеры поверхности наружного ограждения обозначаются параметрами  $l_{в.о}$  и  $Z_2 = \text{const}$ ; расстояние от наружной поверхности ограждения вглубь помещения  $v = \text{const}$ ; высота человека  $Z_1$ ;  $y_1$  — аргумент;  $(v - y_1)$  — перемещение человека в глубине помещения; переменная  $X$  ( $0 \leq X \leq l_{в.о}$ ) — перемещение человека от центральной оси помещения параллельно наружному ограждению.

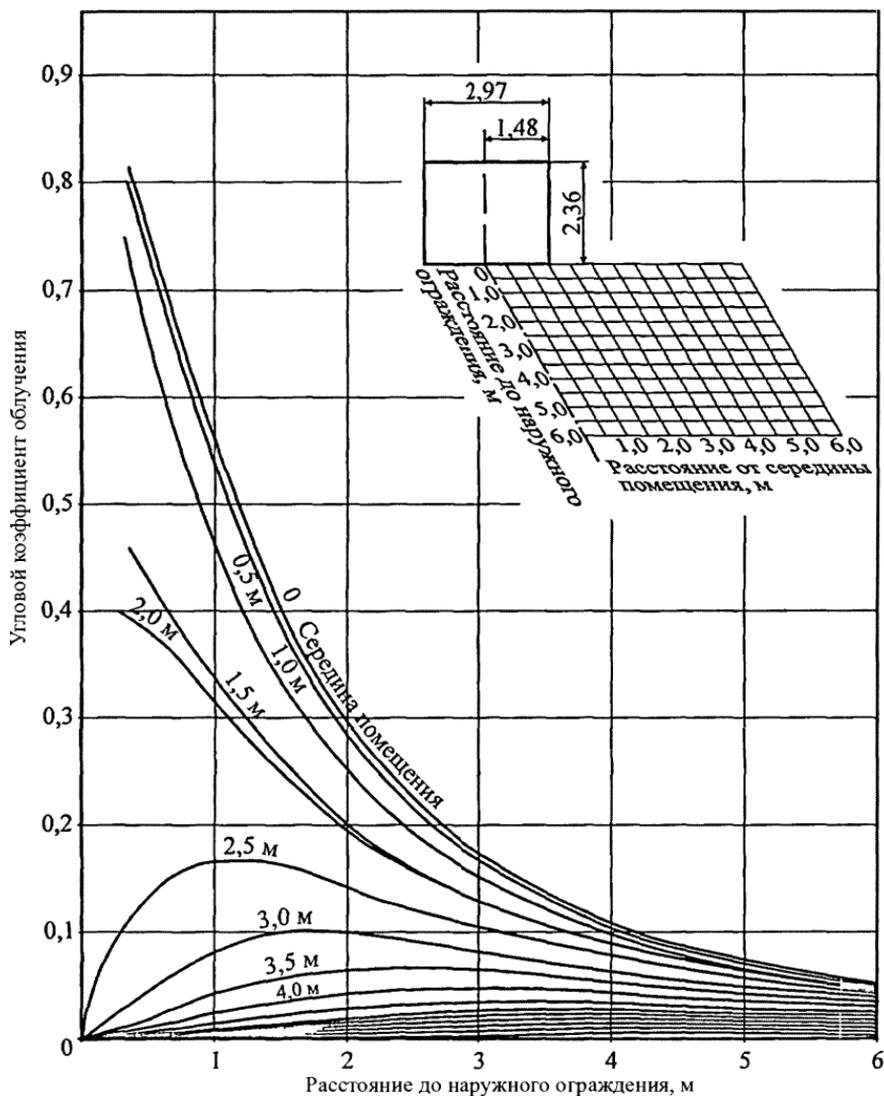
Как уже говорилось, в расчетах принята излучаемая поверхность тела человека  $0,51 \text{ м}^2$ .

При решении задач лучистого теплообмена между человеком и наружным ограждением принято условие, что человек может находиться в любой точке плоскости пола. Схема возможного перемещения человека представлена на рис. 2.9 с шагом  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$ . Человек перемещается по поверхности пола в местах пересечения линий. Принятые условия позволяют определить угловой коэффициент облучения в различных местах нахождения человека в помещении.

В результате проведенных расчетов для габаритов окон и витражей различных зданий, рекомендуемых ГОСТами, построены номограммы определения углового коэффициента облучения с поверхности тела человека на поверхность окна. Они приведены для размера  $2,36 \times 2,97 \text{ м}$  (рис. 2.10, а);  $2,36 \times 5,44 \text{ м}$  (рис. 2.10, б);  $2,41 \times 4,5 \text{ м}$  (рис. 2.10, в);  $2,96 \times 2,97 \text{ м}$  (рис. 2.10, г);  $3,0 \times 4,5 \text{ м}$  (рис. 2.10, д);  $3,0 \times 5,5 \text{ м}$  (рис. 2.10, е);  $2,56 \times 2,97 \text{ м}$  (рис. 2.10, ж);  $3,56 \times 4,47 \text{ м}$  (рис. 2.10, з);  $2,36 \times 5,44 \text{ м}$  (рис. 2.10, и).

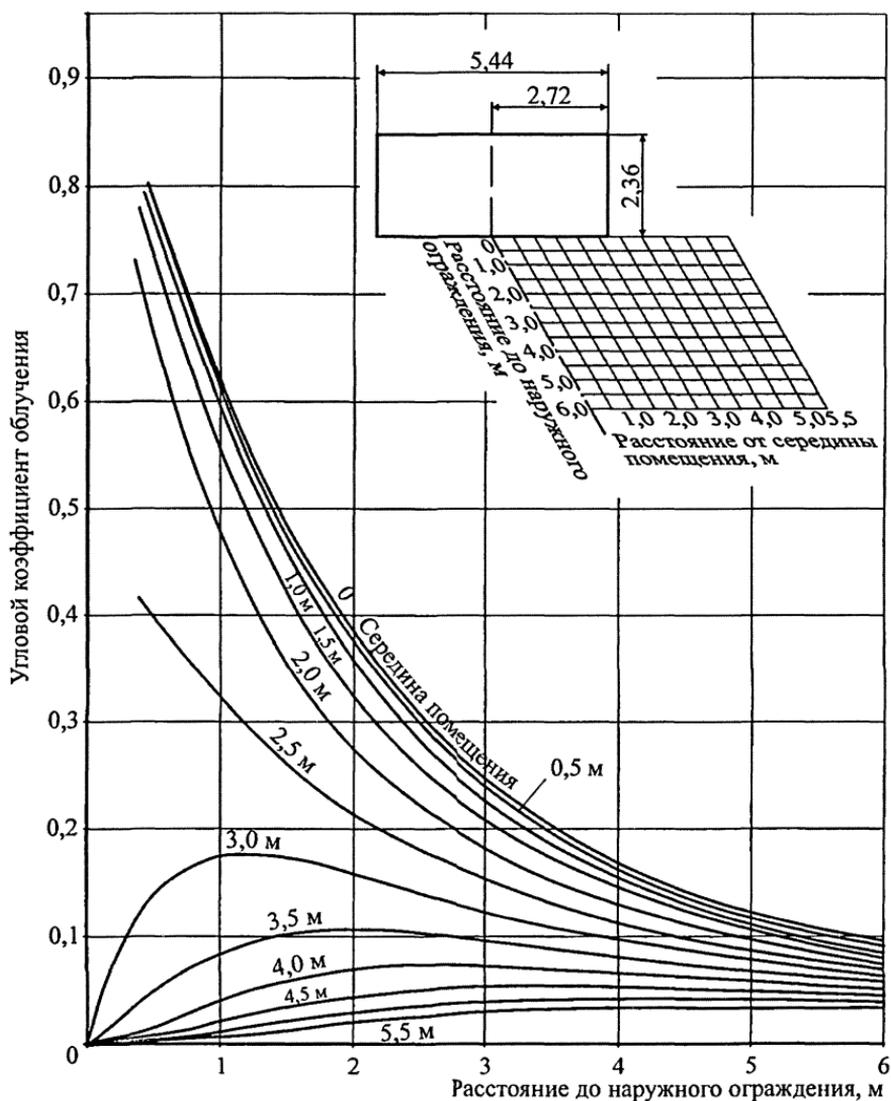
Для габаритов окон, простенков стен и отопительных приборов получены номограммы углового коэффициента облучения с поверхности тела человека на эти поверхности. Эти номограммы приведены в прил. П1 для окон размером  $1,7 \times 2,02 \text{ м}$  (рис. П1.1) и размером  $1,41 \times 2,02 \text{ м}$  (рис. П1.2).

Номограммы для определения углового коэффициента облучения между человеком и поверхностью балконной двери размеров  $2,12 \times 0,82 \text{ м}$  приведены в прил. П2 (рис. П2.1) и размером  $2,32 \times 0,82 \text{ м}$  (рис. П2.2).



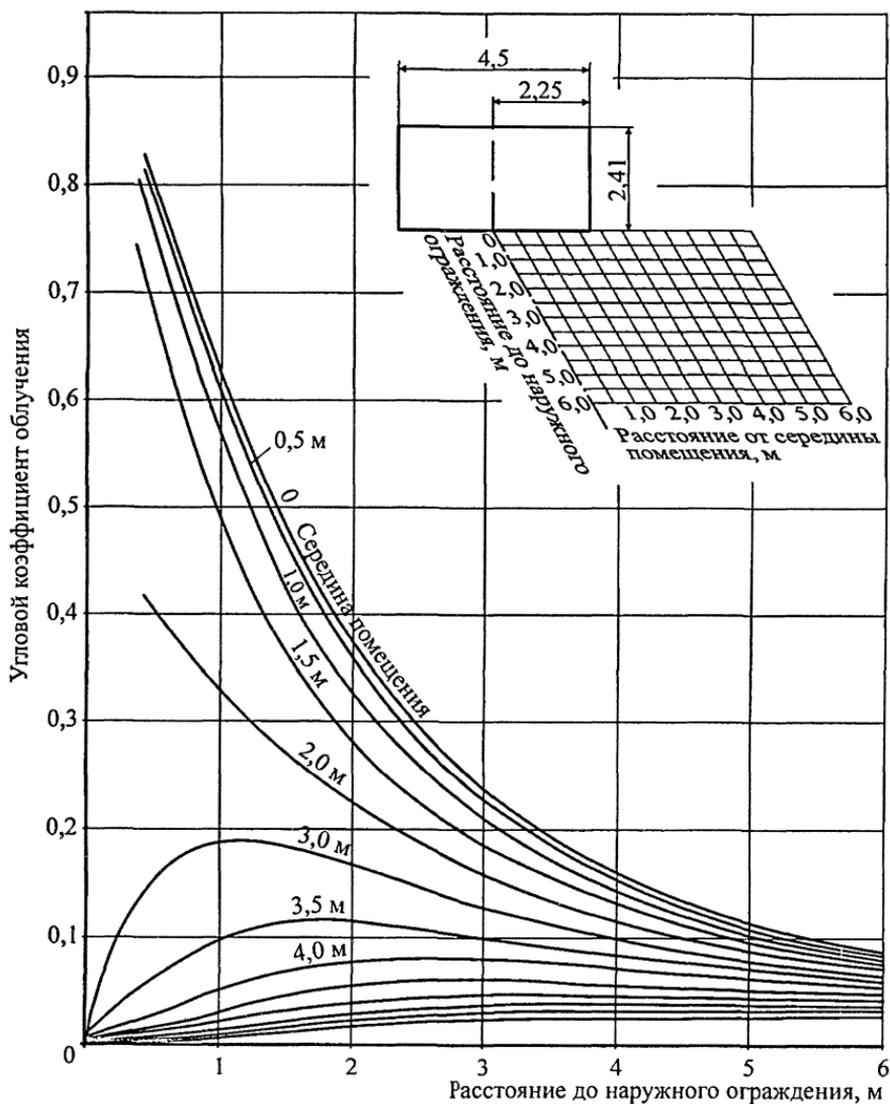
a

Рис. 2.10. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $2,36 \times 2,97$  м (Начало)



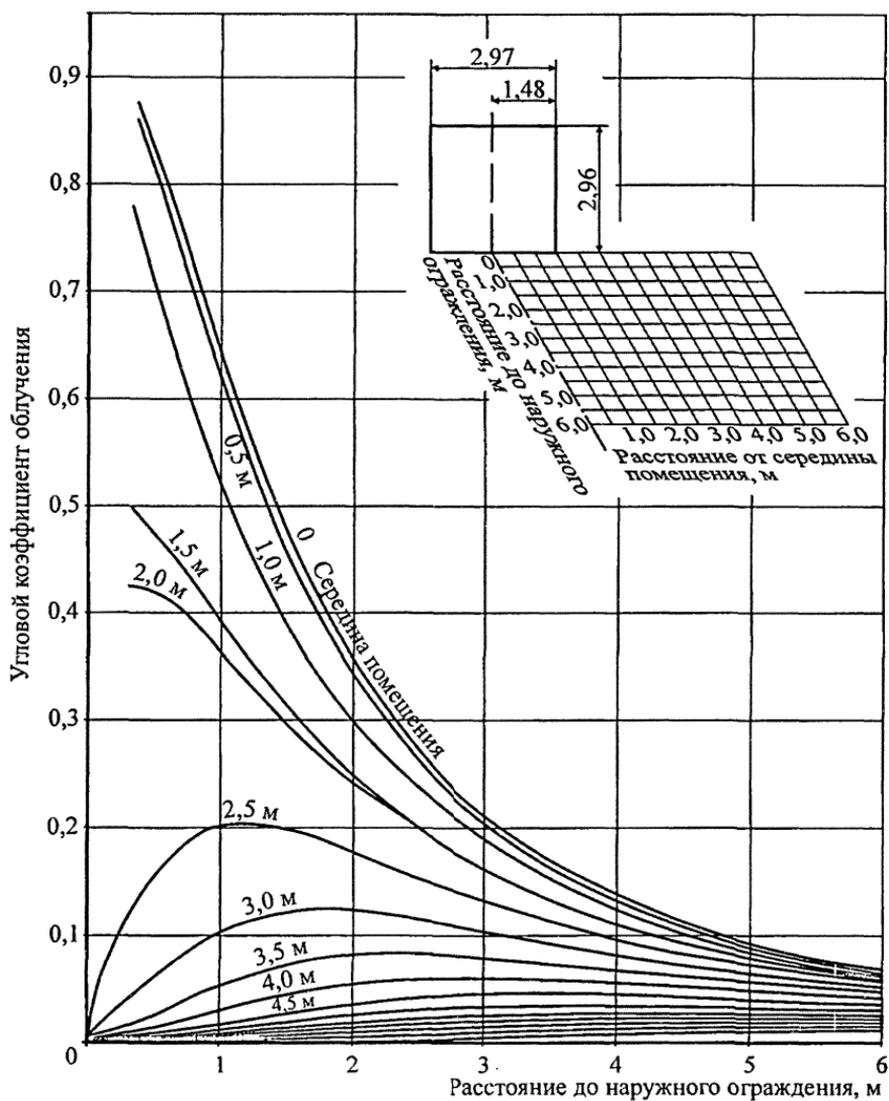
6

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,36 × 5,44 м (Продолжение)



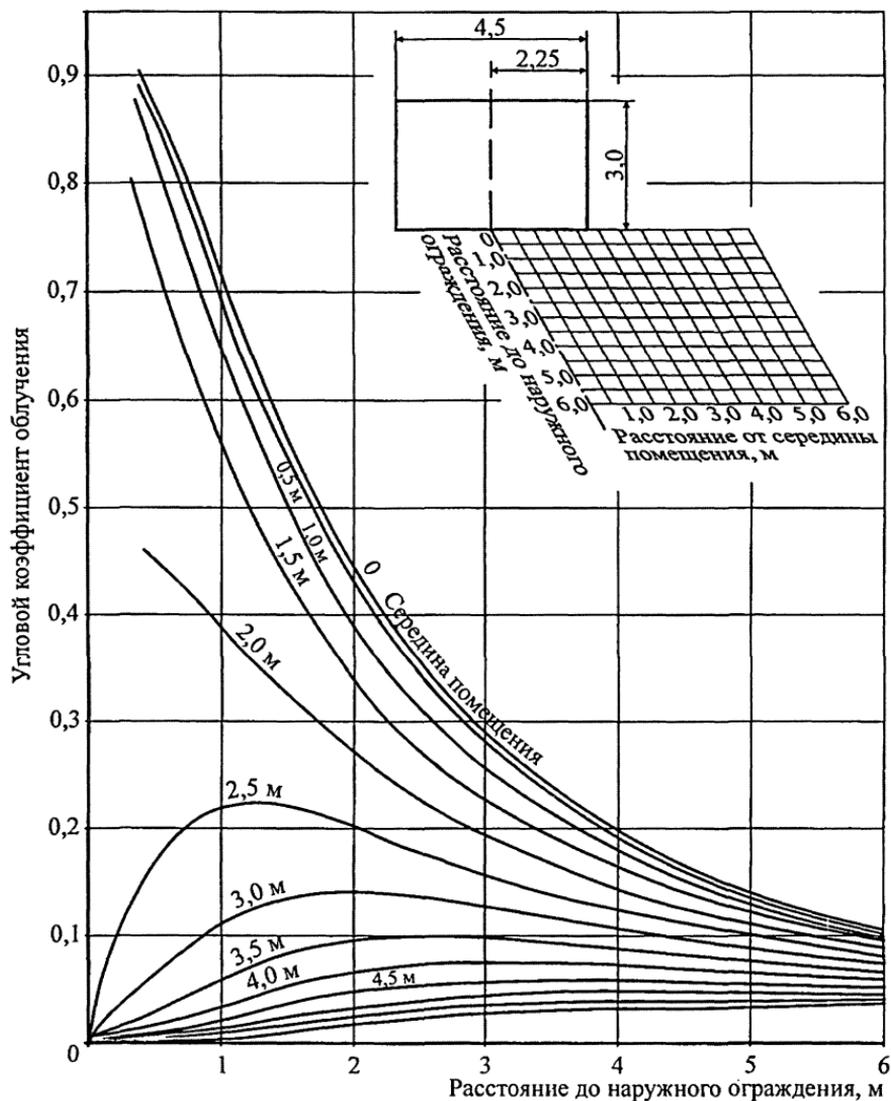
в

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,41 × 4,5 м (Продолжение)



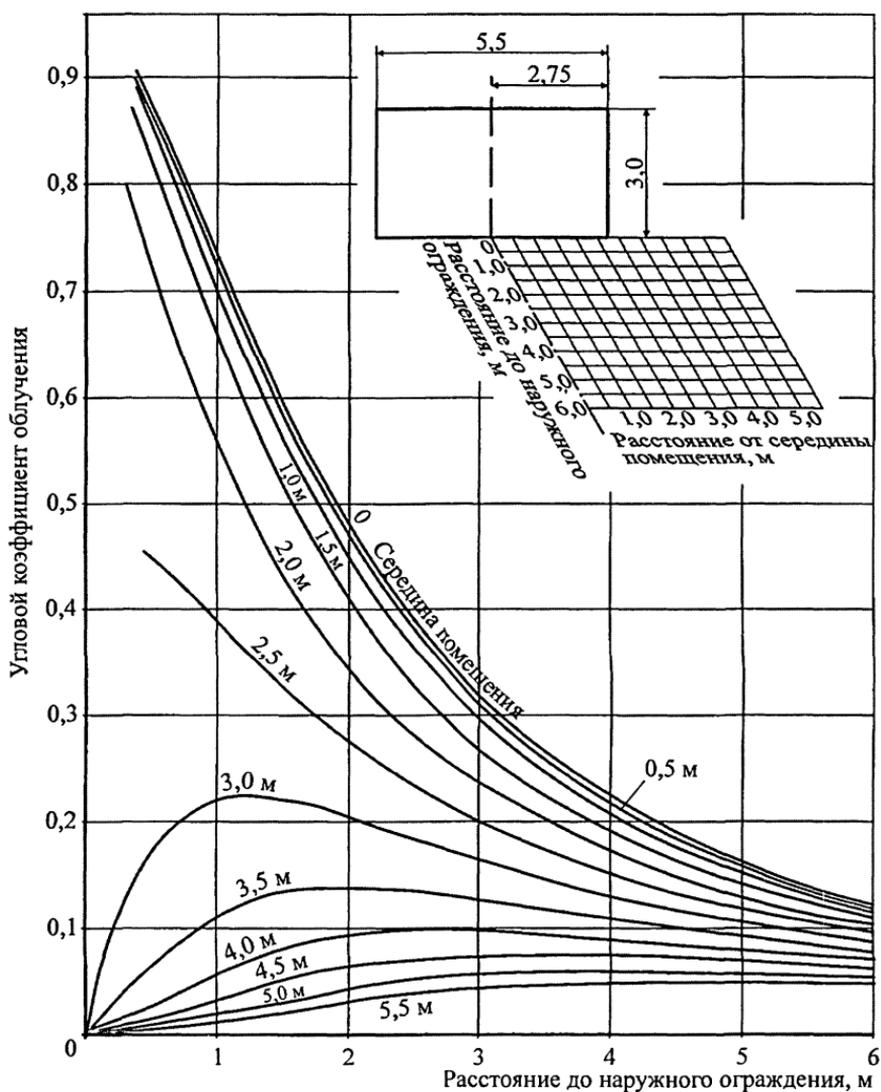
2

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,96 × 2,97 м (Продолжение)



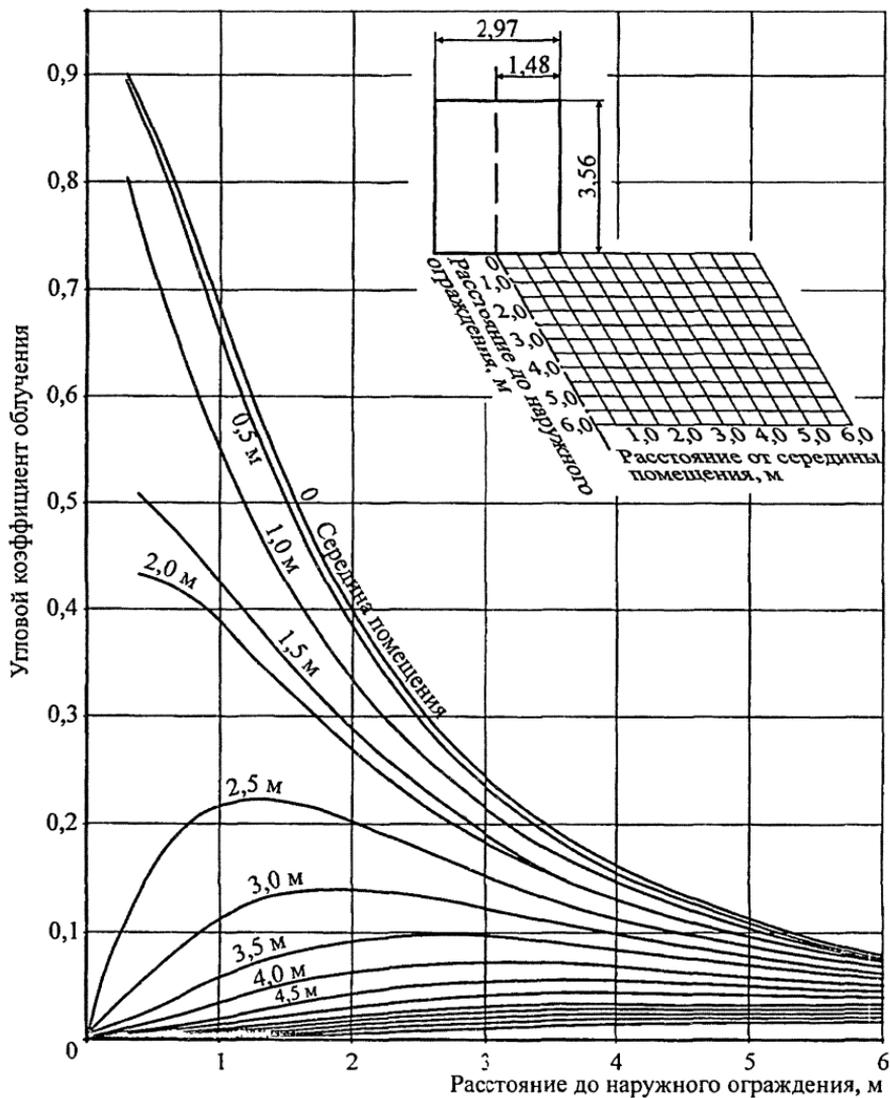
д

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $3,0 \times 4,5$  м (Продолжение)



e

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $3,0 \times 5,5$  м (Продолжение)



ж

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $3,56 \times 2,97$  м (Продолжение)

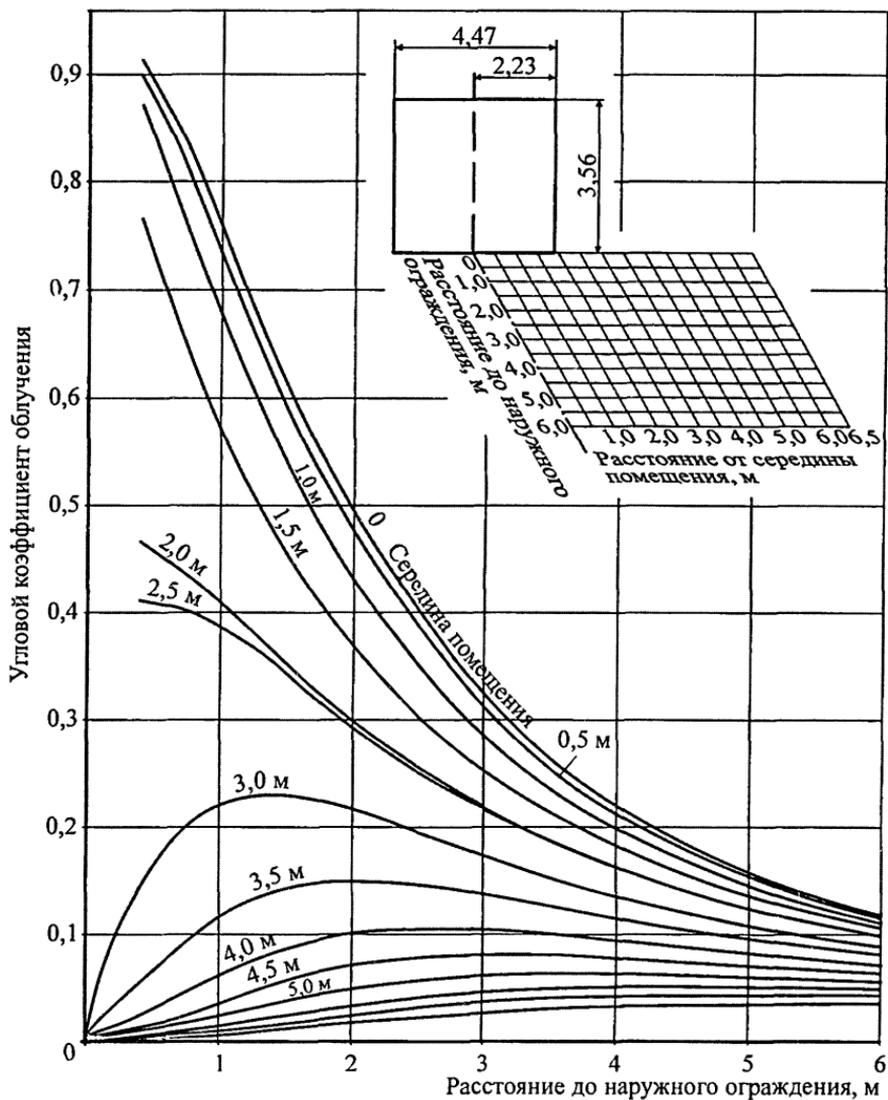
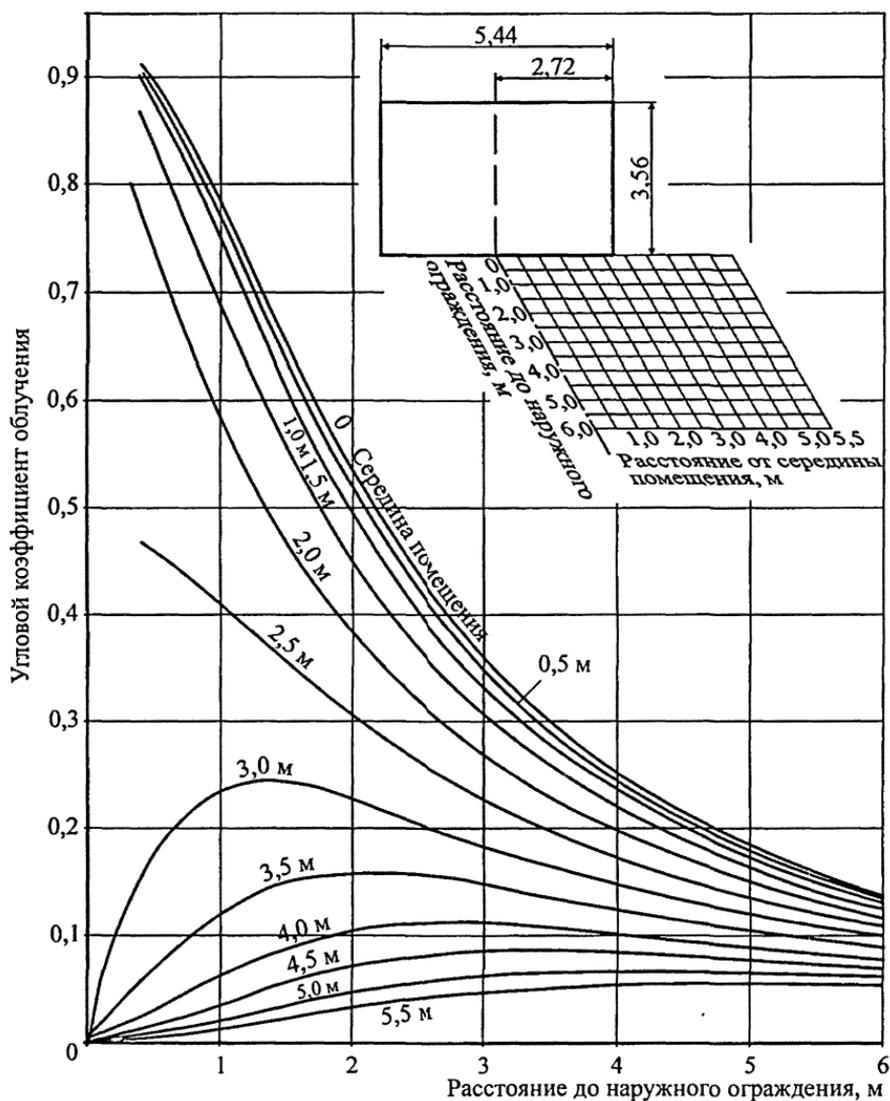


Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,56 × 4,47 м (Продолжение)



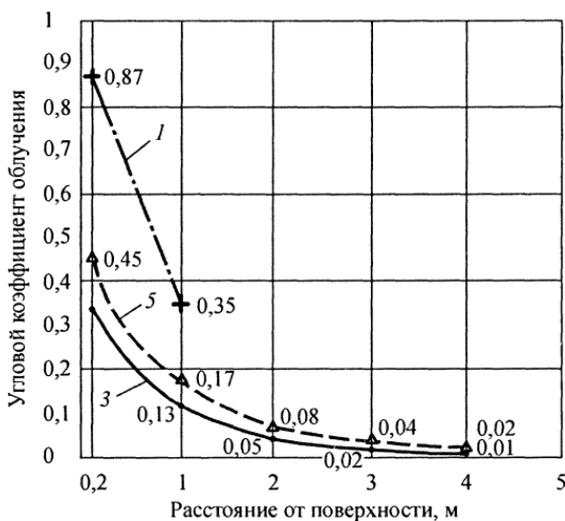
и

Рис. 2.10. Коэффициент углового облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,56 × 5,44 м (Окончание)

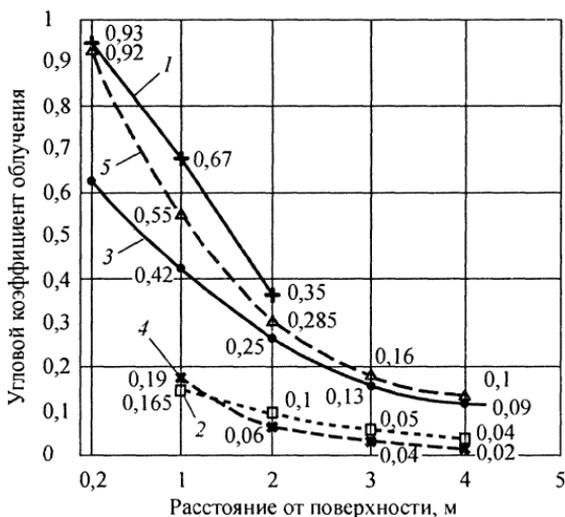
Угловые коэффициенты облучения, полученные для охлажденных и нагретых поверхностей, выходящих в помещение, необходимо учитывать при теплообмене человека с ограждающими конструкциями, поверхностью простенка и переемычки, а также с нагретыми поверхностями различных отопительных приборов. Номограммы для определения углового коэффициента облучения этих поверхностей приведены в приложениях. Так, в прил. П3 (рис. П3.1 и П3.2) даны номограммы для определения углового коэффициента облучения между человеком и поверхностями размером  $0,1 \times 2,0$  м и  $0,1 \times 3,0$  м, в прил. П4 (рис. П4.1, П4.2 и П4.3) между человеком и поверхностями размером  $0,5 \times 2,0$  м;  $0,5 \times 3,0$  м и  $0,5 \times 6$  м. В прил. П5 (рис. П5.1 и П5.2) приведены номограммы для определения углового коэффициента облучения между человеком и наружным ограждением размером  $2,7 \times 0,5$  м;  $3,0 \times 0,5$  м;  $3,6 \times 0,5$  м и  $4,8 \times 0,5$  м; в прил. П6 (рис. П6.1 и П6.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $3,0 \times 1,0$  м и  $4,8 \times 1,0$  м; в прил. П7 (рис. П7.1 и П7.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $1,5 \times 1,0$  м и  $1,5 \times 3,0$  м; в прил. П8 (рис. П8.1 и П8.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $2,0 \times 2,0$  м и  $2,7 \times 3,0$  м; в прил. П9 (рис. П9.1 и П9.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $3,6 \times 3,0$  м и  $4,8 \times 3,0$  м; в приложении 10 (рис. 1 и 2) — между человеком и наружным ограждением размером  $3,6 \times 2,0$  м и  $4,8 \times 2,0$  м; в прил. П11 (рис. П11.1 и П11.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $3,6 \times 4,0$  м и  $4,8 \times 4,0$  м; в прил. П12 (рис. П12.1 и П12.2) — между человеком и наружным ограждением размером  $2,7 \times 9,0$  м и  $3,0 \times 9,0$  м.

Проанализируем значения угловых коэффициентов облучения, полученные разными методами. Угловой коэффициент облучения определим по центральной оси на расстоянии 0,2; 1,0; 2,0; 3,0 и 4,0 м от поверхности  $3,0 \times 0,5 = 1,5$  м<sup>2</sup>;  $3,0 \times 2,0 = 6$  м<sup>2</sup>,  $3,0 \times 3,0 = 9$  м<sup>2</sup> и  $3,0 \times 9,0 = 27$  м<sup>2</sup>. Результаты расчета по формуле В. Н. Богословского, графикам И. И. Шаркаускаса, А. М. Данилюка и О. Фангера, а также по номограммам, полученные П. Н. Умняковым на основе решения интегрального уравнения (2.47), приведены на рис. 2.11.

По характеру кривых видно, что значения углового коэффициента облучения, полученного по графикам И. И. Шаркаускаса и О. Фангера, сильно занижены по сравнению с данными



а



б

Рис. 2.11. Значения коэффициентов облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность:

а — поверхность  $F = 1,5 \times 1,0 = 1,5 \text{ м}^2$ ; б — поверхность  $F = 3,0 \times 2,0 = 6,0 \text{ м}^2$ ; в — поверхность  $F = 3,0 \times 3,0 = 9,0 \text{ м}^2$ ; г — поверхность  $F = 3,0 \times 9,0 = 27,0 \text{ м}^2$ ; 1 — по данным В. Н. Богословского; 2 — по данным И. И. Шаркаускаса; 3 — по данным А. М. Данилюка; 4 — по данным Л. Фангера; 5 — по данным П. Н. Умнякова (Начало)

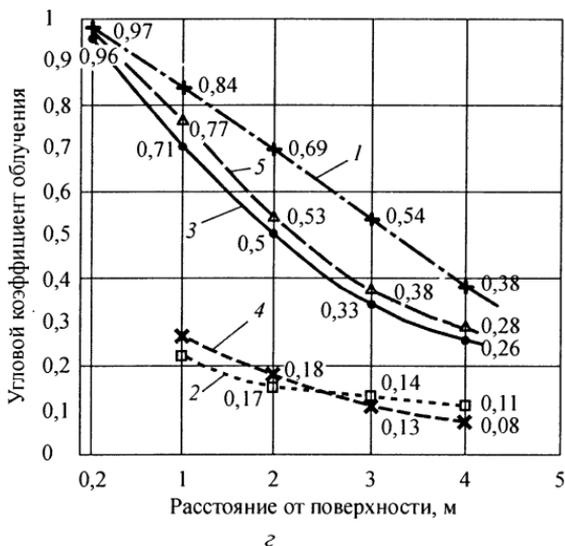
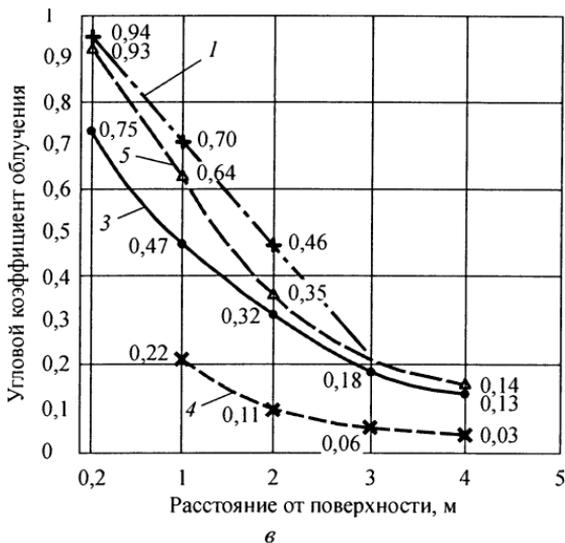


Рис. 2.11. (Окончание)

В. Н. Богословского, А. М. Данилюка и автора. Необходимо также отметить, что для некоторых соотношений размеров вертикальной плоскости по графикам И. И. Шаркаукаса и О. Фангера нельзя получить значение углового коэффициента облучения (см. рис. 2.11).

Величины угловых коэффициентов облучения, полученные по формуле В. Н. Богословского и графикам А. М. Данилюка, отличаются друг от друга. Промежуточное место между этими кривыми занимают значения углового коэффициента облучения, полученные автором по номограммам. Так, расхождения в значениях угловых коэффициентов облучения, определенных по формуле (2.39) и по графику А. М. Данилюка, на расстоянии 1 м от поверхности высотой 3,0 м и шириной 2,0 м, составили 59,6 %, на расстоянии 2,0 м — 37 %. Значение углового коэффициента облучения, вычисленное по номограмме на расстоянии 1,0 м от поверхности, оказалось на 21,8 % ниже по сравнению с расчетом по формуле (2.39) и на 37,8 % выше — по графикам А. М. Данилюка. На расстоянии 2,0 м от поверхности значение углового коэффициента облучения на 22,8 % ниже по сравнению с расчетом по формуле (2.39) и на 14 % выше — по графикам А. М. Данилюка.

Аналогичная закономерность наблюдается на графиках рис. 2.11, в в значениях коэффициентов облучения, полученных при расчетах по формуле (2.39) и графиком А. М. Данилюка. Так, расхождение на расстоянии 1,0 м от поверхности высотой 3,0 м и шириной 3,0 м составили 55,3 % и на расстоянии 2,0 — 45,9 %. Как видно из рис. 2.11, в, промежуточное положение занимают значения углового коэффициента облучения, вычисленные по номограммам.

С увеличением площади облучаемой поверхности ( $F_{\text{орг}} = 3 \times 9 = 27 \text{ м}^2$ ) угловые коэффициенты, полученные по номограммам и графикам А. М. Данилюка, практически равны между собой (рис. 2.11, г). За исключением данных, полученных по формуле (2.39).

На основе проделанного анализа установлено расхождение (рис. 2.11) для групп кривых, полученных по формуле (2.39), номограммам и графикам А. М. Данилюка. Полученные по формуле (2.39) зависимости имеют прямолинейный характер, а не гиперболический. Последнее соответствует интегральному уравнению (2.47). Расхождение в значениях углового коэффициента облучения, полученных по номограммам и по графикам А. М. Данилюка, связано с тем, что при определении коэффициента естественного освещения рассматривается освещенность, создаваемая в некоторой точке заданной плоскости. Угловой коэффициент облучения, как известно, характеризует долю лучистого потока, падающего на поверхность  $F_2$  от всего потока, из-

лучающей поверхностью  $F_1$ . Такие расхождения по графикам А. М. Данилюка обусловлены тем, что при расчетах не учтена излучающая поверхность.

Проанализируем условия лучистого теплообмена между цилиндрической поверхностью и вертикальной плоскостью. В работе Э. М. Спэрроу и Р. Д. Сесс\* приводится в общем виде формула для вычисления углового коэффициента облучения с поверхности цилиндра на вертикальную плоскость. Она авторами не проинтегрирована, а решена численными методами. Результаты представлены в виде графика для условий, когда высота цилиндра соответствует высоте вертикальной плоскости, а цилиндр по отношению к вертикальной плоскости перемещается только по ее центральной оси.

По графику Спэрроу и Сесса применительно к принятой в настоящей работе модели человека в одежде определить величину коэффициента облучения из-за отсутствия числовых значений не представляется возможным.

К. Биро\*\* разработал метод определения коэффициента облучения бесконечной трубы и бесконечной плоской поверхности. Принятые граничные условия не позволяют использовать это решение для нашего случая определения доли поверхности цилиндра, участвующего в лучистом теплообмене.

При составлении уравнений теплообмена человека за излучаемую поверхность автором принята в середине цилиндра прямоугольная плоскость. Если считать  $\Sigma_{\text{ф.орг}} = 1$ , то это условие учитывает полную поверхность цилиндра. В разделе 4.2 приведены соответствующие уравнения теплового баланса. Принятые условия позволяют отказаться от установления фактической доли поверхности цилиндра, участвующего в теплообмене, с каждой внутренней поверхностью помещения.

На основе вычисленных коэффициентов облучения по данным разных авторов (см. рис. 2.11,  $a-z$ ) определим величину лучистого теплообмена человека в одежде с вертикальными поверхностями. При этом примем, что  $C_{\text{ч}} = 3,83 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ,  $C_{\text{орг}} = 5,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ,  $\tau_{\text{ч}} = 28,5 \text{ }^\circ\text{С}$  и  $\tau_{\text{в}} = 8,35 \text{ }^\circ\text{С}$ . Результаты выполненных расчетов и анализ кривых показывают, что характер их

\* Спэрроу Э. М., Сесс Р. Д. Теплообмен излучением. Л.: Энергия, 1971. С. 230.

\*\* Biro K. Sik Feuet esc so kozotti besugazasi tenyezo meghatarozasa/Epulategeszlet. 1975. № 5. P. 224—226.

изменений имеет ту же закономерность, как на рис. 2.11, *a—z*. Величины лучистого теплообмена построены по номограммам на основе решения интегрального уравнения (2.47), как правило, занимают промежуточное положение между кривыми, построенными по формуле В. Н. Богословского (2.39) и по графикам А. М. Данилюка. Эти условия сохраняются при лучистом теплообмене человека с вертикальными поверхностями размером 1,5; 6,0; 9; 27 м<sup>2</sup>. По сравнению с предлагаемым в работе методом определения лучистого теплообмена эти значения, определенные по формуле (2.39) в основном завышены. Так, в местах их пересечения они совпадают, а в других случаях расхождение доходит до 25 % от значения лучистого теплообмена, полученного по графикам А. М. Данилюка.

Значение лучистого теплообмена, определенное по графикам И. И. Шаркаукаса и О. Фангера, по сравнению с данными, полученными с учетом предлагаемых коэффициентов облучения, значительно занижены. Так, на расстоянии 1 м от вертикальной поверхности расхождение в среднем составило 180 % и на расстоянии 4 м — 110 %. Как следует из анализа, он производился только для одного условия: человек в одежде находится против вертикальной плоскости на центральной оси, проходящей в плоскости пола. Произвести сравнение величин лучистого теплового потока при нахождении человека в любой точке плоскости поля не представляется возможным из-за отсутствия этих данных у других авторов.

Предложенный автором учебника метод определения коэффициентов облучения по номограммам, полученным путем интегрирования уравнений (2.47), представляет семейство кривых, позволяющих определить локальные величины лучистого теплообмена у человека в одежде различной утепленности, находящегося в любой точке площади поля помещения, является достаточно точным и может быть рекомендован для инженерных расчетов.

## **2.4. Метод расчета сопротивления теплопередаче пакета одежды с учетом его кривизны**

При определении термического сопротивления пакета одежды могут возникнуть различные варианты прилегания его слоев к телу человека. Так, при выполнении им работ с различным

уровнем энергозатрат основная часть теплозащитных свойств в пакете одежды приходится на воздушные прослойки. Для пакета одежды, состоящего из нескольких плоскопараллельных слоев различных материалов с воздушными прослойками между ними, сопротивление теплопередаче  $R_{\text{п}}$  можно определить по формуле

$$R_{\text{п}} = R_{\text{воз.пр}} + R_{\text{п1}} + R_{\text{п2}} + \dots + R_{\text{пn}} = R_{\text{воз.пр}} + \frac{\delta_{\text{п1}}}{\lambda_{\text{п1}}} + \frac{\delta_{\text{п2}}}{\lambda_{\text{п2}}} + \dots + \frac{\delta_{\text{пn}}}{\lambda_{\text{пn}}}, \quad (2.48)$$

где  $R_{\text{воз.пр}}$  — термическое сопротивление воздушной прослойки,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_{\text{пi}}$  — термические сопротивления слоев пакета одежды,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\delta_i$  — толщина слоев пакета одежды, м;  $\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности слоев пакета одежды,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

При определении термического сопротивления пакета одежды по формуле (2.48) не учитывается форма облегаения им тела человека. Сопротивление теплопередаче пакета одежды с учетом кривизны можно записать в следующем виде:

$$R_{\text{п.кр}} = \frac{d_{\text{внут}}}{2\lambda_{\text{п.эк}}} \ln \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}}, \quad (2.49)$$

где  $\lambda_{\text{п.эк}}$  — эквивалентный коэффициент теплопроводности пакета одежды,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Если величины  $\ln \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}}$  разложить в ряд

$$\ln \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} = \left( \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} - 1 \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} - 1 \right)^2 + \dots,$$

то при  $\frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} \rightarrow 1$  ряд оказывается быстро сходящимся и с достаточной степенью точности можно ограничиться первым членом ряда:

$$\ln \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} = \left( \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} - 1 \right) = \frac{d_{\text{внеш}} - d_{\text{внут}}}{d_{\text{внут}}} = \frac{2\delta_{\text{п}}}{d_{\text{внут}}}. \quad (2.50)$$

Здесь  $\delta_{\text{п}}$  — толщина пакета одежды, м.

Подставив отношение  $\frac{2\delta_{\text{п}}}{d_{\text{внут}}}$  из формулы (2.50) в уравнение (2.49), получим сопротивление теплопередаче для плоскопараллельных слоев пакета одежды

$$R_{\text{п}} = \frac{d_{\text{внут}}}{2\lambda_{\text{п.ЭК}}} \ln \frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} = \frac{d_{\text{внут}}}{2\lambda_{\text{п.ЭК}}} \frac{2\delta_{\text{п}}}{d_{\text{внут}}} = \frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п.ЭК}}}. \quad (2.51)$$

Диаметры  $d_{\text{внеш}}$  и  $d_{\text{внут}}$  выразим через периметры по телу человека и внешнему слою пакета одежды:

$$d_{\text{внеш}} = 2r_{\text{внеш}} = \frac{L_{\text{внеш}}}{\pi} \quad \text{и} \quad d_{\text{внут}} = 2r_{\text{внут}} = \frac{L_{\text{внут}}}{\pi},$$

а затем разделим  $d_{\text{внеш}}$  на  $d_{\text{внут}}$ :

$$\frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внут}}} = \frac{L_{\text{внеш}}}{L_{\text{внут}}}. \quad (2.52)$$

Толщину пакета одежды найдем по разности наружного и внутреннего диаметра:

$$d_{\text{внеш}} - d_{\text{внут}} = \frac{L_{\text{внеш}}}{\pi} - \frac{L_{\text{внут}}}{\pi} = 2\delta_{\text{п}},$$

отсюда

$$L_{\text{внеш}} = L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_{\text{п}}. \quad (2.53)$$

Полученное по формуле (2.53) значение  $L_{\text{внеш}}$  подставим в соотношение (2.52):

$$\frac{L_{\text{внеш}}}{L_{\text{внут}}} = \frac{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_{\text{п}}}{L_{\text{внут}}}. \quad (2.54)$$

Подставляя в формулу (2.49) соотношение (2.54), определим сопротивление теплопередаче пакета одежды с учетом его кривизны:

$$R_{\text{п.кр}} = \frac{L_{\text{внут}}}{2\pi\lambda_{\text{п.ЭК}}} \ln \frac{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_{\text{п}}}{L_{\text{внут}}}. \quad (2.55)$$

Если сопротивление теплопередаче пакета одежды с учетом кривизны  $R_{п.кр}$  отнести к термическому сопротивлению теплопередачи пакета одежды с плоскопараллельными слоями  $R_{п}$ , то получим коэффициент кривизны одежды:

$$\beta_{кр} = \frac{R_{п.кр}}{R_{п}} = \frac{L_{внут}}{2\pi\lambda_{п.эк}} \ln \frac{L_{внут} + 2\pi\delta_{п}}{L_{внут}} : \frac{\delta_{п}}{\lambda_{п.эк}} =$$

$$= \frac{L_{внут}}{2\pi\delta_{п}} \ln \frac{L_{внут} + 2\pi\delta_{п}}{L_{внут}}. \quad (2.56)$$

Коэффициент кривизны одежды  $\beta_{кр}$  учитывает сопротивление теплопередаче криволинейной формы пакета одежды. Коэффициент  $\beta_{кр}$  всегда больше единицы. Он показывает, какую долю  $R_{п}$  нужно принять в расчет, чтобы, пользуясь формулой (2.49), можно было определить термическое сопротивление теплопередаче пакета одежды с учетом его кривизны.

Таким образом, сопротивление теплопередаче пакета одежды с учетом его кривизны определяем по формуле

$$R_{п.кр} = \left( R_{воз.пр} + \frac{\delta_{п1}}{\lambda_{п1}} + \frac{\delta_{п2}}{\lambda_{п2}} + \dots + \frac{\delta_{пn}}{\lambda_{пn}} \right) \beta_{кр}$$

или

$$R_{п.кр} = \left( R_{воз.пр} + \frac{\delta_{п1}}{\lambda_{п1}} + \frac{\delta_{п2}}{\lambda_{п2}} + \dots + \frac{\delta_{пn}}{\lambda_{пn}} \right) \left( \frac{L_{внут}}{2\pi\delta_{п}} \ln \frac{L_{внут} + 2\pi\delta_{п}}{L_{внут}} \right). \quad (2.57)$$

Фактическая толщина слоя материала в одежде отличается от толщины материала, определяемого при испытании на приборе. Поэтому предлагается при определении толщины материала и сопротивления теплопередаче пакета одежды в формулу (2.57) вместо  $\delta_{п1}$ ,  $\delta_{п2}$  и  $\delta_{пn}$  ввести массу материала  $P_{п1}$ ,  $P_{п2}$  и  $P_{пn}$  в кг/м<sup>2</sup> и его плотность  $\gamma$  в кг/м<sup>3</sup>. Тогда толщину пакета одежды можно определить по следующей формуле.

$$\delta_{п} = \frac{P_{п1}}{\gamma_{п1}} + \frac{P_{п2}}{\gamma_{п2}} + \dots + \frac{P_{пn}}{\gamma_{пn}} = \frac{P_{п}}{\gamma_{п}}, \quad (2.58)$$

где  $\delta_{п}$  — толщина слоев пакета одежды, м.

После соответствующих преобразований формулу (2.58) для определения сопротивления теплопередаче пакета одежды  $R_p$  с учетом его кривизны можно записать в следующем виде:

$$R_p = \left( R_{\text{воз.пр}} + \frac{P_{п1}}{\gamma_{п1}\lambda_{п1}} + \frac{P_{п2}}{\gamma_{п2}\lambda_{п2}} + \dots + \frac{P_{пn}}{\gamma_{пn}\lambda_{пn}} \right) \times \left( \frac{\gamma_p L_{\text{внут}}}{2\pi P_p} \ln \frac{L_{\text{внут}} + 2\pi \frac{P_p}{\gamma_p}}{L_{\text{внут}}} \right). \quad (2.59)$$

## 2.5. Термическое сопротивление воздушной прослойки в пакете одежды человека

Современная одежда состоит из нескольких слоев тканей и воздушных прослоек. Толщина воздушных прослоек устанавливается соответствующими прибавками, которые при конструировании одежды обеспечивают свободное облегание тела. По своему назначению прибавки подразделяются на минимально необходимые (технические) и декоративно-конструктивные. Минимально необходимые прибавки обеспечивают свободу дыхания, движения и образуют воздушные прослойки, которые регулируют термовлажностные процессы в одежде. Прибавки на декоративно-конструктивное оформление зависят от вида одежды, ее назначения, силуэта и художественной отделки.

Для расчетов участков конструкции одежды целесообразно пользоваться общей прибавкой, которая равняется сумме минимально необходимой и декоративно-конструктивной прибавок.

Общая прибавка на свободное облегание дается к ширине изделия на уровне груди, талии, бедер и т. д. Необходимо отметить, что прибавки на свободное облегание в зависимости от моды ежегодно корректируются моделирующими организациями, но в целом они практически не изменяются.

Величины прибавок на свободное облегание по линии груди  $P_r$  и бедер  $P_b$  для различных силуэтов мужской одежды приведены в табл. 2.1\*.

\* По данным Центральной опытно-технической лаборатории в табл. 2.1 и 2.2 приведены прибавки на свободное облегание для различных силуэтов.

Таблица 2.1. Прибавки на свободное облегание по линии груди и бедер для мужской одежды

| Вид изделия | Величина прибавки, см |                |                        |                |                |                |
|-------------|-----------------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
|             | прилегающий силуэт    |                | полуприлегающий силуэт |                | прямой силуэт  |                |
|             | П <sub>г</sub>        | П <sub>б</sub> | П <sub>г</sub>         | П <sub>б</sub> | П <sub>г</sub> | П <sub>б</sub> |
| Жилет       | 3—4                   | 1,5—2          | 5—6                    | 2,5—5          | —              | —              |
| Пиджак      | 6,5—7                 | 2,5—3          | 7,5—9,5                | 4—6            | 10—11          | 6—8            |

Величина прибавок по ширине изделия по линии груди П<sub>г</sub>, талии П<sub>т</sub> и бедер П<sub>б</sub> для различных силуэтов женской одежды приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Прибавки на свободное облегание по линии груди и бедер для женской одежды

| Вид изделия | Величина прибавок на свободное облегание, см |                |                |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-------------|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | Силуэт                                       |                |                |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |
|             | Приталенный                                  |                |                | Полуприлегающий |                |                | Прямой         |                |                | Трапецевидный  |                |                |
|             | П <sub>г</sub>                               | П <sub>т</sub> | П <sub>б</sub> | П <sub>г</sub>  | П <sub>т</sub> | П <sub>б</sub> | П <sub>г</sub> | П <sub>т</sub> | П <sub>б</sub> | П <sub>г</sub> | П <sub>т</sub> | П <sub>б</sub> |
| Платье      | 5—7  | 1—5            | 3—6            | 5,5—7           | —              | 2,5—5          | 6—7            | —              | 2—2,5          | 5—7            | —              | —              |
| Жакет       | 6—7  | 2—5            | 4—5            | 6—7             | —              | 4—5            | 7—8            | —              | 3,5—4          | 6—7            | —              | —              |

По величине прибавки на свободное облегание тела человека определяется толщина воздушной прослойки и по ней, в зависимости от ее толщины, принимается термическое сопротивление воздушной прослойки в пакете одежды.

В первом приближении будем считать, что вокруг различных частей тела человека (круглого цилиндра) между поверхностью кожи и пакетом одежды имеется слой воздушной прослойки. Расстояние от центра цилиндра до поверхности кожного покрова (эпидермиса) обозначим  $r_2$ , а расстояние от центра цилиндра до внешней поверхности пакета одежды —  $r_3$ . Если радиус  $r_2$  выразится через периметр кожного покрова  $L_{\text{внут}}$ , а радиус  $r_3$  через периметр внешней поверхности пакета одежды  $L_{\text{внеш}}$ , то получим  $r_2 = L_{\text{внут}}/(2\pi)$ , а  $r_3 = L_{\text{внеш}}/(2\pi)$ . С учетом прибавок (П) периметр по внешней поверхности одежды  $L_{\text{внеш}} = L_{\text{внут}} + \text{П}$ . Толщину воздушной прослойки  $\delta_{\text{воз.пр}}$  и слоев пакета одежды  $\delta_{\text{п}}$  найдем из разности радиусов:

$$r_3 - r_2 = \frac{L_{\text{внут}} + \text{П}}{2\pi} - \frac{L_{\text{внут}}}{2\pi} = \delta_{\text{воз.пр}} + \delta_{\text{п.тк}}$$

отсюда

$$\delta_{\text{воз.пр}} = \frac{\Pi}{2\pi} - \delta_{\text{п.тк}}, \quad (2.60)$$

где  $\delta_{\text{п.тк}}$  — толщина всех слоев ткани, см.

По формуле (2.60), предложенной автором, можно определить толщину воздушной прослойки в зависимости от той или иной прибавки, а также от толщины пакета одежды.

Воздушные прослойки в пакете одежды являются дополнительной теплоизоляцией. Термическое сопротивление воздушной прослойки вычисляется по формуле

$$R_{\text{воз.пр}} = \frac{1}{K_{\text{т}} + K_{\text{к}} + \alpha_{\text{воз.л}}}. \quad (2.61)$$

Величина  $K_{\text{т}} + K_{\text{к}}$  для вертикальных воздушных прослоек в зависимости от их толщины и разности температур между поверхностями определяется по графику рис. 2.12 [19]. В воздушной прослойке толщиной 10 мм и меньше передача теплоты конвекцией отсутствует  $K_{\text{к}}$ . В этом случае передача теплоты в

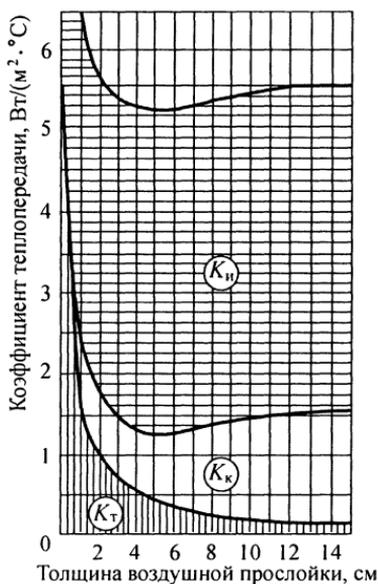


Рис. 2.12. Передача теплопроводностью (по данным Б. Ф. Васильева)

воздушной прослойке будет происходить за счет теплопроводности воздуха  $K_{\tau}$ :

$$K_{\tau} = \frac{\lambda_{\text{воз}}}{\delta_{\text{воз.пр}}} . \quad (2.62)$$

Коэффициент теплообмена излучением для воздушных прослоек рассчитывают по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{воз.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{n1}} + \frac{F_{n1}}{F_{n2}} \left( \frac{1}{C_{n2}} - \frac{1}{C_o} \right)} \Omega . \quad (2.63)$$

В зависимости от значений  $\tau_{n1}$  и  $\tau_{n2}$  значение  $\Omega$  определяем по рис. 1.9. Значение  $\frac{F_{n1}}{F_{n2}}$  характеризует отношение площади одной поверхности воздушной прослойки ( $F_{n1} = L_1 Z_1$ ) к другой ( $F_{n2} = L_2 Z_2$ ), что можно представить согласно выражению (2.53) в следующем виде:

$$\frac{F_{n1}}{F_{n2}} = \frac{L_{n1} Z_{n1}}{L_{n2} Z_{n2}} = \frac{L_{n1} Z_{n1}}{(L_{n1} + 2\pi\delta_{n1}) Z_{n2}} .$$

С учетом сказанного коэффициент излучения в пакете одежды

$$\alpha_{\text{воз.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{n1}} + \frac{L_{n1} Z_{n1}}{(L_{n1} + 2\pi\delta_{n1}) Z_{n2}} \left[ \frac{1}{C_{n2}} - \frac{1}{C_o} \right]} \Omega . \quad (2.64)$$

На основе формул (2.48), (2.62) и (2.64) определим термическое сопротивление воздушных прослоек, которые образуются между поверхностью кожного покрова и бельевой тканью, бельевой тканью и слоями одежды с учетом их кривизны:

$$R_{\text{воз.пр}} = \frac{1}{\frac{\lambda_{\text{воз}}}{\delta_{\text{воз.пр}}} + \frac{1}{\frac{1}{C_{n1}} + \frac{L_{n1} Z_{n1}}{(L_{n1} + 2\pi\delta_{n1}) Z_{n2}} \left[ \frac{1}{C_{n2}} - \frac{1}{C_o} \right]} \Omega} . \quad (2.65)$$

Анализ составляющих уравнений (2.65) показывает, что термические сопротивления воздушных прослоек можно рассчитать,

изменяя соответствующие значения коэффициента излучения материала. В литературе [2, 9] практически отсутствуют характеристики коэффициентов излучения наиболее распространенных текстильных тканей. Это, в свою очередь, потребовало разработки установки для определения коэффициентов излучения текстильных материалов на образцах тканей и проведения исследований на широком ассортименте бельевых, подкладочных и плательных, а также специализированных тканей.

Для определения коэффициента излучения текстильных материалов был создан специальный прибор, позволяющий после установления стационарного режима, найти значение падающего лучистого теплового потока  $Q$ , температуру нагревателя  $\tau_{\text{нагр}}$  и температуру ткани  $\tau_{\text{тк}}$ . Коэффициент излучения исследуемой ткани определяется по соотношению

$$C_{\tau} = \frac{1}{\frac{1}{Q} \left[ \left( \frac{\tau_{\text{нагр}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{т}} + 273}{100} \right)^4 \right]}. \quad (2.66)$$

Для замеров температуры на поверхности исследуемого образца ткани использовался специальный датчик температуры. Для исследования были выбраны образцы различных групп тканей. Экспериментальные значения коэффициентов излучения образцов тканей приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Значения коэффициентов излучения текстильных материалов (по данным П. Н. Умнякова)

| Артикул образца                    | Коэффициент излучения,<br>Вт/(м <sup>2</sup> · К <sup>4</sup> ) |
|------------------------------------|---|
| <i>Ткани подкладочные</i>          |   |
| 32379 шелк                         | 4,1   |
| 32395 шелк                         | 3,6   |
| 32394 шелк                         | 4,2   |
| 32494 шелк                         | 4,0   |
| 42243 саржа                        | 4,4   |
| <i>Прокладочные материалы</i>      |   |
| 105 клеевая, ворсованная х/б ткань | 4,8   |
| 10114 бортовая льняная ткань       | 4,9   |

Окончание табл. 2.3

| Артикул образца  | Коэффициент излучения,<br>Вт/(м <sup>2</sup> · К <sup>4</sup> ) |
|--|---|
| 75 кромочная, клеевая ткань                            | 5,0   |
| 927620 х/прошивной п/шерстяной виток                   | 5,1   |
| 917619 ватин   | 4,9   |
| <i>Бельевые ткани</i>                                  |   |
| 1660 байка   | 3,6   |
| х/б трикотаж   | 3,8   |
| вискоза  | 3,7   |
| <i>Плательные ткани</i>                                |   |
| 29 ситец   | 4,3   |
| Н 1448 ситец   | 3,8   |
| 82158 тафта с лавсаном                                 | 4,1   |
| <i>Специальные ткани</i>                               |   |
| 10209 металлизированная алюминием<br>на льняной основе | 1,5   |
| Металлизированный алюминием на асбесто-<br>вой основе  | 1,9   |

Для сравнения были определены коэффициенты излучения строительных материалов и сравнены с данными других исследователей [13]. Результаты этих экспериментальных исследований совпали с данными, приведенными в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Коэффициенты излучения строительных материалов  
(по данным К. Ф. Фокина)

| Наименование образца     | Коэффициент излучения Вт/(м <sup>2</sup> · К <sup>4</sup> ) |
|--------------------------|---|
| Рубероид, покрытый сажой | 5,7   |
| Фольгоизол               | 0,5   |

На основе выполненных исследований по различным тканям установлено, что коэффициенты излучения подкладочных материалов колеблются от 4,0 до 4,4 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), бельевых материалов — от 3,6 до 3,8 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), плательных тканей от 4,1 до 4,3 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и прокладочных тканей от 4,8 до 5,1 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

Коэффициент излучения металлизированных тканей изменяется от 1,5 до 1,9 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

П. А. Колесников [9] на основе проведенных исследований установил, что удельный вес материалов комплекта одежды, приходящейся на теплоизоляцию туловища человека, достигает 60 %, а остальная доля приходится на воздушные прослойки. На одних участках одежда плотно прилегает к телу и повторяет его форму, на других участках располагается свободно. Воздушные прослойки, образованные между телом человека и одеждой, не одинаковы по всему пододежному слою. Теплозащитные свойства воздушных прослоек в пакете одежды определялись между поверхностью кожного покрова и поверхностью бельевой ткани, т. е. двумя слоями ткани, а также между тканью и внешним слоем ткани. Коэффициенты излучения материала принимались равными по табл. 2.3, а коэффициент излучения поверхности кожи человека принят за 3,49 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>). Значения температур-

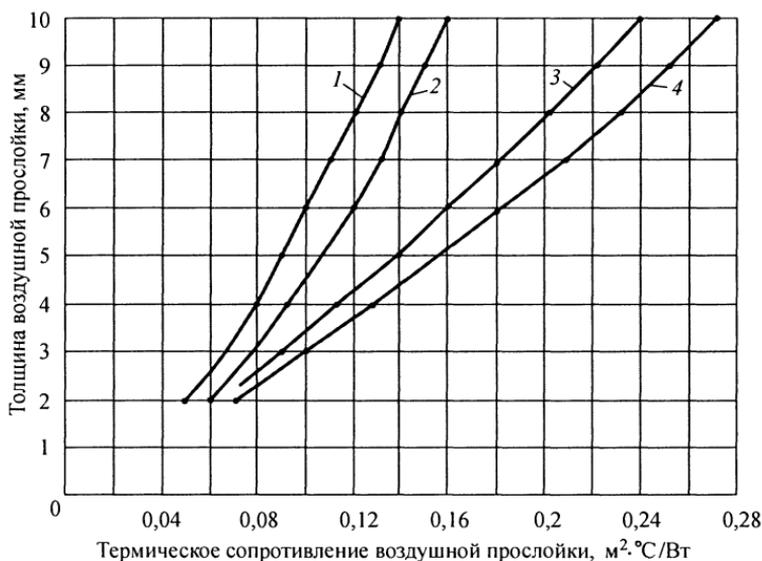


Рис. 2.13. Теплозащитные свойства воздушных прослоек:

1 — две поверхности из ткани с коэффициентом излучения 4,2...3,8 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>); 2 — одна поверхность кожи человека с коэффициентом излучения 3,49 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и другая из ткани с коэффициентом излучения 4,2...3,8 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>); 3 — одна поверхность из ткани с коэффициентом излучения 4,2...4,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и другая поверхность из металлизированной пленки с коэффициентом излучения 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>); 4 — две поверхности из металлизированной пленки с коэффициентом излучения 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>)

ного коэффициента соответственно принимались Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) 1,14; 1,12 и 1,1 при коэффициенте теплопроводности воздуха 0,027 Вт/(м · °С). Результаты исследования, приведенные в табл. 2.5 и на рис. 2.13, показывают, что при одинаковой толщине воздушной прослойки в зависимости от коэффициента излучения ткани ее термические свойства могут резко меняться.

**Таблица 2.5. Теплозащитные свойства воздушных прослоек в пакете одежды с поверхностями, имеющими различные коэффициенты излучения (по данным П. Н. Умнякова)**

| Толщина воздушной прослойки, мм | Термическое сопротивление воздушных прослоек, м <sup>2</sup> · °С/Вт  |  |  |  |
|---------------------------------|---|--|--|--|
|                                 | с поверхностью кожи человека<br>$C = 3,49 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$<br>и поверхностью белой ткани<br>$C = 3,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ | с поверхностью белой ткани<br>$C = 3,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$<br>и поверхностью белой ткани<br>$C = 4,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ | с поверхностью ткани<br>$C = 4,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$<br>и поверхностью металлизированной ткани<br>$C = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ | с поверхностью металлизированной ткани<br>$C = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$<br>и поверхностью металлизированной ткани<br>$C = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ |
| 2                               | 0,055   | 0,05   | 0,06   | 0,07   |
| 3                               | 0,08  | 0,07   | 0,09   | 0,1  |
| 4                               | 0,09  | 0,08   | 0,12   | 0,13   |
| 5                               | 0,11  | 0,09   | 0,14   | 0,15   |
| 6                               | 0,12  | 0,10   | 0,16   | 0,18   |
| 7                               | 0,13  | 0,11   | 0,18   | 0,21   |
| 8                               | 0,14  | 0,12   | 0,20   | 0,23   |
| 9                               | 0,15  | 0,125  | 0,22   | 0,25   |
| 10                              | 0,155   | 0,13   | 0,23   | 0,27   |
| 15                              | 0,165   | 0,14   | 0,25   | 0,3  |

Воздушные прослойки в пакете одежды толщиной 15 мм и менее являются эффективной теплоизоляцией. Если сравнить их теплозащиту со слоем ватина толщиной 5 мм, имеющего термическое сопротивление  $R = 0,075 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ , то равноценными в теплотехническом отношении оказываются воздушные прослойки толщиной 2...3 мм.

Термические свойства воздушных прослоек в пакете одежды, соприкасающихся с поверхностью кожи человека, выше по срав-

нению с воздушными прослойками, расположенными между традиционными слоями тканями. Это достигается за счет уменьшения доли передачи тепла излучением. Коэффициент излучения поверхности кожи человека  $C = 3,49 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  меньше коэффициента излучения поверхности ткани  $C = 3,8...4,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Металлизированные ткани по сравнению с обычными тканями имеют коэффициент излучения  $C = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , что значительно снижает передачу теплоты излучения и увеличивает термическое сопротивление воздушных прослоек почти в 2 раза.

## 2.6. Метод расчета средней температуры внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела

Предлагаемый метод расчета за основу берет принятый ранее в качестве расчетной модели кожный покров (эпидермис) в виде цилиндрической стенки с внутренним источником тепла (рис. 2.14), вокруг которого в виде круглого кольца располагается пакет одежды. Распределение температуры при теплопередаче через пакет одежды можно описать следующим уравнением:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dt} = 0. \quad (2.67)$$

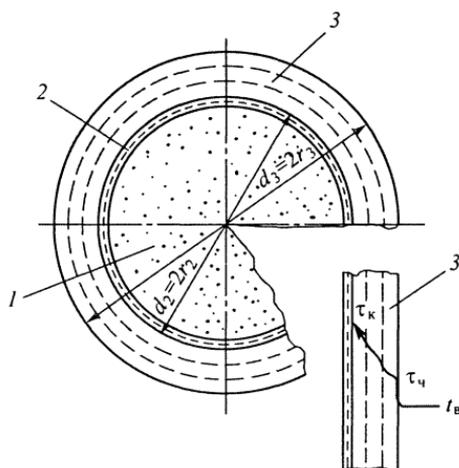


Рис. 2.14. Распределение температуры в пакете одежды:  
1 — тело; 2 — эпидермис; 3 — пакет одежды

Введем новую переменную

$$u = \frac{dt}{dr} \quad (2.68)$$

или

$$\frac{d^2 t}{dr^2} = \frac{du}{dr}; \quad \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = \frac{u}{r}. \quad (2.69)$$

Подставив значения (2.68) и (2.69) в уравнение (2.67), найдем

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r} u = 0. \quad (2.70)$$

Проинтегрировав уравнения (2.70) и (2.68), получим

$$t = c_1 \ln r + c_2. \quad (2.71)$$

Постоянные  $c_1$  и  $c_2$  в уравнении (2.71) определим при следующих граничных условиях:

при  $r = r_2$ ,  $t = \tau_k$  уравнение (2.71) примет вид

$$\tau_k = c_1 \ln r_2 + c_2; \quad (2.72)$$

при  $r = r_3$ ,  $\lambda_{\text{п.эк}} \left( \frac{dt}{dr} \right)_{r=r_3} = -\alpha_{\text{ч}} (\tau_r - \tau_{\text{в}})$ ,

где  $\alpha_{\text{ч}}$  — коэффициент теплообмена на внешней поверхности одежды, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

После дифференцирования уравнения (2.72) получим

$$\left( \frac{dt}{dr} \right)_{r=r_3} = \frac{c_1}{r_3} = -\frac{\alpha_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{п.эк}}} (\tau_r - \tau_{\text{в}}). \quad (2.73)$$

Отсюда определим постоянные интегрирования:

$$c_1 = -\frac{\alpha_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{п.эк}}} r_3 (\tau_r - \tau_{\text{в}}) \quad (2.74)$$

и

$$c_2 = \tau_r + \frac{\alpha_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{п.эк}}} r_3 (\tau_r - \tau_{\text{в}}) \ln r_2. \quad (2.75)$$

Подставляя найденные значения  $c_1$  и  $c_2$  в уравнение (2.71), получим выражение, описывающее распределение температуры в пакете одежды:

$$t = \tau_2 - \frac{\alpha_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{п.эк}}} r_3 (\tau_r - \tau_{\text{в}}) \ln r_2 - \frac{\alpha_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{п.эк}}} r_3 (\tau_r - \tau_{\text{в}}) \ln r. \quad (2.76)$$

Для определения температуры на внешней поверхности пакета одежды уравнение (2.1) решим при других условиях: постоянную  $c_1$  получим из уравнения (2.7), а постоянную  $c_2$  — из условий, что температуры на поверхности контакта кожи и пакета одежды равны при  $r = r_2$  и  $t = \tau_k$ .

Из выражения (2.6) с учетом постоянной интегрирования  $c_2$  имеем

$$\tau_k = -\frac{q_v r_2^2}{4\lambda_k} + \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r_2 + c_2,$$

откуда

$$c_2 = \tau_k + \frac{q_v r_2^2}{4\lambda_k} - \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r_2. \quad (2.77)$$

Подставляя найденные значения  $c_1$  и  $c_2$  в выражение (2.6), получим выражение температуры поля в слое кожного покрова:

$$t = -\frac{q_v r_2}{4\lambda_k} + \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r + \tau_k + \frac{q_v r_2^2}{4\lambda_k} - \frac{q_v r_1^2}{2\lambda_k} \ln r_2. \quad (2.78)$$

Примем, что в месте контакта кожного покрова и пакета одежды температура будет одинаковой, тогда уравнения теплового баланса на границе можно записать в следующем виде:

$$\lambda_k \left( \frac{dt}{dr} \right)_{r=r_2} = \lambda_{п.эк} \left( \frac{dt}{dr} \right)_{r=r_2}. \quad (2.79)$$

Подставим в выражение (2.79) значение распределения температуры в пакете одежды, полученное из уравнений (2.76) и (2.78). После дифференцирования и соответствующих преобразований получим

$$\frac{q_v \delta_k^2}{2} = \alpha_q r_3 (\tau_u - t_b). \quad (2.80)$$

Отсюда определим интенсивность объемного тепловыделения

$$q_v = 2\alpha_q r_3 (\tau_u - t_b) \frac{1}{\delta_k^2}. \quad (2.81)$$

Эту же величину  $q_v$  найдем из уравнения (2.15):

$$q_v = \frac{2r_2 (\tau_k - t_b)}{\delta_k^2 (R_n + R_q)}. \quad (2.82)$$

Приравняем уравнения (2.81) и (2.82)

$$\frac{2r_2(\tau_k - t_b)}{\delta_k^2(R_n + R_q)} = 2\alpha_q r_3(\tau_q - t_b) \frac{1}{\delta_k^2}. \quad (2.83)$$

После преобразований из уравнения (2.83) определим температуру на внешней поверхности пакета одежды:

$$\tau_q = t_b + \frac{(\tau_k - t_b)}{\alpha_q(R_n + R_q)} \cdot \frac{r_2}{r_3}. \quad (2.84)$$

Радиус  $r_2$  характеризует расстояние от центра цилиндра до внешней поверхности кожного покрова, а радиус  $r_3$  — расстояние от центра цилиндра до внешней поверхности пакета. Обозначим радиус через периметр окружности  $r_2 = \frac{L_{\text{внут}}}{2\pi}$  и  $r_3 = \frac{L_{\text{внеш}}}{2\pi}$ .

Если разделим  $r_2$  на  $r_3$ , то получим

$$\frac{r_2}{r_3} = \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внеш}}}. \quad (2.85)$$

Согласно выражению (2.53) получим

$$\frac{r_2}{r_3} = \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_n}. \quad (2.86)$$

После подстановки соотношения (2.86) в уравнение (2.84) автором получена формула определения температуры на внешней поверхности пакета одежды с учетом его кривизны для различных участков тела человека:

$$\tau_q = t_b + \frac{\tau_k - t_b}{(R_n\alpha_q + 1)} \cdot \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_n}, \quad (2.87)$$

где  $t_b$  — температура воздушной среды, °С;  $\tau_k$  — температура поверхности тела человека, °С (гигиенистами в расчетах принимается равной 33 °С);  $R_n$  — термическое сопротивление пакета одежды с учетом воздушной прослойки,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;  $\alpha_q$  — коэффициент теплообмена у внешней поверхности одежды,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ;  $L_{\text{внут}}$  — периметр рассматриваемой части тела соответственно по поверхности тела человека, м;  $\delta_n$  — толщина пакета одежды с учетом воздушной прослойки, м.

По формуле (2.87) расчетным путем можно определить температуру на внешней поверхности одежды человека. Это позво-

ляет при теплообмене человека с ограждающими конструкциями учитывать термические свойства одежды.

Однако гигиенисты при расчете теплообмена человека с наружными ограждающими конструкциями пользуются средне-взвешенной температурой на поверхности кожи и оценивают тепловое состояние человека по различным участкам тела. Для получения достоверного значения средневзвешенной температуры необходимо установить оптимальное количество точек на теле человека. Проведенный Р. Ф. Афанасьевой\* анализ показал, что оптимальное число точек для определения средневзвешенной температуры кожи человека должно быть не менее семи. Р. Ф. Афанасьева рекомендует средневзвешенную температуру кожи рассчитывать по семи характерным точкам тела, из которых пять точек на туловище, плече, бедре, голени и стопе находятся под одеждой и две точки на открытых участках кожи — на лбе и кисти руки.

Однако М. С. Горомосов\*\* считает, что средневзвешенная температура кожи не всегда является достаточно точным показателем теплового состояния человека, поскольку она не учитывает утепленность человека одеждой.

Поэтому он предлагает среднюю температуру человека оценивать по семи характерным точкам: пять характерных точек будут находиться не под одеждой, а на внешней поверхности туловища, плеча, бедра, голени, стопы\*\*\* и две характерные точки на поверхности кожи лба и кисти руки и определять ее по формуле

$$\bar{t}_c = \frac{\tau_{ч.тул} F_{тул} + \tau_{ч.плеч} F_{плеч} + \tau_{ч.бедр} F_{бедр} + \tau_{ч.гол} F_{гол} + \tau_{ч.стоп} F_{стоп} + \tau_{ч.лба} F_{лба} + \tau_{ч.кист} F_{кист}}{F_{тул} + F_{плеч} + F_{бедр} + F_{гол} + F_{стоп} + F_{лба} + F_{кист}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ \tau_{ч.стоп} F_{стоп} + \tau_{ч.лба} F_{лба} + \tau_{ч.кист} F_{кист}}{,} \quad (2.88)$$

где  $\tau_{ч.тул}$ ,  $\tau_{ч.плеч}$ ,  $\tau_{ч.бедр}$ ,  $\tau_{ч.гол}$ ,  $\tau_{ч.стоп}$  — характерные температуры на внешней поверхности пакета одежды туловища, плеча, бедра,

\* Афанасьева Р. Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. М.: Легкая индустрия, 1962. С. 175.

\*\* Горомосов М. С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование. М.: Медгиз, 1963. С. 54.

\*\*\* Температуры определяются экспериментально для каждой модели одежды.

голени и стопы, полученные экспериментальным путем, °С;  $\tau_{\text{ч.лба}}$ ,  $\tau_{\text{ч.кист}}$  — характерные температуры на поверхности кожи лба и кисти руки, °С;  $F_{\text{тул}}$ ,  $F_{\text{плеч}}$ ,  $F_{\text{бедр}}$ ,  $F_{\text{гол}}$ ,  $F_{\text{стоп}}$ ,  $F_{\text{лба}}$  и  $F_{\text{кист}}$  — поверхности туловища, плеча, бедра, голени, стопы, лба и кисти руки, м<sup>2</sup>;

Полученная автором формула (2.87) позволяет расчетным путем определить температуру на внешней поверхности одежды туловища, плеча, бедра, голени и стопы.

Таким образом, предлагаемый метод определения средней температуры внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи дает возможность учитывать термические свойства пакета одежды при теплообмене человека с наружными ограждениями.

## 2.7. Сопоставление результатов теплотехнического расчета пакетов одежды с экспериментальными исследованиями

Проведем сопоставление результатов расчета по формулам определения теплозащитных свойств пакетов одежды с экспериментальными данными. Для этого воспользуемся результатами исследования теплозащитных свойств мужского комплекта комнатной одежды, выполненного П. А. Колесниковым\*. Испытания проводились при температуре воздуха  $t_{\text{в}} = 23$  °С и средней температуре помещения  $t_{\text{Р}} = 22,6$  °С.

Подвижность воздуха в помещении составляла 0,1 м/с. Площадь поверхности кожи человека 1,7 м<sup>2</sup>. Уровень энергозатрат человека составлял 121,4 Вт.

В испытуемый мужской комплект одежды входили: майка хлопчатобумажная без рукавов, трикотажная из материала толщиной 0,86 мм; трусы хлопчатобумажные 0,42 мм; сорочка хлопчатобумажная 0,55 мм; полушерстяные пиджак и брюки 1 мм; подкладка вискозная — саржа 0,28 мм; хлопчатобумажные трикотажные носки 0,86 мм; полуботинки — кожа, подошва — микропористая.

\* Колесников П. А. Теплозащитные свойства одежды. М.: Легкая индустрия, 1965. С. 344.

Результаты расчета термического сопротивления теплопередаче приводятся в прил. П13.

Из анализа результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований, приведенных в табл. 2.6, следует, что термические сопротивления и сопротивления теплопередаче пакета одежды по отдельным участкам тела человека (туловище, плечо и предплечье, бедро) в основном совпадают. Значения средневзвешенных сопротивлений теплопередаче пакета одежды, полученные теоретическим путем, практически совпали с результатами эксперимента.

**Таблица 2.6. Сопоставление теплозащитных характеристик пакетов одежды, полученных экспериментальным путем**

| Участок поверхности тела человека                            | Сопротивление теплопередаче пакета одежды, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определенное по формуле (2.57) | Сопротивление теплообмена у внешней поверхности одежды $R_{\text{п}}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | Общее сопротивление теплопередаче пакета одежды $R_{\text{п.од}}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , по данным П. Н. Умнякова | Экспериментальное общее сопротивление теплопередаче пакета одежды $R_{\text{п.од}}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , по данным П. А. Колесникова |
|--|--|--|---|--|
| Туловище   | 0,128  | 0,113  | 0,24  | 0,230  |
| Плечо и предплечье   | 0,067  | 0,113  | 0,179   | 0,178  |
| Бедро  | 0,082  | 0,113  | 0,195   | 0,169  |
| Голень   | 0,089  | 0,113  | 0,201   | 0,168  |
| Стопа  | 0,089  | 0,113  | 0,201   | 0,168  |
| Среднее взвешенное значение без учета открытых участков кожи | 0,097  | 0,113  | 0,212   | 0,193  |

Для сопоставления расчета температуры на внешней поверхности одежды человека по формуле (2.87) с данными эксперимента были проведены теплофизические исследования в цехах Егорьевского хлопчатобумажного комбината. При этом были исследованы теплофизические характеристики пакетов одежды для каждой работницы.

Оценка гигиенических свойств одежды основывалась на изучении терморегуляторных и теплообменных реакций организма

работниц в изучаемых вариантах одежды и обуви. В качестве показателей гигиенической оценки использовались: температура кожи на различных участках тела (семь характерных точек — лоб, плечо, кисть, грудь, бедро, голень, стопа) и температура внешней поверхности одежды, которые определялись с помощью комбинированного аппарата системы Н. И. Мишука. Были подобраны две группы работающих лиц (по семь человек из первой и второй смен). Всего проведено около 3000 замеров.

Замеры производились в следующем порядке: первый — в начале рабочей смены; второй — через 2 ч после начала рабочей смены; третий — через 1 ч после обеденного перерыва; четвертый — через 3 ч после обеденного перерыва.

Для установления надежности метода определения температуры внешней поверхности одежды была проведена вероятная оценка получения результатов.

Среднее значение температуры, полученное расчетным путем, составило  $\bar{\tau}_{\text{ч.расч}} = 32,9$  °С и по экспериментальным данным —  $\bar{\tau}_{\text{ч.эксп}} = 32,2$  °С.

Дисперсия ошибок, вычисляемая по зависимости для серии расчетных значений температур, составила 1,42, а экспериментальных значений — 1,66.

Коэффициент Стьюдента (Ст) для серий расчетных и экспериментальных значений температур составил 4,05. При числе степени свободы  $K = n_1 + n_2 - 2 = 204$  разработанная методика расчета температуры внешней поверхности пакета одежды позволяет получить расчетные значения температуры на уровне груди с вероятностью  $P = 0,99$ .

Вероятностная оценка результатов расчета температуры на внешней поверхности одежды на уровне бедра была проведена для 96 пакетов одежды, состоящих из:

- хлопчатобумажного платья ( $\lambda = 0,046$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00036$  м) и фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00046$  м);
- шелкового платья ( $\lambda = 0,042$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00073$  м) и сатинового хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,05$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00042$  м);
- хлопчатобумажного платья ( $\lambda = 0,046$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00035$  м) и шерстяного фартука ( $\lambda = 0,044$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00097$  м);

- нейлонового платья ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00065$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00047$  м);
- сатинового халата ( $\lambda = 0,05$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00037$  м) и фартука из джинсовой хлопчатобумажной ткани ( $\lambda = 0,044$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00052$  м);
- сатинового хлопчатобумажного платья ( $\lambda = 0,05$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00037$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00052$  м);
- хлопчатобумажных платьев ( $\lambda = 0,05$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00042$  м) и фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00027$  м);
- трикотиновой юбки ( $\lambda = 0,051$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00082$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00042$  м);
- штапельного платья ( $\lambda = 0,048$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00058$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00052$  м);
- трикотинowego платья ( $\lambda = 0,051$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00082$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00052$  м);
- шерстяной юбки ( $\lambda = 0,044$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,001$  м) и хлопчатобумажного фартука ( $\lambda = 0,049$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00046$  м);
- хлопчатобумажного платья ( $\lambda = 0,046$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00035$  м), хлопчатобумажного халата ( $\lambda = 0,052$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00035$  м) и вискозной комбинации ( $\lambda = 0,045$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00052$  м) с хлопчатобумажным фартуком ( $\lambda = 0,04$  Вт/(м · °С),  $\delta = 0,00046$  м).

Средняя температура внешней поверхности пакета одежды на уровне бедра по результатам расчета составила  $\bar{\tau}_{ч,расч} = 31,9$  °С и по экспериментальным данным  $\bar{\tau}_{ч,эксп} = 32,2$  °С: дисперсия ошибок для расчетных значений — 0,745, для экспериментальных значений 0,799; коэффициент Стьюдента  $St = 1,98$ .

Проведенные вычисления позволили установить, что по разработанной методике расчета температуры на внешней поверхности пакета одежды могут быть получены результаты, вероятность которых составляет  $P = 0,95$ .

## **2.8. Метод расчета тепловлажностных процессов в пакете одежды с созданием экологически влажностного комфорта в воздушной пододежной прослойке при различном уровне энергозатрат человека**

В процессе деятельности энергозатраты человека повышаются или понижаются. Повышение энергозатрат и стрессовое состояние человека сопровождаются интенсивным выделением влаги с поверхности кожи в пододежную воздушную прослойку между поверхностью кожи и бельем человека.

Бельевые ткани должны быть влагоемкими и гигроскопичными. Сорбируя водяные пары и капельно-жидкую влагу, они при испарении должны передавать ее другим слоям пакета одежды и затем отдавать во внешнюю воздушную среду. При физической нагрузке бельевые ткани не должны прилипать к влажной коже человека и затруднять выделение пота и испарение влаги с поверхности кожного покрова человека.

Для расчета термовлажных процессов, происходящих в пакете одежды, удобно пользоваться величинами парциального давления водяного пара или, как обычно называют, упругостью водяного пара  $e$  (Па). Эта величина не может увеличиваться бесконечно при данной температуре и барометрическом давлении. Она имеет определенное значение, которое называется максимальной упругостью водяного пара  $E$  (Па), что соответствует максимальному насыщению воздуха водяными парами. С повышением температуры значение максимальной упругости водяного пара увеличивается, а с понижением температуры — уменьшается (прил. П14).

### **2.8.1. Диффузионные процессы в пакете одежды при различном уровне энергозатрат человека**

Рассмотрим пакет одежды, состоящий из следующих слоев: между телом человека и бельевой тканью расположена воздушная прослойка, затем следует несколько слоев тканей в пакете одежды. После соответствующих преобразований с учетом количества испаряющейся влаги с поверхности кожи человека в зависимости от уровня его энергозатрат, сопротивления паропроницаемости слоев пакета одежды, упругости водяного пара в

слоях пакета одежды и в окружающей воздушной среде для определения относительной влажности в воздушной пододежной прослойке получено следующее уравнение:

$$\varphi_{\text{воз.пр}} = \frac{1}{E_{\text{воз.пр}}} \left( \frac{\varphi_{\text{в}} E_{\text{в}}}{100 \%} + q_{\text{ч}} R_{\text{пар}} \right) \cdot 100 \%, \quad (2.89)$$

где  $E_{\text{воз.пр}}$  — максимальная упругость водяного пара в пододежной воздушной прослойке, Па;  $\varphi_{\text{в}}$  — относительная влажность воздуха в воздушной пододежной прослойке, %;  $E_{\text{в}}$  — максимальная упругость водяного пара в окружающей воздушной среде, Па;  $q_{\text{ч}}$  — количество влаги, выделяемое человеком, г/м<sup>2</sup>ч;  $R_{\text{пар}}$  — сопротивление паропроницаемости слоев пакета одежды, (м<sup>2</sup> · ч · Па)/г.

При физической деятельности человека происходит испарение влаги с поверхности кожи. При увеличении физических нагрузок повышается температура тела, что приводит к увеличению теплопотерь испарением. Исследования по этим вопросам проводились гигиенистами. Используя результаты Р. Ф. Афанасьевой и Г. Х. Шахбазяна, в логарифмических координатах отложено количество испарившейся влаги с поверхности тела человека в зависимости от энергозатрат (рис. 2.15).

Как видно на рисунке, рассматриваемая зависимость описывается прямой линией. После проведения соответствующих расчетов получено эмпирическое уравнение, позволяющее определить количество влаги испаряющейся с поверхности тела человека, г/(м<sup>2</sup> · ч), в зависимости от уровня его энергозатрат:

$$q_{\text{ч}} = 1,82Q_{\text{ч}}^{0,78} F_{\text{ч.п}} \theta, \quad (2.90)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  — уровень энергозатрат человека при выполнении физической нагрузки, Вт;  $\theta$  — время продолжительности физической нагрузки человека, ч;  $F_{\text{ч.п}}$  — рассматриваемая поверхность тела, покрытая одеждой, м<sup>2</sup>.

Подставим выражение (2.90) в уравнение (2.89):

$$\varphi_{\text{воз.пр}} = \frac{1}{E_{\text{воз.пр}}} \left( \frac{\varphi_{\text{в}} E_{\text{в}}}{100 \%} + 1,82Q_{\text{ч}}^{0,78} \theta R_{\text{пар}} F_{\text{ч.п}} \right) \cdot 100 \%. \quad (2.91)$$

Полученное автором уравнение (2.91) позволяет определить относительную влажность воздуха в воздушной пододежной про-

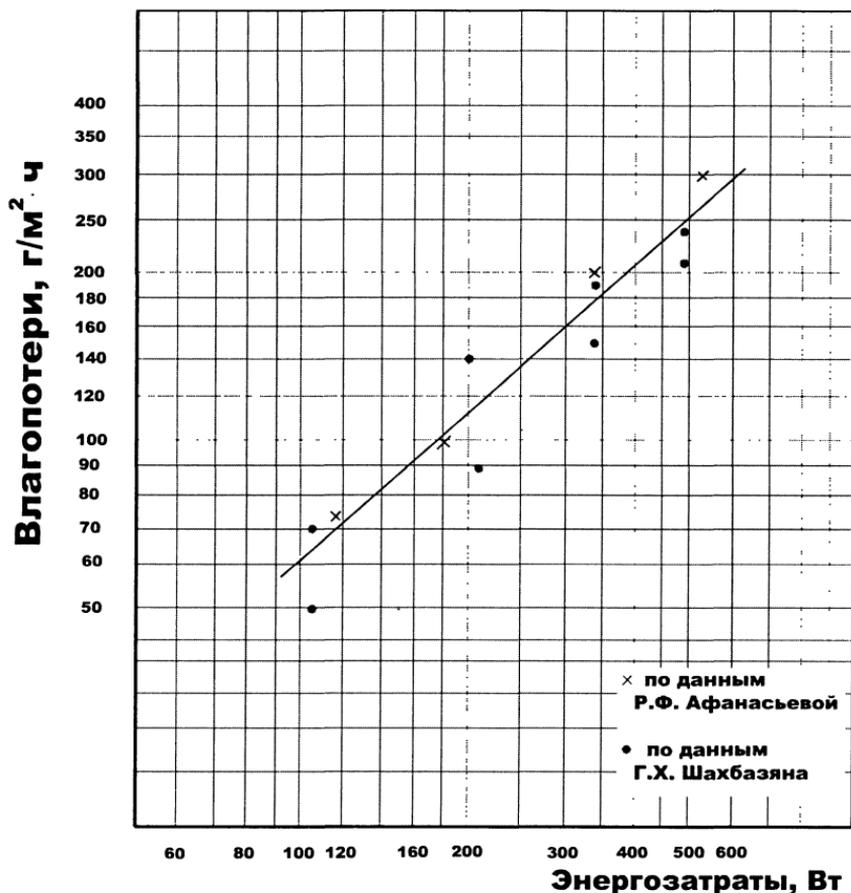


Рис. 2.15. Влагопотери человека в условиях теплового комфорта в зависимости от энергозатрат

слойке в зависимости от уровня энергозатрат человека  $Q_ч$ , максимальной упругости водяного пара в окружающей воздушной среде помещения  $E_в$ , относительной влажности воздуха в окружающей воздушной среде  $\phi_в$ , сопротивления паропроницаемости пакета одежды  $R_п$  и рассматриваемой поверхности тела человека  $F_{ч,п}$ .

При диффузии водяного пара через слой ткани она оказывает ему сопротивление. Аналогичный процесс происходит при прохождении теплового потока через слой ткани и он называется *термическим сопротивлением*  $R_{п,тк}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ . В отличие от него сопротивление перемещению парообразной влаги в слое ткани

называется *сопротивлением паропроницаемости*  $R_{\text{тк}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г}$ , и определяется по формуле

$$R_{\text{тк}} = \frac{\delta_{\text{тк}}}{\mu_{\text{тк}}}, \quad (2.92)$$

где  $\delta_{\text{тк}}$  — толщина слоя ткани, м;  $\mu_{\text{тк}}$  — коэффициент паропроницаемости слоя ткани,  $\text{г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ .

Для нескольких слоев ткани в пакете одежды их сопротивление паропроницаемости составляет

$$R_{\text{пар}} = R_{\text{тк1}} + R_{\text{тк2}} + \dots + R_{\text{тк}n} = \frac{\delta_{\text{тк1}}}{\mu_{\text{тк1}}} + \frac{\delta_{\text{тк2}}}{\mu_{\text{тк2}}} + \dots + \frac{\delta_{\text{тк}n}}{\mu_{\text{тк}n}}. \quad (2.93)$$

Общее сопротивление паропроницаемости пакета одежды с учетом сопротивлений влагообмена у поверхностей определяются по следующей формуле:

$$\begin{aligned} R_{\text{о.пар}} &= R_{\text{п.сопр.вл}} + R_{\text{тк1}} + R_{\text{тк2}} + \dots + R_{\text{тк}n} + R_{\text{в.сопр.вл}} = \\ &= R_{\text{п.сопр.вл}} + \frac{\delta_{\text{тк1}}}{\mu_{\text{тк1}}} + \frac{\delta_{\text{тк2}}}{\mu_{\text{тк2}}} + \dots + \frac{\delta_{\text{тк}n}}{\mu_{\text{тк}n}} + R_{\text{в.сопр.вл}}. \end{aligned} \quad (2.94)$$

Здесь  $R_{\text{п.сопр.вл}}$  — сопротивление влагообмена у поверхности ткани, обращенной в воздушную прослойку,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г}$ ;  $R_{\text{тк1}}$ ,  $R_{\text{тк2}}$ ,  $R_{\text{тк}n}$  — сопротивление паропроницаемости слоев ткани в пакете одежды,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г}$ ;  $\mu_{\text{тк1}}$ ,  $\mu_{\text{тк2}}$ ,  $\mu_{\text{тк}n}$  — коэффициент паропроницаемости слоев ткани пакете одежды,  $\text{г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ ;  $R_{\text{в.сопр.вл}}$  — сопротивление влагообмена у внешней поверхности пакета одежды,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г}$ .

Диффундирующий поток водяного пара  $P_1$  от поверхности тела (кожи человека) проходит через воздушную пододежную прослойку и поверхность слоя материала, обращенного в нее, и затем поступает внутрь слоев пакета одежды. Этот процесс описывает следующее уравнение:

$$P_1 = \beta_{\text{п.вл}}(e_{\text{к}} - e_{\text{п. в. пр}}), \quad (2.95)$$

где  $\beta_{\text{п.вл}}$  — коэффициент влагообмена у поверхности слоя пакета одежды в воздушной прослойке,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ . Он равен обратной величине сопротивлению влагообмена у ее поверхности:

$$R_{\text{п.сопр.вл}} = \frac{1}{\beta_{\text{п.вл}}}, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г};$$

$e_k$  — упругость водяного пара на поверхности тела (кожи) человека, Па. Для ее определения нет достаточно надежного метода. Приближенно эту величину можно найти так:

$$e_k = \varphi_{\text{воз.пр}} E_k \frac{1}{100\%},$$

где  $E_k$  — максимальная упругость водяного пара на поверхности тела (кожи) человека, Па;  $e_{\text{п.в.пр}}$  — упругость водяного пара у поверхности пакета одежды, обращенного в воздушную прослойку, Па.

С внешней поверхности пакета одежды диффундирующий водяной пар  $P_2$  выходит в воздушную среду. Этот процесс можно описать следующим уравнением:

$$P_2 = \beta_{\text{в.вл}}(e_{\text{в.п}} - e_{\text{в}}), \quad (2.96);$$

где  $\beta_{\text{в.вл}}$  — коэффициент влагообмена у внешней поверхности пакета одежды,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ . Он представляет собой обратную величину сопротивлению влагообмена у внешней поверхности

$$R_{\text{п.сопр.вл}} = \frac{1}{\beta_{\text{п.вл}}}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{г};$$

$e_{\text{в.п}}$  и  $e_{\text{в}}$  — соответственно упругость водяного пара на внешней поверхности пакета одежды и окружающей воздушной среды, Па.

Из уравнений (2.95) и (2.96) следует, что величина сопротивления влагообмена у поверхности слоя материала в воздушной прослойке и внешней поверхности пакета одежды зависит не только от температуры и скорости движения воздуха, но определяющим фактором является относительная влажность воздуха. В табл. 2.7 представлены изменения относительной влажности воздуха в зависимости от сопротивления влагообмена.

Из данных табл. 2.7 следует, что с повышением значения относительной влажности воздуха значение сопротивления влагообмену понижается, что соответствует термодинамическим процессам, происходящим у поверхностей пакета одежды.

По формуле (2.87) определим распределение температуры по слоям пакета одежды и на его поверхности:

$$\tau_n = t_{\text{в}} + \frac{\tau_k - t_{\text{в}}}{R_n \alpha_{\text{ч}} + 1} \cdot \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_n}, \quad (2.97)$$

где  $\tau_n$  — температура на поверхности  $n$ -го слоя пакета одежды, считая нумерацию от поверхности этого слоя воздушной подо-

Таблица 2.7. Сопротивление влагообмену у поверхностей при различной относительной влажности воздуха

| Относительная влажность воздуха, % | Сопротивление влагообмену, м <sup>2</sup> · ч · Па/г |
|------------------------------------|--|
| 20                                 | 2,2  |
| 30                                 | 1,9  |
| 40                                 | 1,75   |
| 50                                 | 1,3  |
| 60                                 | 0,84   |
| 70                                 | 0,48   |
| 80                                 | 0,17   |
| 85—90                              | 0,05   |

дежной прослойки, °С;  $\tau_k$  — температура на поверхности тела (кожи) человека, °С;  $R_n$  — термическое сопротивление пакета одежды с учетом воздушной прослойки, м<sup>2</sup> · °С/Вт;

$$R_n = R_{\text{воз.пр}} + \frac{\delta_{\text{тк1}}}{\lambda_{\text{тк1}}} + \frac{\delta_{\text{тк2}}}{\lambda_{\text{тк2}}} + \dots + \frac{\delta_{\text{тк}i}}{\lambda_{\text{тк}i}}. \text{ Здесь } \lambda_{\text{тк1}}, \lambda_{\text{тк2}}, \lambda_{\text{тк}i} \text{ — ко-}$$

эффициент теплопроводности слоев ткани в пакете одежды, Вт/(м · °С);  $\delta_n$  — толщина пакета одежды с воздушной прослойкой и слоев ткани, м:

$$\delta_n = \delta_{\text{воз.пр}} + \delta_{\text{тк1}} + \delta_{\text{тк2}} + \dots + \delta_{\text{тк}i}.$$

Уравнение (2.97) позволяет вычислить температуру на границе всех слоев пакета одежды; изменение температур по слоям пакета одежды будет описываться ломаной линией. При этом в слоях ткани с малым коэффициентом теплопроводности падение температуры будет происходить достаточно резко, а в слоях ткани с высоким коэффициентом теплопроводности — менее заметно.

При минусовых температурах наружного воздуха распределение температуры в одежде с учетом ее кривизны можно вычислить по следующей формуле:

$$\tau_n = t_n + \frac{\tau_k - t_n}{R_n \alpha_{\text{ч}} + 1} \cdot \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_n}. \quad (2.98)$$

Здесь  $t_n$  — температура наружного воздуха, °С (см. табл. 5.4).

Как известно, между процессами теплопроводности и процессами диффузии водяного пара существует полная аналогия. Поэтому все законы теплопроводности применимы к диффузии водяного пара, происходящей в пакете одежды. Следовательно, для определения значения упругости водяного пара в слоях пакета одежды по аналогии с уравнением (2.97)\* можно записать

$$e_n = e_b + \frac{e_k - e_b}{R_{\text{о.пар}}/R_{\text{в.сопр.вл}} + 1} \cdot \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_n}, \quad (2.99)$$

где  $e_n$  — упругость водяного пара на поверхности  $n$ -го слоя пакета одежды, считая нумерацию от поверхности этого слоя в воздушной пододежной прослойке, Па;  $e_k$  — упругость водяного пара на поверхности тела (кожи) человека, Па.

Согласно уравнению (2.99) диффузия водяного пара через пакет одежды снижается от  $e_k$  до  $e_b$  за счет сопротивления слоев ткани. В зависимости от значения коэффициента паропроницаемости слоев ткани в пакете одежды линия падения упругости водяного пара имеет вид ломаной кривой.

При минусовой температуре окружающей среды распределение упругости водяного пара в пакете одежды можно определить также по уравнению (2.99), только вместо  $e_b$  надо взять упругость водяного пара окружающей воздушной среды  $e_n$ .

Формулы (2.92), (2.93) и (2.99) можно использовать при отсутствии конденсата в слоях пакета одежды. При возникновении конденсата они справедливы только для тех слоев, в которых нет конденсации водяного пара.

### **2.8.2. Расчет влажностного режима в пакете одежды при стационарных условиях диффузии водяного пара**

В одежде между поверхностью тела человека и пакетом одежды образуется воздушная пододежная прослойка. Поэтому перед началом расчета влажностного режима необходимо

\* При влажностном процессе у внешней поверхности пакета одежды вместо коэффициента влагообмена  $\beta_{\text{в.вл}}$  записывают сопротивление влагообмена  $1/R_{\text{в.сопр.вл}}$ .

по формуле (2.91) определить относительную влажность пододежной прослойки. Затем по формуле (2.97) рассчитать температуру на поверхности слоев пакета одежды. Температура воздуха в воздушной пододежной прослойке определяется по формуле

$$t_{\text{воз.пр}} = (\tau_{\text{к}} + \tau_{\text{п.в.пр}})/2,$$

где  $\tau_{\text{п.в.пр}}$  — температура поверхности ткани, обращенной в воздушную пододежную прослойку, °С.

Температуру и относительную влажность воздуха в производственных помещениях в зависимости от вида выполняемых работ выбирают по таблицам 1.9, 1.10, 1.13 и 1.14.

Диффундирующий водяной пар от поверхности тела человека, проходя через слои пакета одежды, снижает свою упругость. Если при этом падение упругости водяного пара и температуры происходит последовательно, то условия для образования конденсата в слоях пакета одежды не создаются. При резком падении значения температуры упругости водяного пара в слоях пакета одежды могут создаться условия для образования конденсата.

Конденсацию влаги в слоях пакета одежды определяют графическим методом, предложенным К. Ф. Фокиным [14]. По слоям пакета одежды рассчитывается линия падения температуры  $\tau$ , и по ней, согласно прил. П14, строится линия максимальной упругости водяного пара  $E$ . Если линии  $E$  и  $e$  не пересекаются, то конденсации влаги в слоях пакета одежды не будет, поскольку упругость водяного пара ниже его максимальной упругости. Схема распределения температуры  $\tau$ , упругости водяного пара  $e$  и максимальной упругости водяного пара  $E$  показана на рис. 2.16. Для этих условий количество водяного пара  $P_{\text{о.д}}$ , которое будет диффундировать через слои пакета одежды, определяется по формуле

$$P_{\text{о.д}} = \left( \frac{e_{\text{п.в.пр}} - e_{\text{в.п}}}{\frac{\delta_{\text{тк1}}}{\mu_{\text{тк1}}} + \frac{\delta_{\text{тк2}}}{\mu_{\text{тк2}}} + \dots + \frac{\delta_{\text{тк}n}}{\mu_{\text{тк}n}}} \right) \theta F_{\text{ч.р}} \quad (2.100)$$

В слоях пакета одежды относительная упругость водяного пара изменяется в порах текстильных материалов и на границе

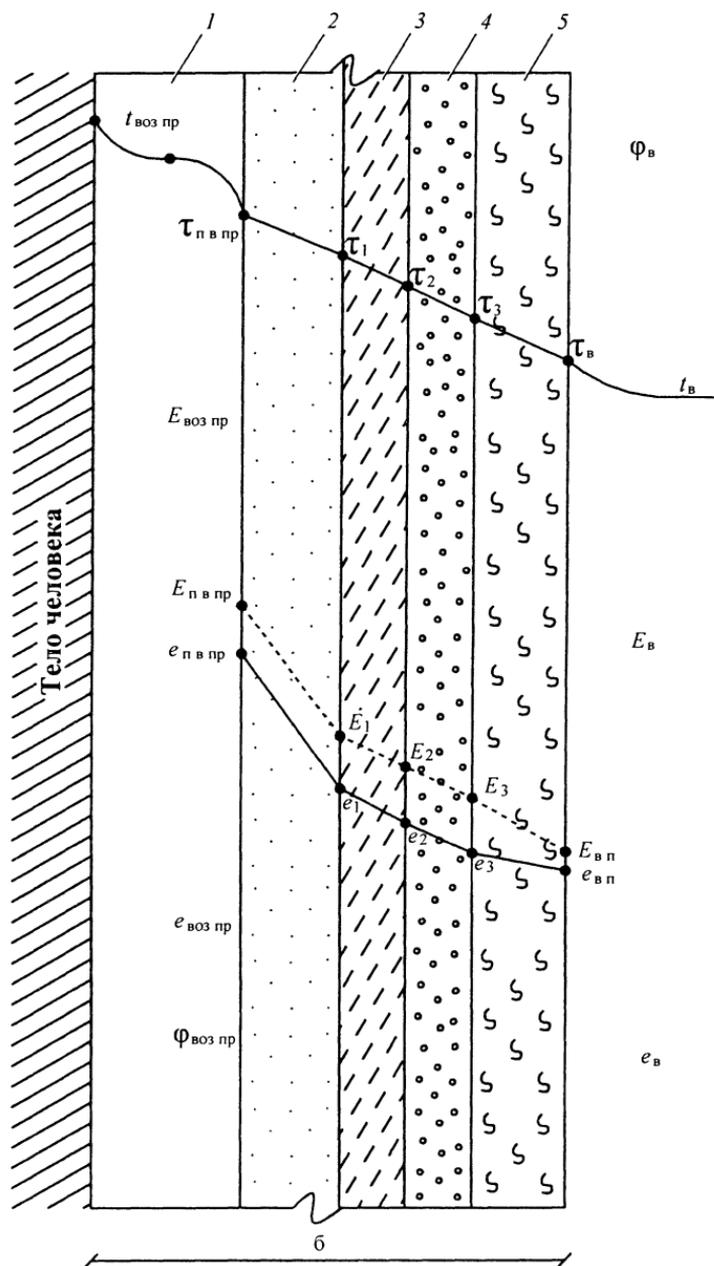


Рис. 2.16. Схема влажностного режима в слоях пакета одежды:  
 1 — воздушная пододежная прослойка; 2—5 — слои ткани

слоев. Их пористость колеблется от 70 до 90 %\*. Построение линии изменения относительной упругости водяного пара в пакете одежды вычисляем по зависимости [11]

$$\Phi_{\text{от.упр}} = \frac{e}{E} \cdot 100 \% . \quad (2.101)$$

**Пример 2.1.** Рассчитать влажностный режим мужского двубортного костюма, когда уровень энергозатрат человека в офисном помещении при работе с ПЭВМ составляет 135 Вт, а длительность работы — 2 ч, после которых следует перерыв на несколько минут.

Параметры внутреннего воздуха  $t_v = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_v = 60 \%$ ,  $E_v = 2064 \text{ Па}$  и  $e_v = 1380 \text{ Па}$ . Температуру поверхности кожи человека примем  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ . Внутренний периметр тела человека  $L_v = 0,9 \text{ м}$ , коэффициент теплообмена у внешней поверхности мужского костюма  $\alpha_{\text{ч}} = 8,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ .

Толщину воздушной прослойки при свободном облегиии по линии груди для прилегающего силуэта двубортного костюма примем в соответствии с данными табл. 2.1 прибавку 7 см и по формуле (2.60) произведем вычисление:

$$\delta_{\text{воз.пр}} = \frac{7}{2 \cdot 3,14} - 0,249 = 0,87 \text{ см}.$$

Затем по табл. 2.5 для толщины воздушной прослойки 8,7 мм с учетом коэффициентов излучения поверхности кожи человека  $3,49 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$  и бельевой ткани —  $3,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$  находим термическое сопротивление воздушной пододежной прослойки. Оно будет равняться  $0,147 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}^{**}$ .

\* Текстильные материалы в своей массе имеют поры, которые заполнены воздухом. Пористость определяет процентное содержание пор в материале и выражается в виде процентного отношения пор материала к его объему, занимаемому материалом.

\*\* На основе расчета прибавок для мужского костюма определим толщину воздушной прослойки. Предположим, что ее термические свойства равноценны нескольким воздушным прослойкам в пакете одежды мужского костюма. В нашем случае — воздушной пододежной прослойки.

Общее сопротивление теплопередаче слоев пакета спинки двубортного мужского костюма складывается из следующих составляющих:

- воздушная пододежная прослойка толщиной 8,7 мм между поверхностью кожи человека и нижним бельем

$$R_{\text{возд. пр}} = 0,147 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- нижнее белье из х/б ткани  $\delta_{\text{тк.бел}} = 0,48$  мм и  $\lambda_{\text{тк.бел}} = 0,53$  Вт/(м · °C)

$$R_{\text{тк.бел}} = 0,009 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- сорочка из х/б ткани  $\delta_{\text{тк.сор}} = 0,24$  мм и  $\lambda_{\text{тк.сор}} = 0,067$  Вт/(м · °C)

$$R_{\text{тк. сор}} = 0,0035 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- подкладочная ткань из шелкового полотна  $\delta_{\text{тк. под.}} = 0,27$  мм и  $\lambda_{\text{тк. под.}} = 0,059$  Вт/(м · °C)

$$R_{\text{тк. под.}} = 0,0045 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

- костюмная ткань из шерсти 50 % и вискозы 50 %  $\delta_{\text{тк.кост}} = 1,5$  мм и  $\lambda_{\text{тк.кост}} = 0,52$  Вт/(м · °C)

$$R_{\text{тк. кост}} = 0,029 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- сопротивление теплообмена у внешней поверхности костюма

$$R_{\text{в.п}} = 0,119 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Таким образом, общее сопротивление теплопередаче пакета мужского костюма

$$R_{\text{о.од}} = 0,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

По формуле (2.97) определим распределение температуры по слоям спинки двухбортного мужского костюма:

- температура на поверхности бельевой ткани воздушной пододежной прослойки

$$\tau_{\text{п.в.пр}} = 18 + \frac{33 - 18}{0,147 \cdot 8,4 + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0087} = 24,36 \text{ °C};$$

- температура воздуха в воздушной пододежной прослойке

$$t_{\text{воз.пр}} = \frac{\tau_{\text{к}} + \tau_{\text{п.в.пр}}}{2} = \frac{33 + 24,36}{2} = 28,68 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- температура на границе слоев ткани бельевой ткани и сорочки

$$\begin{aligned} \tau_{\text{бел.сор}} &= 18 + \\ &+ \frac{33 - 18}{(0,147 + 0,009) \cdot 8,4 + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0087 + 0,00048)} = \\ &= 24,19 \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

- температура на границе слоев сорочки и подкладки

$$\begin{aligned} \tau_{\text{сор.под}} &= 18 + \frac{33 - 18}{(0,145 + 0,009 + 0,0035) \cdot 8,4 + 1} \times \\ &\times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0085 + 0,00048 + 0,00024)} = 24,04 \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

- температура на границе подкладочной ткани и костюмной ткани

$$\begin{aligned} \tau_{\text{подл.кост}} &= 18 + \frac{33 - 18}{(0,147 + 0,009 + 0,0035 + 0,0045) \cdot 8,4 + 1} \times \\ &\times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0087 + 0,00048 + 0,00024 + 0,00027)} = 23,95 \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

- температура на внешней поверхности двубортного мужского костюма

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.п.}} &= 18 + \frac{33 - 18}{(0,147 + 0,009 + 0,0035 + 0,0045 + 0,029) \cdot 8,4 + 1} \times \\ &\times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0087 + 0,00048 + 0,00024 + 0,00027 + 0,0015)} = \\ &= 23,35 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Результаты расчета распределения температур по слоям пакета двубортного мужского костюма приведены на рис. 2.17. Как видно на рисунке, наиболее интенсивные падения температуры наблюдаются в воздушной пододежной прослойке. Полученная температура воздуха в воздушной пододежной прослойке равня-

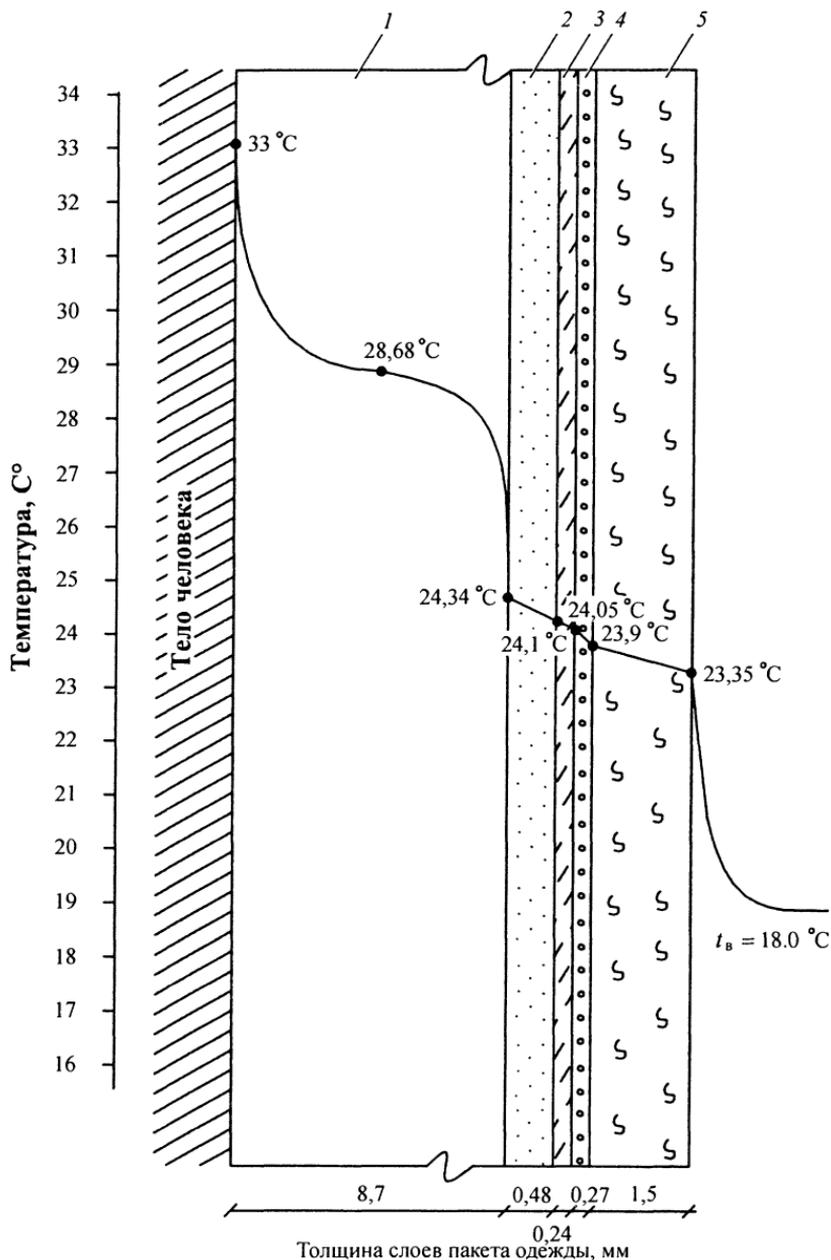


Рис. 2.17. Схема температурного режима в слоях спинки мужского костюма: 1 — воздушная пододежная прослойка; 2 — бельевая ткань; 3 — ткань сорочки; 4 — подкладочная ткань; 5 — костюмная ткань

ется 28,68 °С, и по прил. П14 найдем максимальную упругость водяного пара  $E_{\text{воз. пр}} = 3926$  Па.

При определении относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{воз. пр}}$  в воздушной пододежной прослойке учтем, что согласно П. А. Колесникову, если величину всей поверхности тела человека принять за 100 %, то на поверхность тела, покрываемую мужским костюмом, приходится 81,2 %. При этом на поверхность туловища придется 34 %, плеча и предплечья — 13,4 %, бедра — 20,3 % и голени — 12,5 %. Известно, что средняя площадь поверхности человека равна 1,8 м<sup>2</sup>. Поэтому в качестве поверхности для спинки мужского костюма возьмем площадь  $F_{\text{ч.р}} = 1,8 \cdot 0,34 \times 0,5 = 0,31$  м<sup>2</sup>.

При расчете по формуле (2.91) примем, что воздушная пододежная прослойка располагается у всей поверхности спинки человека и он в офисном помещении работает без перерыва в течение 2 ч. При этом относительная влажность воздуха в воздушной пододежной прослойке составит

$$\varphi_{\text{воз. пр}} = \frac{1}{3926} \left( \frac{60 \cdot 2064}{100} + 1,82 \cdot 135^{0,78} \cdot 6,39 \cdot 0,31 \cdot 2 \right) 100 \% = 40 \%$$

Полученное значение относительной влажности воздуха в воздушной пододежной прослойке 40 % согласуется с данными А. Д. Астафьевой и С. И. Слоневского\*, которые экспериментально в климатической камере установили, что в воздушной пододежной прослойке мужского костюма относительная влажность колеблется от 20 до 40 %.

Соппротивление паропроницаемости слоев спинки мужского костюма составляют:

- нижнее белье из х/б ткани

$$R_{\text{пар.бел}} = 1,333 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г};$$

- сорочка из х/б ткани

$$R_{\text{пар.сор}} = 1,263 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г};$$

- подкладочная ткань из шелкового полотна

$$R_{\text{пар.под}} = 0,658 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г};$$

---

\* Микроклимат мужской бытовой одежды. К вопросу изучения гигиены одежды // Труды Академии медицинских наук СССР, 1953.

- костюмная ткань из шерсти 50 % и вискозы 50 %

$$R_{\text{пар.кост}} = 3,125 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г};$$

Таким образом, сопротивление паропроницаемости пакета слоев спинки мужского костюма

$$R_{\text{о.пар}} = 6,379 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г}.$$

Согласно табл. 2.7 сопротивление влагообмена у внешней поверхности одежды при относительной влажности воздуха 60 % составит  $0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г}$  и у поверхности слоя бельевой ткани при относительной влажности воздуха в воздушной пододежной прослойке 40 % —  $1,58 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г}$ .

Общее сопротивление паропроницаемости слоев спинки мужского двубортного костюма будет  $R_{\text{о.пар}} = 8,77 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г}$ .

По полученным температурам, согласно прил. П14, находим максимальные упругости водяного пара  $E$  и их значения наносим на рис. 2.18. Как видно максимальная упругость водяного пара, начиная от воздушной пододежной прослойки, понижается по слоям пакета мужского костюма к окружающей воздушной среде.

По формуле (2.99) определяем значение упругости водяного пара по слоям спинки двубортного мужского костюма:

- на поверхности бельевой ткани, обращенной в воздушную пододежную прослойку,

$$e_{\text{п.в.пр}} = 1238 + \frac{2005 - 1238}{(1,58 / 0,84) + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0087} = 1497 \text{ Па};$$

- на границе слоев бельевой ткани и сорочки упругость водяного пара

$$\begin{aligned} e_{\text{бел.сор}} &= 1238 + \\ &+ \frac{2005 - 1238}{[(1,58 + 1,33) / 0,84] + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot (0,0087 + 0,00048)} = \\ &= 1399 \text{ Па}; \end{aligned}$$

- на границе слоя сорочки и подкладочной ткани

$$\begin{aligned} e_{\text{сор.под}} &= 1238 + \frac{2005 - 1238}{[(1,58 + 1,33 + 1,25) / 0,84] + 1} \times \\ &\times \frac{0,9}{0,9 + 3,14 \cdot (0,0087 + 0,00048 + 0,00024)} = 1359 \text{ Па}; \end{aligned}$$

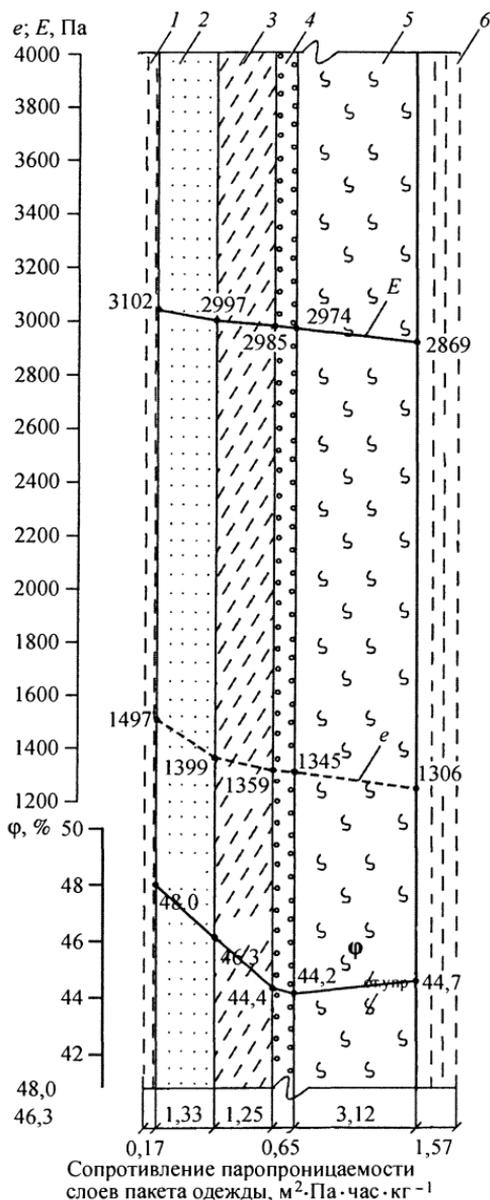


Рис. 2.18. Схема влажностного режима в спинке мужского костюма:

1 — диффузионный пограничный слой у поверхности ткани, обращенный в воздушную пододежную прослойку; 2 — бельевая ткань; 3 — ткань сорочки; 4 — подкладочная ткань; 5 — костюмная ткань; 6 — диффузионный пограничный слой у внешней поверхности костюма

- на границе слоя подкладочной ткани и костюмной ткани будет

$$e_{\text{под.кост}} = 1238 + \frac{2005 - 1238}{[(1,58 + 1,33 + 1,25 + 0,65) / 0,84] + 1} \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot (0,0087 + 0,00048 + 0,00024 + 0,00027)} = 1345 \text{ Па};$$

- на внешней поверхности костюма

$$e_{\text{в.п}} = \frac{2005 - 1238}{[(1,58 + 1,33 + 1,25 + 3,12) / 0,84] + 1} \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot (0,0087 + 0,00048 + 0,00024 + 0,00027 + 0,0015)} = 1306 \text{ Па}.$$

Результаты расчета упругости водяного пара в слоях пакета мужского костюма приведены на рис. 2.18. Линии упругости водяного пара и максимальной упругости пара  $E$  не пересекаются. Следовательно, в слоях пакета мужского костюма условия для образования конденсата не создаются.

Количество водяного пара, которое проходит через слои спинки пакета двубортного мужского костюма, определяют по формуле (2.100):

$$P_{\text{од}} = \frac{(1494 - 1306) \cdot 2 \cdot 0,31}{1,333 + 1,253 + 0,658 + 3,125} = 18,6 \text{ г}.$$

Относительная упругость водяного пара, рассчитанная по формуле (2.101), на границе слоев пакета одежды двубортного мужского костюма показана на рис. 2.18. Как видно на рисунке, она изменяется от 44 до 48 %. Бельевой слой имеет относительную упругость водяного пара 48 %, и к внешнему костюмному слою она понижается до 44 %. Это подтверждает, что в слоях пакета одежды условия для образования конденсата не создаются.

Таким образом, при работе человека за компьютером в течение 2 ч с уровнем энергозатрат 135 Вт в слоях спинки пакета двубортного мужского костюма конденсат в виде капельной жидкой влаги образовываться не будет. Вся влага в количестве 18,6 г, испаряется в окружающую воздушную среду, а для человека создаются условия экологического влажностного комфорта.

Рассмотрим условия диффузии водяного пара, когда в слоях пакета одежды двубортного мужского костюма происходит конденсация водяного пара. Относительная влажность воздуха в воздушной пододежной прослойке выше нормативного значения 60 %.

В этом случае могут создаться условия, когда на поверхности бельевой ткани, обращенной в воздушную пододежную прослойку, упругость водяного пара  $e$  может оказаться выше максимальной упругости  $E$  и в бельевом слое они пересекаются. На поверхности линии отрезка  $e_{п.в.пр}$  и  $e_{бел.сop}$  возникают условия для образования конденсата.

Для определения количества конденсата, который образуется в бельевом слое, сначала найдем количество водяного пара, которое поступает к поверхности бельевой ткани из воздушной пододежной прослойки  $P_{пост}$  (г):

$$P_{пост} = \frac{(e_{п.в.пр} - E_{п.в.пр}) \Theta F_{ч.р}}{R_{п.сопр.вл}}. \quad (2.102)$$

Затем определим количество водяного пара, которое уходит из бельевого слоя в другие слои пакета одежды и выходит в окружающую воздушную среду  $P_{уход}$  (г):

$$P_{уход} = \frac{(e_{тк.п} - e_{в}) \Theta F_{ч.р}}{\sum R_{тк.п}}, \quad (2.103)$$

где  $e_{тк.п}$  — упругость водяного пара между слоем материала с зоной конденсации и слоем материала без зоны конденсации, Па;  $\sum R_{тк.п}$  — сопротивление влагообмену слоев материала без зоны конденсации,  $(м^2 \cdot ч \cdot Па)/г$ .

Количество водяного пара, конденсирующегося в слоях пакета одежды двубортного мужского костюма, определяют по формуле

$$\Delta P = P_{пост} - P_{уход}. \quad (2.104)$$

**Пример 2.2.** Рассчитать влажностный режим пиджака курточного покрова с высокой застежкой на четыре пуговицы, когда преподаватель с уровнем энтрогзатрат 310 Вт [13] в аудитории читает лекцию на занятиях повышения квалификации работни-

кам сервисной отрасли. Занятия преподаватель проводит в течение двух академических часов — 1,5 ч.

Параметры внутреннего воздуха  $t_b = 22\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_b = 60\%$ ,  $E_b = 2644\text{ Па}$  и  $e_b = 1586\text{ Па}$ .

Температура поверхности кожи  $\tau_k = 33\text{ }^\circ\text{C}$ , периметр тела  $L_{\text{внут}} = 0,9\text{ м}$ , коэффициент теплообмена у внешней поверхности мужского пиджака  $\alpha_c = 8,4\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Примем, что воздушная пододежная прослойка проходит вокруг всей поверхности туловища человека; поверхность, покрытая одеждой, равна  $F_{\text{ч.р}} = 0,62\text{ м}^2$ .

Толщина воздушной прослойки для полуприлегающего силуэта прибавка на свободное облегание по линии груди (см. табл. 2.1) составит 8 см для мужского пиджака курточного покроя и в соответствии с уравнением (2.60) составит:

$$\delta_{\text{воз.п}} = \frac{8}{2 \cdot 3,14} - 0,314 = 0,95\text{ см.}$$

Толщина слоев пакета мужского пиджака будет равна  $\delta_n = 0,48 + 0,36 + 0,3 + 2 = 0,314\text{ см}$ .

Согласно табл. 2.5 термическое сопротивление воздушной пододежной прослойки толщиной 9,5 мм с учетом коэффициентов излучения поверхности кожи человека  $3,49\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  и бельевой ткани —  $3,8\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  составит  $0,155\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче слоев спинки пиджака курточного покроя состоит из нескольких составляющих:

- воздушная пододежная прослойки 9,5 мм

$$R_{\text{возд.пр}} = 0,155\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- нижнее белье из х/б ткани  $\delta_{\text{тк.бел}} = 0,48\text{ мм}$  и  $\lambda_{\text{тк.бел}} = 0,53\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$

$$R_{\text{тк.бел}} = 0,009\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- сорочка из 50 % вискозы и 50 % ПЭ (полиэстер)  $\delta_{\text{тк.сор}} = 0,36\text{ мм}$  и  $\lambda_{\text{тк.сор}} = 0,064\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$

$$R_{\text{тк.сор}} = 0,0056\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- подкладочная ткань из шелкового полотна  $\delta_{\text{тк.под}} = 0,3\text{ мм}$  и  $\lambda_{\text{тк.под}} = 0,06\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$

$$R_{\text{тк.под}} = 0,005\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- костюмная ткань из шерсти 70 % и вискозы 30 %  $\delta_{\text{тк.кост}} = 2$  мм и  $\lambda_{\text{тк.кост}} = 0,45$  Вт/(м · °С)

$$R_{\text{тк.кост}} = 0,044 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

- у внешней поверхности пиджака

$$R_{\text{в.п}} = 0,119 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Общее сопротивление теплопередаче пиджака курточного покроя составит:

$$R_{\text{о.од}} = 0,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

По формуле (2.97) определим распределение температуры по слоям спинки мужского пиджака курточного покроя:

- температура на поверхности бельевой ткани воздушной пододежной прослойки

$$\tau_{\text{п.в.пр}} = 22 + \frac{33 - 22}{(0,155 \cdot 8,4) + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0095} = 26,48 \text{ °С};$$

- температура воздуха в воздушной пододежной прослойке

$$t_{\text{воз.пр}} = \frac{33 + 26,48}{2} = 29,74 \text{ °С};$$

- температура на границе слоев тканей бельевой и сорочки

$$\tau_{\text{бел.сор}} = 22 + \frac{33 - 22}{(0,155 + 0,009)8,4 + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048)} = 26,33 \text{ °С};$$

- температура на границе слоев ткани сорочки и подкладки

$$\tau_{\text{сор.под}} = 22 + \frac{33 - 22}{(0,155 + 0,009 + 0,0056)8,4 + 1} \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,00036)} = 26,23 \text{ °С};$$

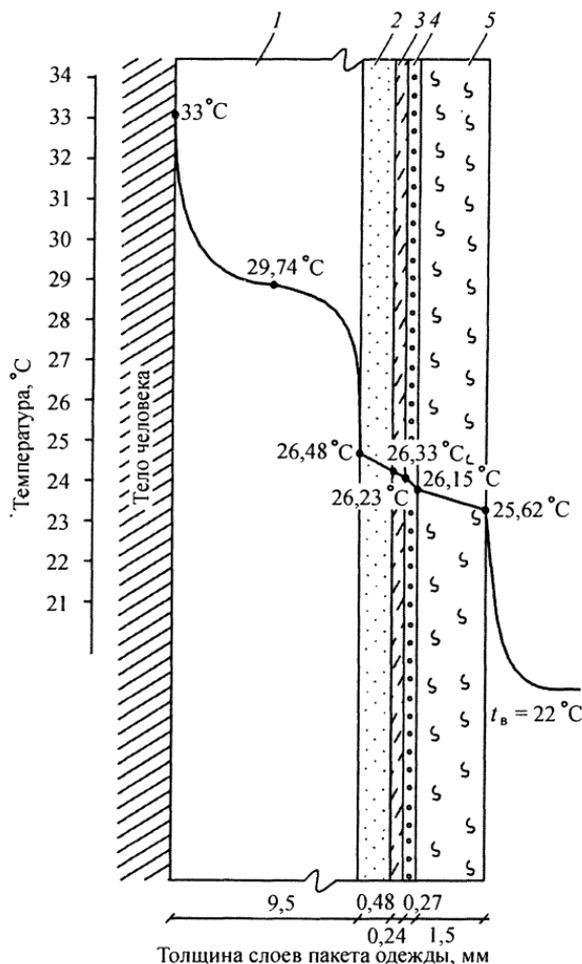
- температура на границе подкладочной и костюмной ткани

$$\tau_{\text{под.кост}} = 22 + \frac{33 - 22}{(0,155 + 0,009 + 0,0056 + 0,005)8,4 + 1} \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,000360,0003)} = 26,15 \text{ °С};$$

- температура на внешней поверхности мужского пиджака

$$\tau_{п.в} = 22 + \frac{33 - 22}{(0,155 + 0,009 + 0,0056 + 0,005 + 0,044)8,4 + 1} \times 0,9 \times \frac{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,000360,0003 + 0,002)}{0,9} = 25,62 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результаты расчета распределения температуры по слоям спинки пиджака курточного покроя приведены на рис. 2.19. Как



**Рис. 2.19.** Схема температурного режима в пиджаке курточного покроя:

1 — воздушная пододежная прослойка; 2 — бельевая ткань; 3 — ткань сорочки;  
4 — подкладочная ткань; 5 — костюмная ткань

и в примере 2.1, наибольшая интенсивность падения температуры наблюдается в воздушной пододежной прослойке: температура воздуха составила 29,81 °С. По прил. П14 найдем значение максимальной упругости водяного пара в пакете одежды.

По формуле (2.91) определим относительную влажность воздуха в воздушной пододежной прослойке:

$$\varphi_{\text{возд.пр}} = \frac{1}{4199} \left( \frac{60 \cdot 2644}{100} + 1,82 \cdot 310^{0,78} \cdot 1166 \cdot 0,62 \cdot 1,5 \right) \cdot 100 \% =$$

$$= 80 \%$$

Сопrotивление паропроницаемости пакета одежды пиджака курточного покроя составляет

$$R_{\text{пар}} = 1,33 + 5,2 + 0,658 + 4,47 = 11,66 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г.}$$

Сопrotивление влагообмена у внешней поверхности пиджака курточного покроя, как и в примере 2.1, примем равным 0,84 м<sup>2</sup> · ч · Па/г. Сопrotивление влагообмена (табл. 2.7) у поверхности слоя одежды в воздушной пододежной прослойке при относительной влажности воздуха 80 % составит 0,17 м<sup>2</sup> · ч · Па/г.

Общее сопrotивление паропроницаемости пакета одежды пиджака курточного покроя

$$R_{\text{о.пар}} = 0,17 + 1,33 + 5,2 + 0,658 + 4,47 + 0,84 =$$

$$= 12,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/г.}$$

На рис. 2.20 в масштабе сопrotивления паропроницаемости линией показаны слои пакета одежды мужского пиджака курточного покроя. По формуле (2.99) определим упругость водяного пара  $e_n$  по слоям:

- упругость водяного пара на поверхности бельевой ткани в воздушной пододежной прослойке

$$e_{\text{п.в.пр}} = 1586 + \frac{4600 - 1586}{(0,17 : 0,84) + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0095} = 3510 \text{ Па;}$$

- упругость водяного пара на границе слоев тканей бельевой и сорочки

$$e_{\text{бел.сор}} = 1586 +$$

$$+ \frac{4600 - 1586}{[(0,17 + 1,33) : 0,84] + 1} \cdot \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048)} = 2412 \text{ Па;}$$

- упругость водяного пара на границе слоев тканей сорочки и подкладки

$$e_{\text{сор.под}} = 1586 + \frac{4600 - 1586}{[(0,17 + 1,33 + 5,33) : 0,84] + 1} \times \\ \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,00036)} = 1840 \text{ Па};$$

- упругость водяного пара на границе подкладочной и костюмной ткани

$$e_{\text{под.кост}} = 1586 + \frac{4600 - 1586}{[(0,17 + 1,33 + 5,33 + 0,65) : 0,84] + 1} \times \\ \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,00036 + 0,00003)} = 1819 \text{ Па};$$

- упругость водяного пара на внешней поверхности мужского пиджака

$$e_{\text{п.в}} = 1586 + \frac{4600 - 1586}{[(0,17 + 1,33 + 5,33 + 0,65 + 4,47) : 0,84] + 1} \times \\ \times \frac{0,9}{0,9 + 2 \cdot 3,14(0,0095 + 0,00048 + 0,00036 + 0,00003 + 0,002)} = \\ = 1737 \text{ Па}.$$

Полученные значения нанесем на рис. 2.20. Как видно из распределения линий  $e$  и  $E$ , в бельевом слое они пересекаются.

На поверхности бельевого слоя упругость водяного пара  $e_{\text{п.в.пр}}$  значительно выше максимальной упругости водяного пара  $E_{\text{п.в.пр}}$ , поэтому излишнее количество влаги при данной температуре конденсируется в бельевой ткани и в ней образуется зона конденсации.

Количество водяного пара, поступающего к поверхности бельевого слоя, в соответствии с формулой (2.102) составит

$$P_{\text{пост}} = \frac{(3510 - 3451) \cdot 0,62 \cdot 1,5}{0,17} = 262 \text{ г}.$$

Количество водяного пара, уходящего из зоны конденсации бельевого слоя и прошедшего через слои материала пакета одеж-

ды, в которых не происходит образование конденсата, в соответствии с формулой (2.103) равно

$$P_{\text{уход}} = \frac{(2415 - 1737) \cdot 0,62 \cdot 1,5}{5,33 + 0,65 + 4,47} = 60 \text{ г.}$$

Количество водяных паров, конденсирующихся на бельевом слое пакета одежды (2.104)

$$\Delta P = P_{\text{кост}} - P_{\text{уход}} = 262 - 60 = 202 \text{ г.}$$

Такое количество влаги будет конденсироваться в рассматриваемой поверхности бельевой ткани  $F_{\text{ч.р}} = 0,62 \text{ м}^2$  за время 1,5 ч.

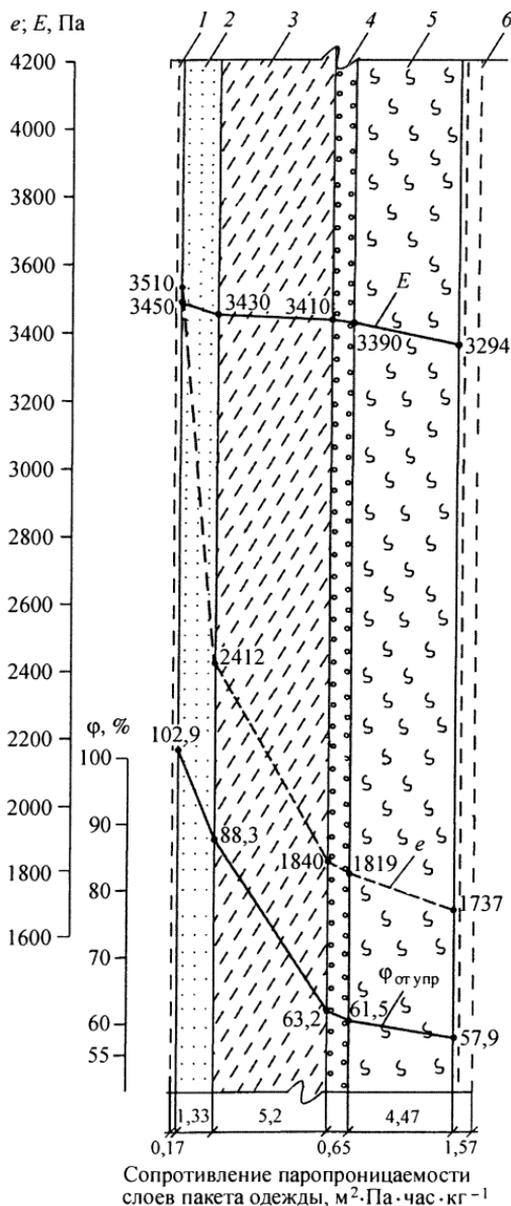
Образование конденсата также подтверждается следующим расчетом. В воздушной пододежной прослойке при  $\varphi_{\text{воз.пр}} = 80 \%$ ,  $t_{\text{воз.пр}} = 28,83 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $E_{\text{воз.пр}} = 4199 \text{ Па}$  действительная упругость водяного пара  $e_{\text{воз.пр}} = 4199 \cdot 0,8 = 3353 \text{ Па}$ . По этому значению согласно прил. П14 находим температуру, которая будет равна  $24,75 \text{ }^\circ\text{C}$ . Она называется точкой росы  $\tau_p^*$ . Если точка росы  $\tau_p$  больше  $24,75 \text{ }^\circ\text{C}$  (при условии  $e_{\text{п.в.пр}} > E_{\text{п.в.пр}}$ ), то на поверхности бельевой ткани образуется конденсат в виде капельно-жидкой влаги. В нашем случае (см. рис. 2.19) температура на поверхности бельевой ткани равняется  $26,48 \text{ }^\circ\text{C}$ , т. е. она выше на  $1,73 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Значение относительной упругости водяного пара  $\varphi_{\text{от.упр}}$  в слоях пакета пиджака курточного покрова приведено на рис. 2.20. Как видно, от поверхности воздушной пододежной прослойки она постепенно понижается к внешней поверхности пакета одежды. Поскольку на поверхности бельевого слоя  $\varphi_{\text{от.упр}}$  более  $100 \%$ , на границе слоев белья и сорочки относительная упругость водяного пара составила  $88,3 \%$ , на границе слоев сорочки и подкладки —  $63,2 \%$ , на границе слоев подкладки и костюма —  $61,5 \%$  и на внешней поверхности —  $57,9 \%$ . Такой характер распределения относительной упругости водяного пара в порах слоя бельевой ткани показывает, что в нем происходит образование конденсата.

Таким образом, при относительной влажности воздуха  $80 \%$  в воздушной пододежной прослойке и уровне энергозатрат чело-

---

\* Точкой росы  $\tau_p$  называется температура, когда воздух при данной влажности достигает полного насыщения водяными парами и относительная влажность  $\varphi = 100 \%$ .



**Рис. 2.20.** Схема влажностного режима в пиджаке курточного покрова: 1 — диффузионный пограничный слой у поверхности ткани, обращенный в воздушную пододежную прослойку; 2 — бельевая ткань; 3 — ткань сорочки; 4 — подкладочная ткань; 5 — костюмная ткань; 6 — диффузионный пограничный слой у внешней поверхности костюма

века 310 Вт происходит увлажнение бельевой хлопчато-бумажной ткани и ее прилипание к поверхности кожи человека. В результате человек находится в условиях экологического влажностного дискомфорта. Хотя, надо отметить, в других слоях пакета одежды не образуются условия для образования конденсата, влага из бельевой ткани через эти слои выходит в окружающую воздушную среду.

Экологические влажностные комфортные условия в пододежном слое пакета одежды можно получить соответственным конструктивным подбором для бельевой ткани паропроницаемых материалов, которые позволят создать благоприятный влажностный режим в пакете одежды.

В настоящее время появились новые материалы, имеющие хорошую теплозащиту и влагопроводность. В работе М. Н. Новиковой, А. В. Углова и Е. С. Петровой [18] дана модификация этих материалов, изготовленных из полиэфирных волокон. Так, термоскрепленный нетканый материал «Файбертек», изготовленный из силиконизированных полиэфирных волокон, сочетает в себе теплоизоляционные и вентиляционные свойства. Для термобелья разработаны новые полиэфирные волокна из полиэстера торговой марки Trevira Perform, производимой немецкой компанией Trevira Perform. В термобелье тело человека остается сухим. Влага с поверхности кожи отводится микроволокнам в другие слои и испаряется с внешней поверхности пакета одежды.

По данным Л. П. Шершневой и Е. С. Петровой [21], чешская фирма TG 900 Moira изготавливает следующие виды термобелья:

- Ultra Light — самая тонкая и легкая серия белья, предназначенная для ношения прямо на тело. Может применяться в жаркое время года. Очень хорошо отводит влагу от тела. Материал — 100 % модифицированный полипропилен;
- Mikro — серия белья, разработанная специально для каждодневного ношения. Хорошо отводит влагу от тела. Материал — 100 % модифицированный полипропилен;
- Mono — серия тонкого белья для экстремального спорта. Материал — TG900 с антибактериальной обработкой;
- Duo — самая универсальная серия белья. Специальное сплетение ткани, образующее увеличенную воздушную прослойку. Очень хорошо отводит влагу от тела и обладает средними теплоизолирующими свойствами. Материал — TG900 с антибактериальной обработкой;

- Tg10 — самая теплая серия, по теплоизоляции не уступает ткани Polartec 100. Материал — TG900 с антибактериальной обработкой;
- Plus — серия предназначена для использования в сочетании с бельем Duo в условиях очень холодной погоды. Материал — модифицированный полипропилен с добавлением хлопка.

Предлагаемый метод расчетов термовлажностных процессов в пакете одежды позволяет определить эффективность использования термобелья. Как уже отмечалось, в зависимости от уровня энергозатрат человека выделяется различное количество влаги. Если предположить, что она прошла термобельевой слой, то не известно, будет ли влага с течением времени конденсироваться в других слоях пакета одежды или нет. К сожалению, в проспектах зарубежных фирм не приводятся термовлажностные характеристики для термобельевых тканей. Поэтому ответить на этот вопрос можно будет только после проведения соответствующих исследований по определению теплофизических характеристик термобельевых тканей.

Таким образом, разработанный новый инженерный метод расчета термовлажностных процессов для различных видов одежды в зависимости от уровня энергозатрат человека позволяет установить, что его одежда создает ему в воздушной пододежной прослойке и слоях пакета одежды условия экологического влажностного комфорта или дискомфорта. Этот метод базируется на принятой расчетной модели одежды человека в виде полый цилиндрической стенки с внутренним источником теплоты, начиная со слоя эпидермиса, осуществляющего передачу теплоты теплопроводностью до концентрически расположенных слоев пакета одежды, и на его основе получены:

- уравнения определения температуры и упругости водяного пара по слоям пакета одежды с учетом ее кривизны, конвективного и лучистого теплообмена человека с окружающей воздушной средой и поверхностями помещения;
- уравнения определения коэффициентов теплоотдачи конвекции у поверхности тела человека с учетом направления и скорости движения воздуха, его температуры и размеров тела человека;
- графические зависимости угловых коэффициентов облучения для определения лучистого теплообмена человека с раз-

личными по площади внутренними поверхностями при его нахождении в любом месте помещения.

На основе анализа прибавок на свободное облегание силуэтов мужской и женской одежды получено аналитическое решение для определения толщины воздушных прослоек и их теплозащитных свойств:

- для воздушной прослойки между поверхностью кожи человека и бельевым материалом (хлопчатобумажными или вискозными тканями, а также хлопчатобумажным трикотажем), коэффициент излучения которых составляет 3,49 и 3,8 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), термическое сопротивление теплопередачи соответственно изменяется от 0,055 до 0,165 м<sup>2</sup> · °С/Вт при их толщине от 2 до 15 мм;
- для воздушной прослойки между слоями одежды из хлопчатобумажных тканей (ситцевых, саржевых, байковых), вискозных тканей, хлопчатобумажного трикотажа, имеющих коэффициент излучения 3,8—4,4 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), термическое сопротивление теплопередачи изменяется от 0,05 при толщине 2 мм и до 0,14 м<sup>2</sup> · °С/Вт при толщине 15 мм;
- для воздушной прослойки между поверхностью текстильных материалов с коэффициентом излучения 4,4 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и специальной металлизированной тканью, коэффициент излучения которой 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), термическое сопротивление теплопередаче изменяется от 0,06 при толщине 2 мм и до 0,25 м<sup>2</sup> · °С/Вт при толщине 15 мм;
- для воздушной прослойки между поверхностями специальной металлизированной ткани с коэффициентом излучения 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), термическое сопротивление теплопередаче изменяется от 0,07 при толщине 2 мм и до 0,3 м<sup>2</sup> · °С/Вт при толщине 15 мм.

### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

---

---

#### **3.1. Средняя температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций в помещениях предприятий сервиса**

##### ***3.1.1. Производственные помещения***

Для производственных помещений в швейном и обувном производстве с нормальным режимом и постоянными рабочими местами характерны работы, выполняемые сидя. Рассмотрим тепловой режим этих предприятий на примере швейного производства.

В швейном производстве постоянно меняется ассортимент выпускаемой продукции, что приводит, как считает Л. Ф. Шубин, А. Я. Измestьева, Н. М. Конопальцева [16, 17, 20], к изменению технического оснащения и изменению планировки в цехах. В этих условиях оценка теплового режима становится особенно важной. В отличие от непромышленных помещений определение значения средней температуры внутренних поверхностей помещения в швейном цехе представляет значительные трудности. Оно будет зависеть не только от температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций, но также от действующего технологического оборудования и осветительных устройств. Это обстоятельство потребовало разработки метода определения значения средней температуры внутренних поверх-

ностей помещения с учетом действующего технологического оборудования и осветительных устройств  $\pi_{в.п.об.св}$ , а также проведения теплотехнических исследований по определению результирующей радиационной температуры  $t_R$  с целью сопоставления ее с параметрами температуры воздуха  $t_B$ .

Для определения средней температуры внутренних поверхностей помещения и технологического оборудования  $\pi_{в.п.об}$  производственного цеха составим уравнение теплового баланса технологического оборудования. Он складывается из теплоступлений от электродвигателя  $Q_{эл}$ , теплоты, идущей на нагрев оборудования  $Q_{об}$ , и потерь теплоты от оборудования в окружающую среду помещения  $Q_{об.окр}$ . Из условий теплового баланса получим следующее равенство:

$$Q_{эл} = Q_{об.окр} - Q_{об}.$$

Количество теплоты, выделяемой электродвигателем, Вт/ч, определяется по формуле

$$Q_{эл} = 860 N_y \cdot K_{спр} (1 - K_n \eta_1),$$

где  $N_y$  — мощность электродвигателя, кВт;  $K_{спр}$  — коэффициент спроса на электроэнергию;  $K_n$  — поправочный коэффициент, учитывающий загрузку двигателя;  $\eta_1$  — КПД электродвигателя при данной нагрузке.

Количество теплоты, затрачиваемой на нагрев массы оборудования,  $G_{об}$ , кг/ч, с удельной теплоемкостью  $C_{об}$ , кДж/кг · °С, от температуры окружающего воздуха  $t_B$  до средней температуры нагретого оборудования  $\tau_{в.об}$ , определяется по формуле

$$Q_{об} = C_{об} G_{об} (t_B - \tau_{в.об}).$$

Количество теплоты, поступающей от работающего оборудования в помещение цеха, Вт/ч, рассчитывается по формуле

$$Q_{об.окр} = \alpha_{в.об} (\tau_{в.об} - t_B) F_{об},$$

где  $\alpha_{в.об}$  — средний коэффициент теплообмена между поверхностью оборудования и окружающей воздушной средой, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $\tau_{в.об}$  — средняя температура поверхности оборудования, °С;  $F_{об}$  — поверхность оборудования, м<sup>2</sup>.

Подставляя значения  $Q_{эл}$ ,  $Q_{об}$  и  $Q_{об.окр}$  в уравнение теплового баланса, получим

$$860 N_y K_{спр} (1 - K_n \eta_1) = \alpha_{в.об} (\tau_{в.об} - t_B) F_{об} - C_{об} G_{об} (t_B - \tau_{в.об}).$$

Из предыдущего уравнения определим среднюю температуру работающего оборудования:

$$\tau_{\text{в.об}} = t_{\text{в}} + \frac{860 N_{\text{у}} K_{\text{снр}} (1 - K_{\text{п}} \eta_{\text{п}})}{C_{\text{об}} G_{\text{об}} + \alpha_{\text{в.об}} F_{\text{об}}}.$$

Здесь число 860 — тепловой эквивалент 1 кВт · ч.

Средняя температура внутренних поверхностей помещения и работающего оборудования определяется по формуле

$$\tau_{\text{в.п.об}} = \frac{\tau_{\text{в.ост}} F_{\text{ост}} + \tau_{\text{в}} F_{\text{в}} + \tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}} + \tau_{\text{в.об}} F_{\text{об}} + \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{ост}} + F_{\text{в}} + F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{перег}} + F_{\text{об}} + F_{\text{отп}}}$$

где  $\tau_{\text{в.ост}}$  — температура на внутренней поверхности остекления посередине окна, °С;  $\tau_{\text{в}}$  — температура на внутренней поверхности наружной стены, °С;  $\tau_{\text{в.пол}}$  — температура на поверхности пола, °С;  $\tau_{\text{в.пот}}$  — температура на внутренней поверхности потолка, °С;  $\tau_{\text{в.перег}}$  — температура на поверхности перегородки, °С;  $\tau_{\text{в.об}}$  — средняя температура работающего оборудования, °С;  $\tau_{\text{в.отп}}$  — температура отопительного прибора, °С;  $F_{\text{ост}}$ ,  $F_{\text{в}}$ ,  $F_{\text{пол}}$ ,  $F_{\text{пот}}$ ,  $F_{\text{перег}}$ ,  $F_{\text{об}}$  и  $F_{\text{отп}}$  — соответственно площади окна, наружной стены, пола, потолка, технологического оборудования и отопительного прибора, м<sup>2</sup>.

Для определения средней температуры внутренних поверхностей помещения, технологического оборудования и осветительных устройств необходимо знать температуру поверхности светильников. Для люминесцентной лампы, не изолируемой от внешней среды, температура на поверхности определяется по удельной электрической нагрузке и диаметру люминесцентной лампы.

Среднюю температуру помещения цеха с учетом температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций, действующего оборудования и осветительных устройств можно найти по формуле

$$\tau_{\text{в.п.об.св.}} = \frac{\tau_{\text{в.ост}} F_{\text{ост}} + \tau_{\text{в}} F_{\text{в}} + \tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}} + \tau_{\text{в.обл}} F_{\text{обл}} + \tau_{\text{в.св}} F_{\text{св}} + \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{ост}} + F_{\text{в}} + F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{перег}} + F_{\text{обл}} + F_{\text{св}} + F_{\text{отп}}}$$

где  $\tau_{\text{в.св}}$  — температура на поверхности осветительных устройств, °С;  $F_{\text{в.св}}$  — площадь осветительных устройств, м<sup>2</sup>.

Натурные наблюдения в пошивочном цехе фабрики объединения «Москва» размером 18 × 72 м происходили при  $t_{\text{в}} = 24 \dots 25$  °С и  $t_{\text{н}} = -15,3$  °С. На расстоянии 0,6; 1,5; 3,0 и 4,5 м от светового проема на уровне 150 см от пола были установлены термопары и шаровые термометры Зернона — Йокла, которые фиксировали радиационную температуру. Результаты этих замеров приведены на рис. 3.1, где видно, что значения радиационной температуры ниже значений температуры воздуха. По мере удаления от светового проема эта разность с 0,7 °С увеличивается до 1,7 °С. Значение радиационной температуры в производственном цехе при работающем оборудовании, мощных светильниках и воздухоподогревательных металлических коробах может изменяться от 22 до 24 °С.

В результате проведенных наблюдений за температурным режимом швейного цеха были определены значения температуры на внутренней поверхности кирпичной стены 20 °С и потолка 25,2 °С. Температура на внутренней поверхности светового проема с двойным остеклением распределилась неравномерно. Около нижнего переплета значение температуры на поверхности остекления составило 7,4 °С, верхнего переплета — 12,8 °С, а на внутренней поверхности посередине остекления — 10,8 °С.

Распределение температуры по вертикали под светильником с двумя люминесцентными лампами типа ЛД 20-4 показано на рис. 3.1. Значение температуры на поверхности люминесцентной лампы равнялось 44,5 °С, на поверхности воздухоподогревательного металлического короба — 29,2 °С. Наблюдения показали, что температура воздуха по вертикали под светильником и воздухоподогревательным металлическим коробом практически одинаковая. Так, на расстоянии 20 см от светильника температура равнялась 26,1 °С, а на расстоянии 10 см от воздухоподогревательного короба — 26,3 °С. Значение температуры по вертикали понижается с приближением к полу. Проведенные расчеты показали, что средняя температура внутренних поверхностей помещения, технологического оборудования и осветительных устройств, полученная по расчету  $\pi_{\text{в.п.об.св}} = 22,95$  °С, отличается от результирующей радиационной температуры  $t_R = 25$  °С на 2 °С.



### 3.1.2. Административные помещения

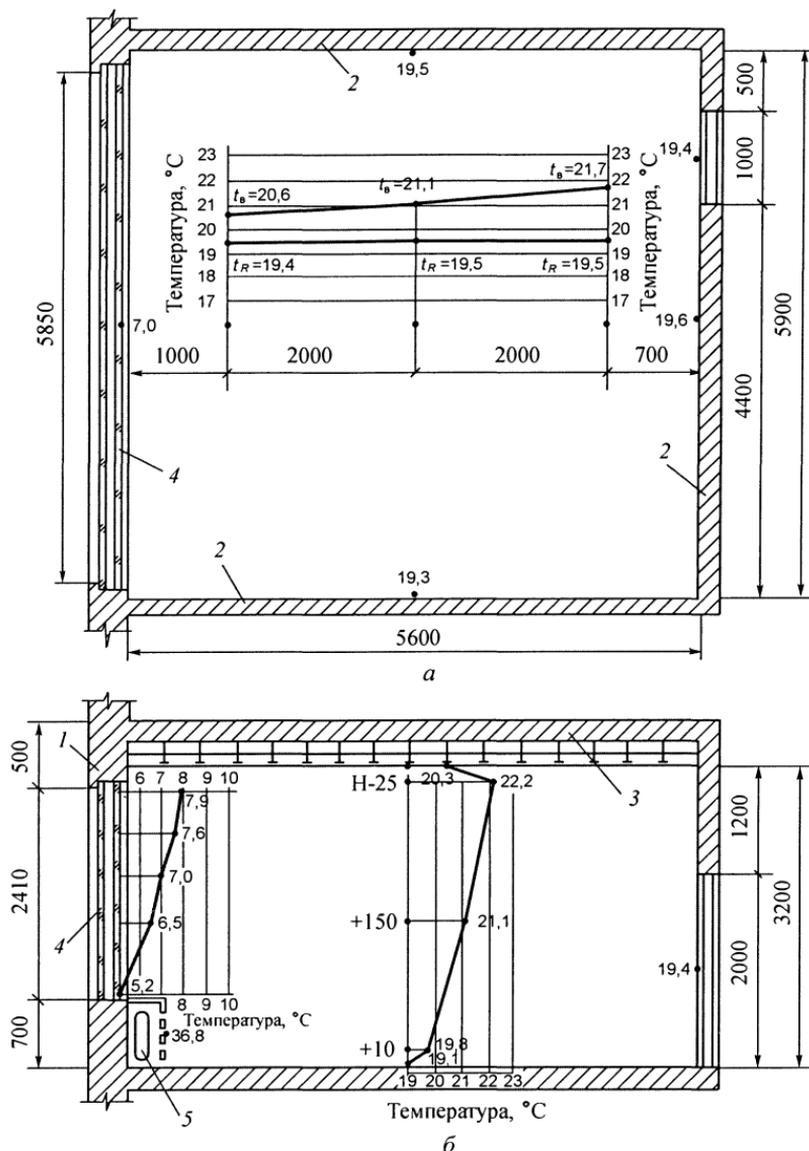
При проведении теплотехнических наблюдений в административно-вспомогательном помещении здания Чертановской хлопкопрядильной фабрики г. Москвы замеры воздушной среды производили термопарами и радиационным шаровым термометром Зернона — Йокла. По значениям температуры внутреннего воздуха, средней температуре внутренних поверхностей и результирующей радиационной температуре производилась оценка теплового режима помещения. В помещении на уровне 15 см от пола замерялась температура воздуха, а также результирующая радиационная температура на расстоянии 1; 3 и 5 м от внутренней поверхности остекления.

Результаты натурных наблюдений при  $t_{в} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  приведены на рис. 3.2. Средние значения температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций и их площади представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Значение температуры поверхностей административно-вспомогательного помещения

| Внутренние поверхности помещения  | Средняя температура, $^{\circ}\text{C}$ | Площадь ограждающих конструкций, $\text{м}^2$ |
|---|---|---|
| Окна  | 6,8                                     | 13,2  |
| Внутренние стены  | 19,5                                    | 51,8  |
| Двери   | 19,4                                    | 2,0   |
| Пол   | 19,1                                    | 31,4  |
| Потолки   | 20,3                                    | 31,4  |
| Отопительные приборы в подоконной нише, закрытой деревянным шкафом с щелями | 38,8                                    | 3,9   |
| Перемычки   | 18,4                                    | 0,5   |

Результирующая радиационная температура  $t_R$  в помещении составила  $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (на расстоянии 1 м от внутренней поверхности остекления),  $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (на расстоянии 3 м) и  $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (на расстоянии 5 м). Она оказалась выше средней температуры внутренних поверхностей помещения  $\tau_{с.п.} = 18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура внутреннего воздуха на расстоянии 1 м от внутренней поверхности составила  $20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на расстоянии 3 м —  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  и на расстоянии 5 м —  $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Рис. 3.2.** Значения температуры в административном помещении Чертановской фабрики, г. Москва ( $t_n = -22^\circ\text{C}$ ): *а* — места замеров температур на уровне +150 см от пола и график сопоставления результирующей радиационной температуры с температурой воздуха; *б* — распределение температуры по центральной вертикали и на остеклении; 1 — наружные стены из керамзитобетона; 2 — внутренние перегородки из железобетона; 3 — междуэтажное железобетонное покрытие с подвесным потолком и полом из теплого линолеума

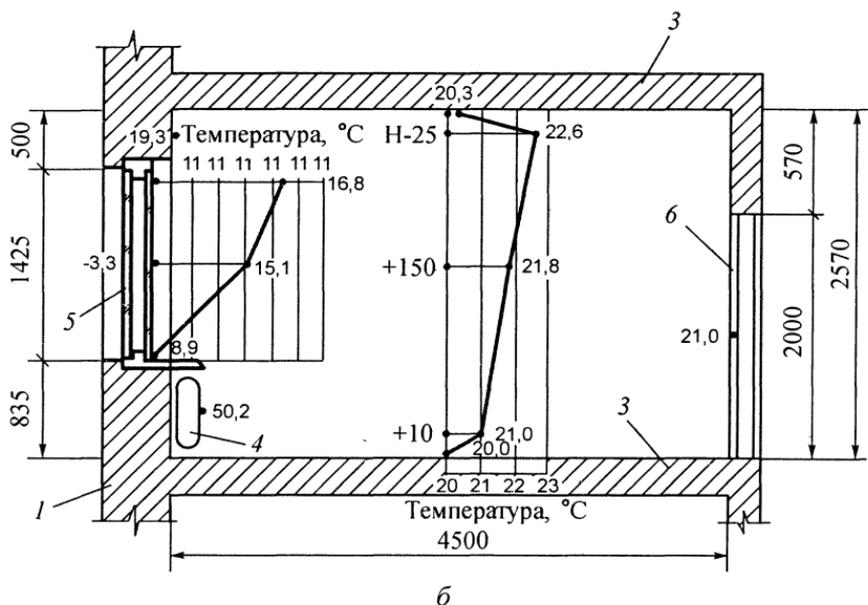
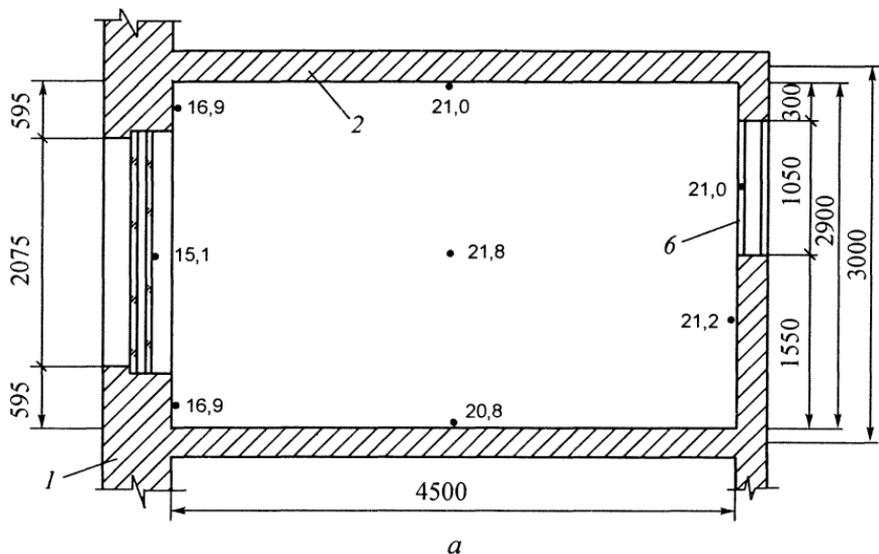
### 3.1.3. Помещения для отдыха

Натурные теплотехнические наблюдения за тепловым режимом ставили целью по средней температуре внутренних поверхностей и температуре внутреннего воздуха дать оценку теплового режима помещения, предназначенного для отдыха. Испытания проходили по принятой методике натурных наблюдений [20]. Замеры температуры воздуха в центре комнаты по вертикали проводились на уровне пола, 10 см от пола, 150 см от пола, на расстоянии 25 см от потолка и на потолке. Температурные замеры выполнялись на внутренней поверхности остекления, на отопительном приборе, на внутренней поверхности наружных и внутренних стен. Результаты натурных наблюдений в помещении при  $t_{в} = 21,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н} = -8,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  приведены на рис. 3.3. В табл. 3.2 представлены средние значения температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций и их площадь. Средняя температура внутренних поверхностей помещения составила  $\tau_{в.п} = 20,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , что ниже температуры внутреннего воздуха  $t_{в} = 21,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 3.2. Температура поверхностей помещения для отдыха

| Внутренние поверхности помещения | Средняя температура, $^{\circ}\text{C}$ | Площадь ограждающих конструкций, $\text{м}^2$ |
|----------------------------------|---|---|
| Наружные стены                   | 16,9                                    | 5,0   |
| Окна                             | 15,1                                    | 2,96  |
| Внутренние стены                 | 21,0                                    | 30,1  |
| Двери                            | 21,0                                    | 2,1   |
| Пол                              | 20,0                                    | 13,0  |
| Потолок                          | 20,3                                    | 13,0  |
| Отопительные приборы             | 50,2                                    | 1,55  |

Для определения средней температуры внутренних поверхностей помещения, технологического оборудования и осветительных устройств в качестве составляющих необходимо знать температуру на внутренней поверхности окна. Поэтому далее рассматриваются вопросы определения температуры на внутренней поверхности остекления при неизотермической ниспадающей и восходящей струе с учетом фильтрации воздуха через окна, а также теплозащита окон и наружных стен.



**Рис. 3.3.** Температура в помещении здания ( $t_n = -8,4^\circ\text{C}$ ):

а — места замеров температур на уровне 150 см от пола; б — распределение температуры по центральной вертикали и по остеклению; 1 — наружные стены из шунгизобетона толщиной 300 мм; 2 — внутренние перегородки из железобетона; 3 — межэтажное железобетонное перекрытие с паркетным полом; 4 — радиатор; 5 — окно; б — дверь

### 3.2. Экспериментальные исследования температурных полей на внутренней поверхности окон с двойным и тройным остеклением

Для определения теплоотдачи внутренней поверхности остекления при отопительном приборе и без него в климатической камере были проведены теплотехнические испытания окон. В проем климатической камеры (рис. 3.4) были установлены две однослойные керамзитобетонные панели с двумя оконными блоками: с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах и с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный), которые делили климатическую камеру на теплое и холодное отделения. Характер распределения температур в зоне светового проема на расстоянии 50 см от внутренней поверхности двойного и тройного остекления определяли по семи температурным сечениям. В каждом температурном сечении устанавливали термопары на внутренней и наружной поверхности остекления, а также на расстоянии 0,5; 5,5; 10,5; 20,5; 30,5; 40,5 и 50,5 см от внутренней поверхности остекления.

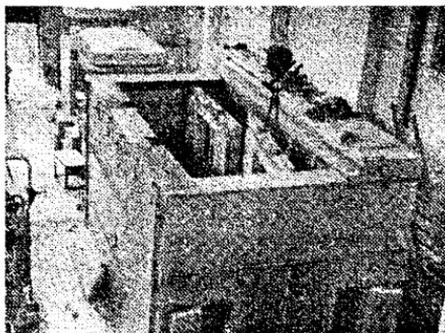


Рис. 3.4. Установка в климатическую камеру стеновых панелей

Схема расстановки термопар на поверхности остекления и в приоконной зоне оконного блока с двойным остеклением в деревянном спаренном переплете и тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) приведена на рис. 3.5.

На остекленной поверхности термопары крепили полимеризованным клеем, близким по свойствам к стеклу. Отсчеты температуры от термопар снимали на централизованном пульте



ских исследований световых проемов с двойным и тройным остеклением без отопительного прибора приведены на рис. 3.6. На рисунках видно, что температура на внутренней поверхности двойного и тройного остекления по высоте изменяется. Наиболее низкие значения температуры оказались в нижней части у светового проема с двойным ( $\tau_{\text{в.ост}} = 5,29^\circ\text{C}$ ) и тройным ( $\tau_{\text{в.ост}} = 6^\circ\text{C}$ ) остеклением. Температура на внутренней поверхности верхней части остекления по сравнению с нижней частью была значительно выше. Разница в температуре на внутренней поверхности

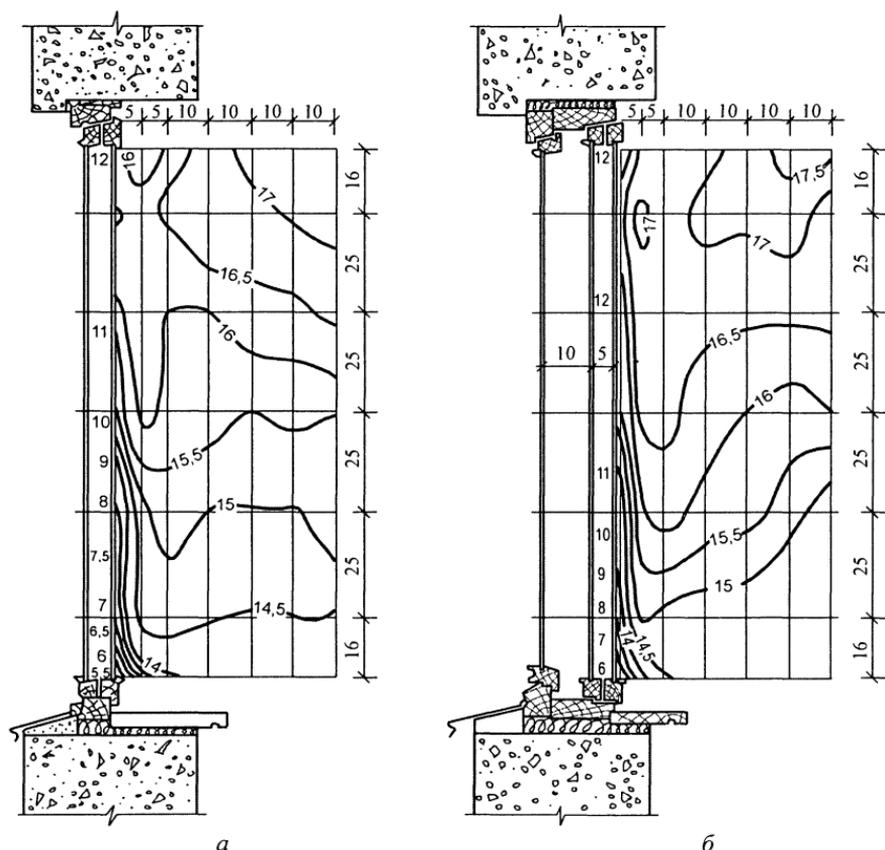


Рис. 3.6. Температурное поле на поверхности остекления и в зоне окна на неизотермической ниспадающей струе у внутренней поверхности светового проема: а — с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах при  $t_{\text{в}} = 17,3^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -27,4^\circ\text{C}$ ; б — с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) при  $t_{\text{в}} = 17,3^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -27,4^\circ\text{C}$



поверхности около нижней деревянной обвязки для двойного остекления составила  $4,17^{\circ}\text{C}$ , а для тройного остекления —  $7,51^{\circ}\text{C}$ . В средней и верхней частях светового проема значение температуры поверхности остекления заметно повышалось. Температура на внутренней поверхности тройного остекления была значительно выше, чем на поверхности двойного остекления. Разница в температуре на поверхности остекления около нижнего деревянного переплета составила  $3,3^{\circ}\text{C}$ , на высоте 16 см от нижнего деревянного переплета —  $1,9^{\circ}\text{C}$ , на высоте 41 см —  $3,1^{\circ}\text{C}$ , на высоте 66 см —  $2,6^{\circ}\text{C}$ , на высоте 91 см —  $0,8^{\circ}\text{C}$ , на высоте 116 см —  $2,3^{\circ}\text{C}$  и на поверхности остекления около верхнего деревянного переплета  $1,8^{\circ}\text{C}$ .

Из анализа температурных полей в зоне окна при двойном и тройном остеклении следует, что температурный режим определяется действием неизотермических струй.

В замкнутом объеме помещения у потолка развивается неизотермическая струя (см. рис. 3.6), которая под действием градиента температуры, плотности и ускорения свободного падения воздуха опускается вниз. Ниспадающая турбулентная струя омывает вертикальную поверхность наружной стены, а также горизонтальную поверхность откоса. В верхней части окна происходит частичное торможение, отрыв пограничного слоя и образование застойной зоны с местной циркуляцией, имеющей малую подвижность воздуха. У верхней части охлажденной поверхности остекления формируется тонкий ламинарный слой, постепенно переходящий в турбулентный, который сливается с турбулентной неизотермической струей, при движении которой вдоль охлажденной поверхности остекления происходит потеря движущими частицами кинетической энергии. В результате в зависимости от длины охлажденной поверхности остекления соответственно понижается значение температуры струи. Полное торможение наступает около подоконника с образованием застойной зоны, где кинетическая энергия переходит в потенциальную и неизотермическая струя меняет направление в сторону помещения.

При наличии отопительного прибора, расположенного под подоконником, воздушная струя под действием разности температур и плотности поднимается вверх к остекленной поверхности (см. рис. 3.7). В поперечном сечении зоны подоконника образуется несколько характерных слоев. Турбулентная искривлен-

ная по оси струя, внешней слой которой частично налипает на охлажденную поверхность остекления, формирует ламинарный пограничный слой. В результате движения вверх ламинарного пограничного слоя и турбулентной струи в нижней части остекления у подоконника возникает застойная зона с местной циркуляцией, имеющая малую подвижность воздуха. Вдоль поверхности остекления развивается основная полуограниченная турбулентная струя. Теплые частицы воздуха в струе при ее движении вдоль остекления охлаждаются. Это приводит к потере движущими частицами кинетической энергии и началу торможения. При полном торможении происходит отрыв пограничного слоя от охлажденной поверхности остекления и направление потока струи вглубь помещения.

### 3.3. Конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна

Рассмотрим вопросы теплообмена у вертикальной поверхности при свободной и осложненной конвекции. Они описываются уравнениями Рейнольдса\*, в которых число неизвестных превышает число уравнений, и решаются с помощью различных полумпирических теорий турбулентности, в которых наряду со строгими уравнениями гидромеханики используются дополнительные эмпирические зависимости.

В нашей стране первые исследования по свободной конвекции были выполнены М. В. Кирпичевым. В 1930-е годы им создана теория теплового моделирования\*\*.

Для движения воздуха у вертикальной поверхности М. А. Михеевым предложены следующие эмпирические формулы

- для ламинарного режима  $10^3 < GR PR < 10^9$

$$Nu = 0,76 (GR PR)^{0,25}; \quad (3.1)$$

- для турбулентного режима  $GR PR > 10^9$

$$Nu = 0,15 (GR PR)^{0,33}. \quad (3.1a)$$

\* Рейнольдс А. Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях. М. : Энергия, 1979. С. 408.

\*\* Кирпичев М. В. Теория подобия. М. : АН СССР, 1953. С. 96.

Для определения теплообмена при турбулентной естественной конвекции у вертикальной поверхности П. М. Брдликом\* получено уравнение

$$Nu = 0,2 (GR \cdot PR)^{1/3} \left( \frac{Pr^{2/3}}{2,14 + Pr^{2/3}} \right)^{1/3} \quad (3.2)$$

Для определения теплообмена у охлажденной поверхности, когда в нижней части окна нет отопительного прибора, предлагается значение безразмерного коэффициента теплоотдачи при ламинарной естественной конвекции определять по формуле Э. Р. Эккерта и Р. М. Дрейка\*\*.

$$Nu = 0,356 Gr^{1/4} \quad (3.3)$$

и при турбулентной — по формуле Э. Р. Эккерта и В. О. Карслона\*\*\*:

$$Nu = 0,017 Gr^{2/5} \quad (3.3a)$$

При решении рассмотренных выше уравнений (3.2)—(3.3a) была принята постоянная температура вертикальной стенки. Э. М. Спэрроу и Е. Л. Грегг\*\*\*\* решали задачу для вертикальной поверхности пластины, когда температура изменяется по экспоненциальному закону  $t_w - \tau_{в.ост} = B \cdot e^{mx}$ . Решение дифференциальных уравнений ламинарного пограничного слоя выполнено численными методами. Для определения локальной величины критерия Нуссельта при  $Pr = 0,7$  получено уравнение

$$Nu = m x^{1/4} (0,735/\sqrt{2}) Gr^{1/4} \quad (3.4)$$

\* *Брдлик П. М.* Некоторые вопросы тепло- и массообмена при гравитационной естественной конвекции в неограниченном объеме. Дис. д-ра техн. наук. Минск, 1968. С. 340.

\*\* *Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М.* Теория теплообмена / под. ред. А. В. Лыкова. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. С. 680.

\*\*\* *Eckert E. R., Carlson W. O.* Natural Convection in an Air Layer Enclosed between Two Vertical Plates with Different Temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.1,2, 1961.

\*\*\*\* *Sparrow E. M., Gregg E. L.* Similar solutions for Free Convection From a Nonisothermal Vertical Plate. — *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. Vol. 80. 1958. P. 379—381.

В представленном виде для рассматриваемых условий формулу (3.4) использовать нельзя. Для определения величины  $m$  следует экспериментальным путем найти показатель экспоненциальной функции. Для этого расположим начало координат в месте сопряжения остекления с верхним переплетом, ось  $x$  направим вниз вдоль поверхности остекления, а ось  $\Delta t = t_B - \tau_{в.ост}$  перпендикулярно к ней. На основе экспериментальных данных автора изменение избыточной температуры по внутренней поверхности двойного и тройного остекления (рис. 3.8) получено в виде экспоненциальной зависимости:

$$\Delta t = t_B - \tau_{в.ост} = 4,5^{0,95x} - 4,72. \quad (3.4a)$$

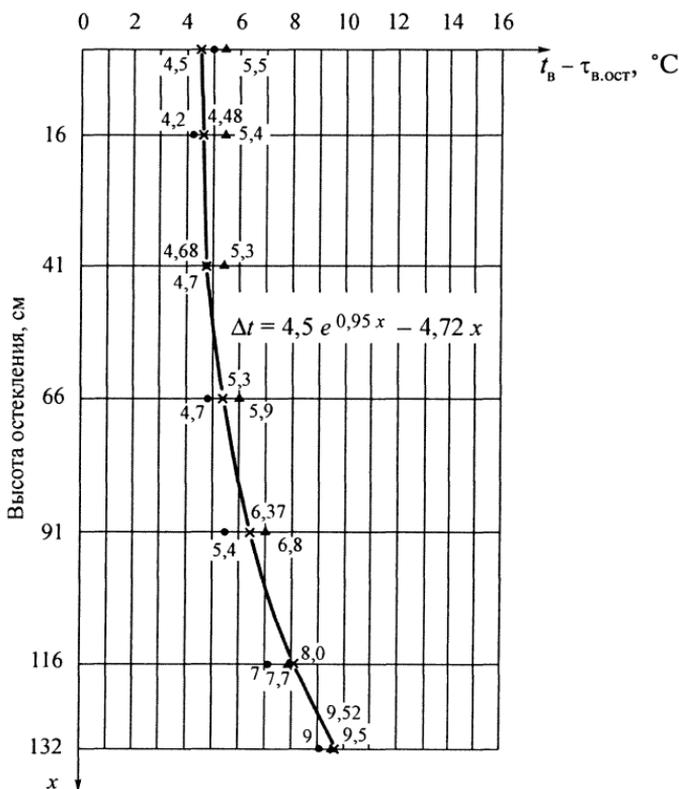


Рис. 3.8. Изменение значений температуры по высоте окна при ниспадающей неизотермической струе:

▲ — двойное остекление; ● — тройное остекление

После подстановки полученного показателя степени  $m = 0,95$  в выражение (3.4) формула Э. М. Спэрроу и Е. Л. Грегга с уточненными экспериментальными данными автора примет следующий вид:

$$\text{Nu} = 0,49x^{1/4}\text{Gr}^{1/4}. \quad (3.46)$$

Путем решения интегральных уравнений и энергии с безразмерным профилем температуры и скорости в степени  $1/3$  В. К. Савиным [21] получены уравнения теплообмена между вертикальной стенкой и ламинарной гравитационной струей от нагревателя диаметром  $d_0$  при  $\text{Pr} = 0,7$ :

$$\text{Nu} = 0,7 \left[ \frac{\tau_{\text{в.отп}} \tau_{\text{в.ост}}}{\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}} \right]^2 \left( \frac{\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}}{\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ост}}} \right)^{10} \times \text{Gr}^{1/4} \left( \frac{x}{d_0} \right)^{-1/2}. \quad (3.5)$$

Приведенные зависимости (3.1)—(3.5) относятся к определению свободной конвекции у вертикальной поверхности пластины, находящейся в нестесненном пространстве. В действительности условия конвективного теплообмена у внутренней поверхности заполнения светового проема осложняются его сложной конфигурацией, в которой образуются застойные зоны в верхней и нижней частях окна.

### **3.3.1. Уравнения конвективного теплообмена для внутренней поверхности окна**

На основе интегрального уравнения пограничного слоя для естественной конвекции из уравнения Прандтля [22] с учетом гравитационного ускорения получим в общем виде уравнения определения скорости на внешней границе гидродинамического слоя и локальный критерий Нуссельта. Подробный вывод этих уравнений приводится в работе [23].

В общем виде скорость на внешней границе гидродинамического слоя можно определить по формуле

$$u_m = \left[ \frac{A}{n+1} \text{Gr} \right]^{1/2} (Z_1 - Z_2 \text{Pr}^{1/2} \text{Pr}_r)^{-1/2} \frac{\nu}{h} \eta^m. \quad (3.6)$$

В общем виде толщину приконного гидродинамического слоя вдоль поверхности остекления можно рассчитать по формуле

$$\delta_m = h(-Z_2)^{-\frac{1}{1+x}} B^{\frac{x-2}{1+x}} \left[ \frac{A}{n+1} G_{\text{ч}} \right]^{-\frac{x}{2(1+x)}} \text{Pr}^{-\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{1+x}}; \quad (3.7)$$

$$\text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+x}} \left( Z_1 - Z_2 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t \right)^{\frac{x}{2(1+x)}} \eta^p.$$

В общем виде локальное значение критерия Нуссельта определим по формуле

$$\text{Nu} = B^{\frac{x-2}{x+1}} (-Z_2)^{\frac{x}{1+x}} \left[ \frac{A}{n+1} \text{Gr} \right]^{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+x}} \times \quad (3.8)$$

$$\times \left( Z_1 - Z_2 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t \right)^{-\frac{1}{2(1+x)}} \text{Pr}^{\frac{1}{3} \cdot \frac{3x+1}{1+x}} \text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+x}} \eta^{p+m-1}.$$

### 3.3.2. Свободный конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна

При свободном конвективном теплообмене у внутренней поверхности остекления, граничащей с замкнутым объемом помещения, высотой  $H$ , полом и потолком, воздействует неизотермическая струя от общего конвективного кольца (рис. 3.9). Расчетная схема при теплообмене между внутренней поверхностью остекления с температурой  $\tau_{\text{в.ост}}$  и неизотермической ниспадающей струей с температурой и скоростью ( $t_{\text{струи}}$  и  $u_{\text{струи}}$ ) и текущей температурой и скоростью ( $t$  и  $u$ ) в поперечном сечении принята с началом координат на пересечении ординат ( $H-y$ ) в плоскости внутреннего остекления и осью абсцисс ( $x$ ) в плоскости потолка.

На основе анализа экспериментальных данных по семи температурным сечениям в зоне окна с двойным и тройным остеклением построен профиль температуры в приконном пограничном слое, который описывается уравнением (рис. 3.10):

$$\frac{t - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left( \frac{x}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{8}}. \quad (3.9)$$

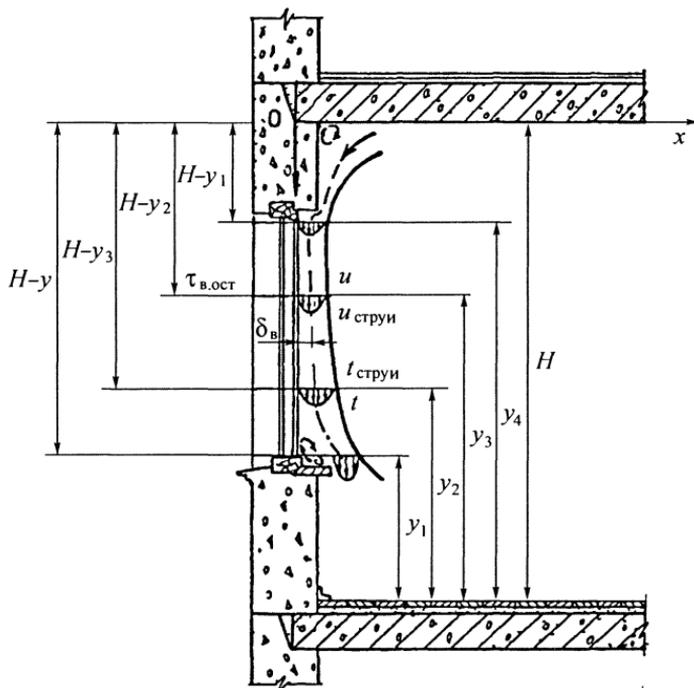


Рис. 3.9. Схема развития неизомергической ниспадающей струи от общего конвективного кольца вдоль вертикальной поверхности остекления

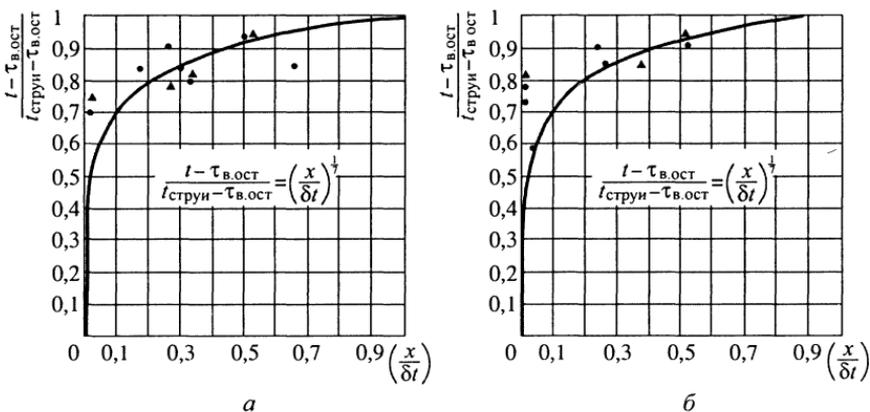


Рис. 3.10. Профиль температуры при неизомергической ниспадающей струе у внутренней поверхности светового проема с двойным (а) и тройным (б) остеклением

По аналогии распределения с температурой, профиль скорости при турбулентном приконном пограничном слое можно описать уравнением:

$$\frac{u}{u_m} = \left( \frac{x}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{8}}. \quad (3.10)$$

Полученная зависимость согласуется с формулой Прандтля  $u = u_m \left( \frac{y}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{8}}$ , предложенной для турбулентного пограничного слоя. В. Н. Талиев [21] считает, что при турбулентном обтекании пластины в расчетах следует пользоваться показателем степени  $1/7$ . По данным М. А. Михеева и И. М. Михеевой, распределение скорости при ламинарном течении в пограничном слое имеет показатель степени, равный  $1/2$ . Как видно, профиль температуры характеризует турбулентный режим.

Изменение температуры у турбулентной струи вдоль вертикальной поверхности окна с двойным и тройным остеклением без отопительного прибора, по данным экспериментальных исследований (рис. 3.11), можно аппроксимировать в виде показательной функции:

$$\frac{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}} = 0,95 \left( \frac{H - y}{h} \right)^{-0,66}. \quad (3.11)$$

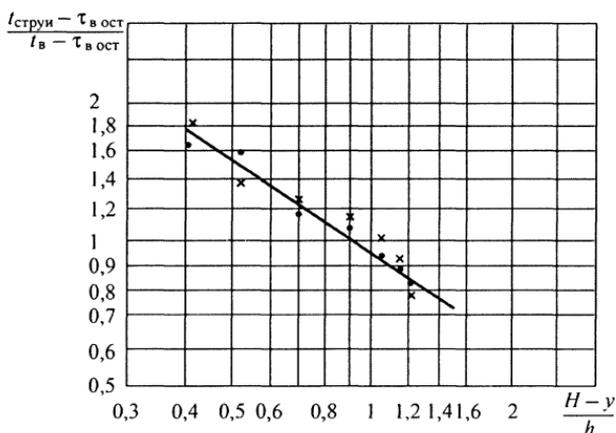


Рис. 3.11. Изменение температуры по оси неизотермической ниспадающей струи у поверхности светового проема с двойным и тройным остеклением:

● — двойное остекление; × — тройное остекление

Скорость опускающейся гравитационной струи определяем по уравнению (3.6), толщину приоконного гидродинамического слоя и критерий Нуссельта — по уравнениям (3.7) и (3.8), для окна с двойным остеклением без отопительного прибора на основе экспериментальных данных принимаем  $n = \frac{1}{8}$ ;  $\omega = -0,66$  и  $A = 0,952$ . Вычисляем:

$$x = \frac{2n}{n+1} = \frac{2 \cdot \frac{1}{8}}{\frac{1}{8} + 1} = 0,22; \quad m = \frac{\omega + 1}{2} = \frac{-0,66 + 1}{2} = 0,17;$$

$$P = \frac{1 - xm}{x + 1} = \frac{1 - 0,22 \cdot 0,17}{0,22 + 1} = 0,79;$$

$$Z_1 = \frac{m - np}{(2n + 1)(n + 1)} = \frac{0,17 - \frac{1}{8} \cdot 0,79}{\left(2 \cdot \frac{1}{8} + 1\right)\left(\frac{1}{8} + 1\right)} = -0,051$$

$$\text{и } Z_2 = \frac{\omega(n + 1) - np - nm}{(2n + 1)(n + 1)} =$$

$$= \frac{-0,66 \cdot 1,125 - \frac{1}{8} \cdot 0,79 - \frac{1}{8} \cdot 0,17}{\left(2 \cdot \frac{1}{8} + 1\right)\left(\frac{1}{8} + 1\right)} = -0,613.$$

Исследования, проведенные Никурадзе\*, показали, что если показатель степени  $n = \frac{1}{8}$ , то  $B = 9,71$ . У окон с двойным и тройным остеклением без отопительного прибора скорость на внешней границе гидродинамического слоя:

$$u_m = 0,92Gr^{\frac{1}{2}} \left(0,6 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051\right)^{-\frac{1}{2}} \frac{v}{h} \left(\frac{H - y}{h}\right)^{0,17}. \quad (3.12)$$

\* *Nikuradse G.* Gesetzmässigkeit der turbulenten stromung in geaten Rohren. «Arb. Ing. Wes», 1932, Bd.359, S. 113—117.

Толщину приконного гидродинамического слоя определяют из уравнения (3.7), предварительно вычислив:

$$(-Z_2)^{-\frac{1}{x+1}} = 0,6^{-\frac{1}{0,22+1}} = \frac{1}{0,66};$$

$$B^{\frac{x-2}{1+x}} = \frac{1}{2,76}; \left( \frac{A}{n+1} Gr \right)^{-\frac{x}{2(1+x)}} = \left( \frac{0,95}{\frac{1}{8} + 1} Gr \right)^{-\frac{0,22}{2(1+0,11)}} = \frac{1}{0,98} Gr^{-0,09};$$

$$Pr^{\frac{2}{3} \frac{1}{3(1+x)}} = Pr^{\frac{2}{3} \frac{1}{(1+0,22)}} = Pr^{-0,61}; Pr_t^{-\frac{1}{1+x}} = Pr_t^{-\frac{1}{1+0,22}} = Pr_t^{-0,82}$$

$$(Z_1 - Z_2 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t)^{\frac{x}{2(1+x)}} = (0,61 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051)^{\frac{0,22}{2(1+0,22)}} = (0,6 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051)^{0,09}$$

$$\delta_m = 0,04 h Gr^{-0,09} Pr^{-0,61} Pr_t^{-0,82} \left( 0,6 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051 \right)^{0,09} \left( \frac{H-y}{h} \right). \quad (3.13)$$

Определим составляющие уравнения (3.8):

$$\left( \frac{A}{n+1} Gr \right)^{\frac{1}{2} \frac{1}{1+x}} = \left( \frac{0,95}{\frac{1}{8} + 1} Gr \right)^{\frac{1}{2} \frac{1}{1+0,22}} = 0,92 Gr^{0,4}$$

$$\left( Z_1 - Z_2 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t \right)^{\frac{1}{2} \frac{1}{1+0,22}} = \left( 0,6 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051 \right)^{-0,4};$$

$$Pr^{\frac{1}{2} \frac{3x+1}{1+x}} = Pr^{\frac{1}{2} \frac{3 \cdot 0,22+1}{1+0,22}} = Pr^{0,45}; Pr_t^{-\frac{1}{1+x}} = Pr_t^{-\frac{1}{1+0,22}} = Pr_t^{-0,82}$$

$$p + m - 1 = 0,79 + 0,17 - 1 = -0,04.$$

Затем найдем локальное значение теплоотдачи:

$$Nu = 0,031 Gr^{0,4} Pr^{0,45} Pr_t^{-0,82} \left( 0,6 Pr^{\frac{2}{3}} Pr_t + 0,051 \right)^{-0,4} \times \left( \frac{H-y}{h} \right)^{-0,04}. \quad (3.14)$$

В формулах (3.12), (3.13) и (3.14) входят критерий Прандтля  $Pr$  и турбулентный критерий Прандтля  $Pr_t$ . Если значение числа Прандтля отличается от единицы, то вводят поправку в виде множителя  $Pr^{\frac{2}{3}}$ .

Перенос теплоты в неизотермической турбулентной струе совершается более интенсивно, чем перенос импульса. Поэтому турбулентное число Прандтля изменяется от 0,5 и выше. Б. Н. Юдаев считает, что приближенно турбулентное число Прандтля на необходимых расстояниях от стенки равно  $Pr_t = 0,9$  и на более дальних расстояниях  $Pr_t = 1$ . Л. А. Вулас\* показал, что лучшее количественное совпадение с опытами дает выбор численного значения турбулентного числа Прандтля в пределах 0,5—1,0. На основе экспериментальных исследований затопленных струй З. Б. Сакипов\*\* рекомендует принимать турбулентное число Прандтля равным от 0,72 до 0,75.

Однако на практике иногда при расчетах турбулентное число Прандтля принимают 0,5. Согласно теории завихренности Тейлора\*\*\*, значение коэффициента турбулентного обмена тепла  $a_\epsilon$  в 2 раза больше, чем  $v_\epsilon$ . Отсюда:  $\frac{a_\epsilon}{v_\epsilon} = 2$ , а  $Pr_t = 0,5$ .

Г. Райхардт\*\*\*\* теоретически и экспериментально обосновал распределение теплоты в неизотермических струях, что позволило ему установить связь между распределением температуры и скоростью:

$$\frac{t - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left( \frac{u}{u_m} \right)^{\frac{v_\epsilon}{a_\epsilon}} = \left( \frac{u}{u_m} \right)^{Pr_t}. \quad (3.15)$$

\* Вулас Л. А. Закономерности аэродинамических газовых факелов. В кн.: Теория и практика сжигания газов, М., 1958. С. 117.

\*\* Сакипов З. Б. Экспериментальное исследование турбулентных струй. В кн.: Теория и расчет вентиляционных струй, ЛИОТ, Л.: Стройиздат, 1965. с.157.

\*\*\* Thermal Environment and Comfort in the Home. «The Heating and Ventilating Engineer and Journal of Air Conditioning». 1970. vol.44, No 517, pp.134—137.

\*\*\*\* Reichardt H. Impuls und Wärmeaustausch in freier Turbulenz. ZAMM, 24. 1944. S.268.

Как уже говорилось, экспериментальные исследования в климатической камере установили, что профиль температуры в приконном пограничном слое описывается уравнением (3.9) и по аналогии с распределением температуры профиль скорости можно описать уравнением (3.10). Если в уравнение Райхардта (3.15) подставить уравнение распределения скорости в приконном слое  $u = u_m (x / \delta_m)^{\frac{1}{8}}$ , то получим:

$$\frac{t - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left[ \frac{u_m \left( \frac{x}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{8}}}{u_m} \right]^{\text{Pr}_t} = \left[ \left( \frac{x}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{8}} \right]^{\text{Pr}_t}. \quad (3.16)$$

Отложим по оси ординат безразмерную температуру  $(t - \tau_{\text{в.ост}}) : (t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}})$  и по оси абсцисс безразмерное  $(x / \delta_m)^{\frac{1}{8}}$ . По числовым значениям (рис. 3.12) строим график и определяем турбулентное число Прандтля. Для светового проема с двойным и тройным остеклением без отопительного прибора турбулент-

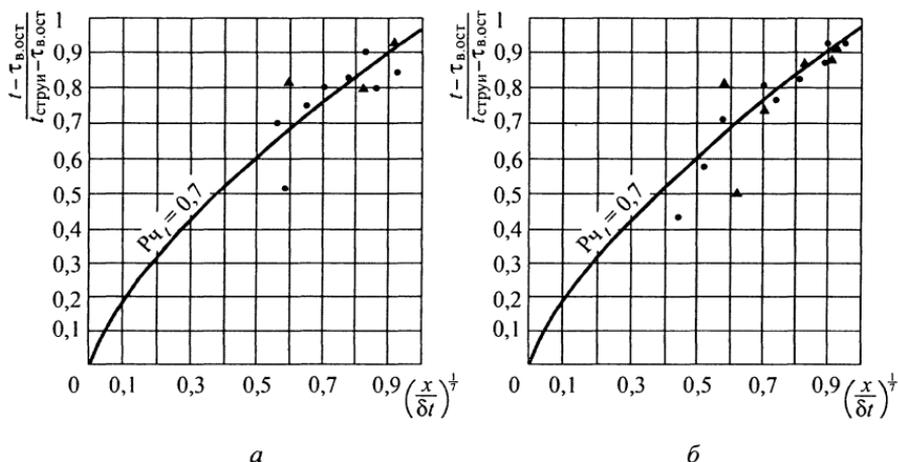


Рис. 3.12. Турбулентное число Прандтля при неизотермической ниспадающей струе у поверхности светового проема с двойным (а) и тройным (б) остеклением

ное число Прандтля  $Pr_t = 0,7$  и значение критерия Прандтля  $Pr = 0,705$  подставим в уравнения (3.12), (3.13) и (3.14).

Из уравнений теплообмена между неизотермической струей и окном с двойным и тройным остеклением без отопительного прибора можно определить:

- скорость на внешней границе гидродинамического слоя

$$u_m = 1,48Gr^{\frac{1}{2}} \frac{y}{h} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{0,17}; \quad (3.17)$$

- толщину приоконного гидродинамического слоя

$$\delta_m = 0,06hGr^{-0,09} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{0,79}; \quad (3.18)$$

- локальное значение критерия Нуссельта

$$Nu = 0,05Gr^{0,4} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{-0,04}; \quad (3.19)$$

- локальное значение коэффициента теплообмена конвекцией

$$\alpha_{\text{в.ост.к}} = 0,05Gr^{0,4} \frac{\lambda_{\text{воз}}}{h} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{-0,04}. \quad (3.20)$$

### ***3.3.3. Осложненный конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна при воздействии восходящей воздушной струи от отопительного прибора***

При конвективном теплообмене у внутренней поверхности остекления, граничащей с замкнутым объемом помещения (высотой, полом и потолком), возникает неизотермическая восходящая струя от отопительного прибора, расположенного под подоконником (см. рис. 3.7). Расчетная схема при теплообмене между внутренней поверхностью остекления с температурой  $\tau_{\text{в.ост}}$  и неизотермической восходящей струей с температурой и скоростью ( $t_{\text{струи}}$  и  $u_{\text{струи}}$ ) и текущей температурой и скоростью ( $t$  и  $u$ ) в поперечном сечении принята с началом

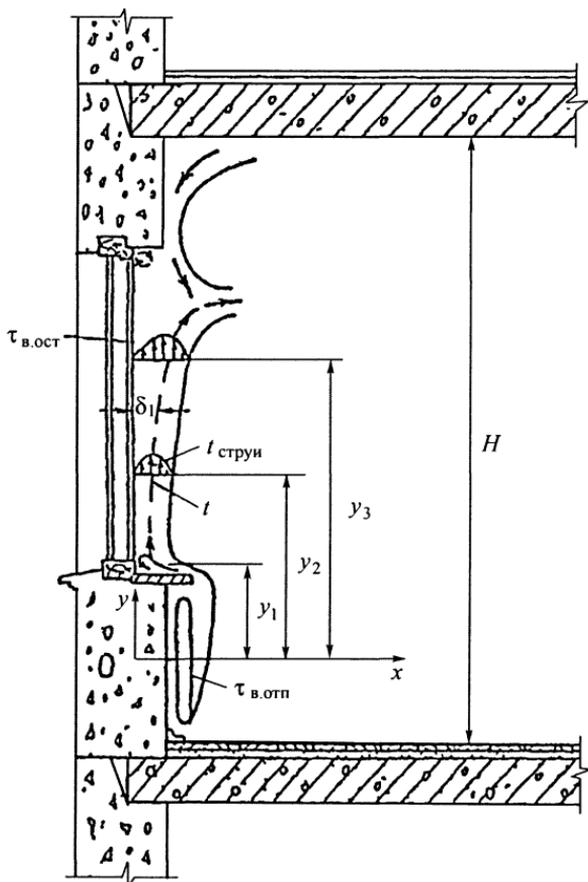


Рис. 3.13. Схема развития неизотермической восходящей струи от отопительного прибора вдоль вертикальной поверхности остекления

координат на пересечении оси ординат ( $y$ ) в плоскости внутренней поверхности остекления и оси абсцисс ( $x$ ) в плоскости пола (рис. 3.13).

Для построения профиля температуры в приоконном пограничном слое используем замеры температур, полученные по семи сечениям в зоне окна с двойным и тройным остеклением (рис. 3.14) и аппроксимируем их следующим уравнением:

$$\frac{t - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left( \frac{x}{\delta_1} \right)^{\frac{1}{5}}. \quad (3.21)$$

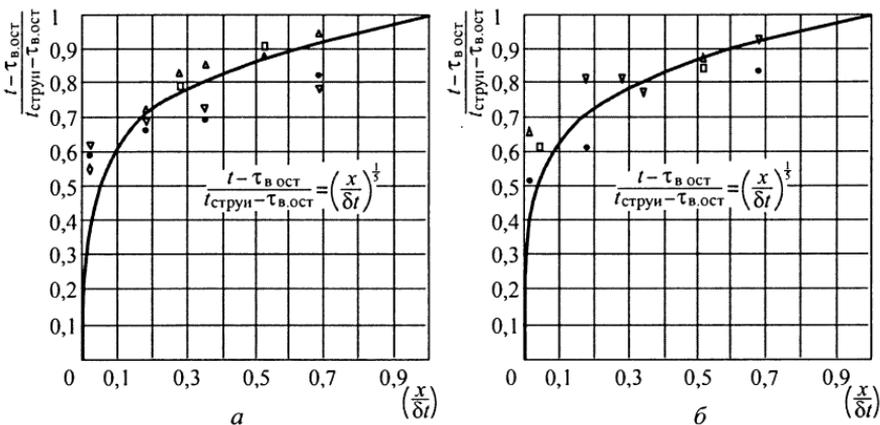


Рис. 3.14. Профиль температуры при восходящей неизоотермической струе от отопительного прибора у внутренней поверхности светового проема с двойным (а) и тройным (б) остеклением

По аналогии с температурой профиль скорости при турбулентном приоконном слое можно описать уравнением

$$\frac{u}{u_m} = \left( \frac{x}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{5}}. \quad (3.22)$$

Характер режима около внутренней поверхности окна с двойным и тройным остеклением и отопительным прибором установим по критериям Грасгофа и Прандтля:

$$Gr \cdot Pr = \frac{g\beta y^3 (\tau_{в.отп} - \tau_{в.ост})}{\nu^2} Pr. \quad (3.23)$$

В качестве определяющей температуры принята температура внутренней поверхности остекления ( $\tau_{в.ост}$ ). Величины критериев  $Gr \cdot Pr$  при  $t_b = 16^\circ\text{C}$  и  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ;  $t_b = 17,5^\circ\text{C}$  и  $t_n = -26^\circ\text{C}$ ;  $t_b = 18,9^\circ\text{C}$  и  $t_n = -9,87^\circ\text{C}$ , отложенные по высоте окна, позволяют установить характер режима (рис. 3.15). Установлено, что величина критерия  $Gr \cdot Pr$  изменяется от  $4 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^9$  у нижнего переплета до  $1,5 \cdot 10^{10} - 2,2 \cdot 10^{10}$  у 0,75 м высоты окна.

В работах М. А. Михеева и И. М. Михеевой режим  $Gr \cdot Pr \geq 10^9$  относится к турбулентному. Таким образом, около внутренней поверхности двойного и тройного остекления с отопительным прибором имеет место турбулентный режим.

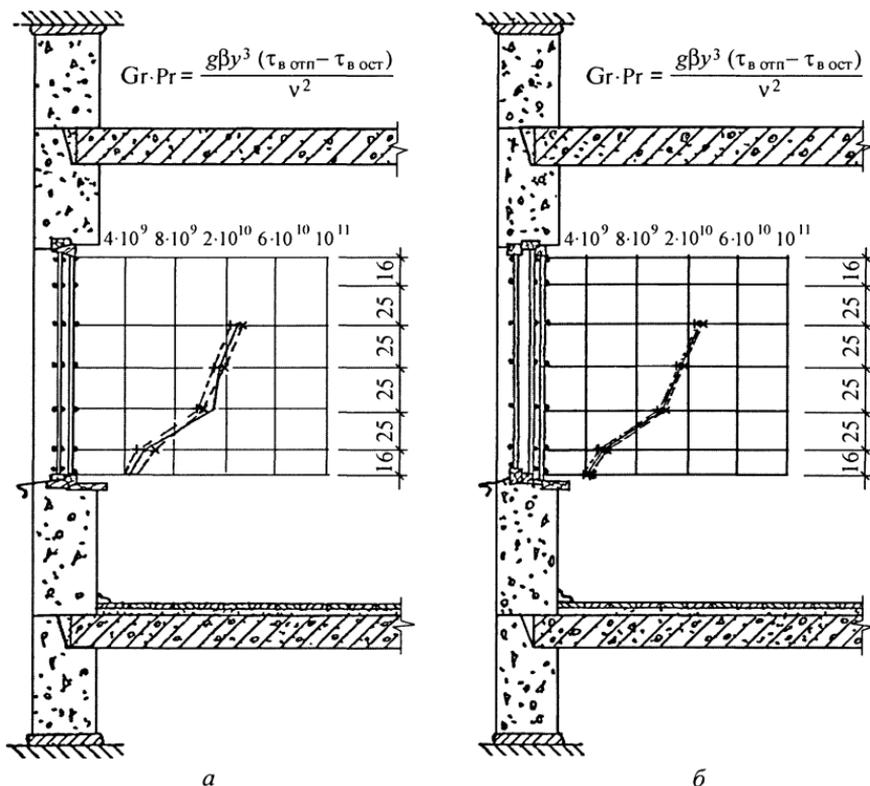


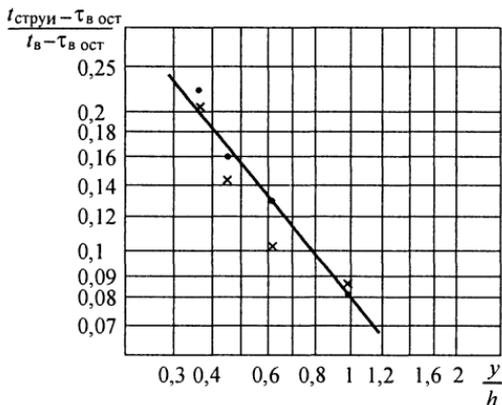
Рис. 3.15. Тепловой режим у внутренней поверхности окна при неизотермической восходящей струе от отопительного прибора:

*а* — двойное остекление в деревянных спаренных переплетах; *б* — тройное остекление в деревянных переплетах (спаренный и одинарный)

Изменение температуры у турбулентной струи вдоль вертикальной поверхности светового проема с двойным и тройным остеклением от отопительного прибора, согласно данным эксперимента (рис. 3.16), аппроксимируется уравнением

$$\frac{t_{\text{струи}} - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left(\frac{y}{h}\right)^{-0,145} \quad (3.24)$$

Для определения скорости по оси восходящей турбулентной струи, толщины приоконного гидродинамического слоя и величины критерия Нуссельта в уравнения (3.6), (3.7) и (3.8) подставляем экспериментальные данные  $n = \frac{1}{5}$ ;  $\omega = 1,29$ ;  $A = 0,098$ .



**Рис. 3.16.** Изменение температуры по оси неизотермической восходящей струи от отопительного прибора у поверхности светового проема с двойным и тройным остеклением:

• — двойное остекление; × — тройное остекление

$$\text{Вычисляем: } x = \frac{2n}{n+1} = \frac{2 \cdot 0,2}{0,2+1} = 0,33;$$

$$m = \frac{\omega + 1}{2} = \frac{-1,29 + 1}{2} = -0,145;$$

$$p = \frac{1 - xm}{x + 1} = \frac{1 - 0,33(-0,145)}{0,2 + 1} = 0,87;$$

$$Z_1 = \frac{m + np}{(2n+1)(n+1)} = \frac{-0,145 - 0,2 \cdot 0,87}{(2 \cdot 0,2 + 1)(0,2 + 1)} = -0,189;$$

$$Z_2 = \frac{\omega(n+1) - np - mn}{(2n+1)(n+1)} = \frac{-1,29(0,2+1) - 0,2 \cdot 0,87 + 0,145 \cdot 0,2}{1,68} = -1,01;$$

$$p + m - 1 = 0,87 - 0,145 = -0,275.$$

При  $n = 1/5$ , по данным Никурадзе,  $B = 6,0$ . При этом скорость на внешней границе гидродинамического слоя у окна с двойным и тройным остеклением и отопительным прибором составит:

$$u_m = 0,285 \text{Gr}^{\frac{1}{2}} \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{v}{h} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,145}. \quad (3.25)$$

Из уравнения (3.7) найдем толщину приконного гидродинамического слоя, предварительно вычислив:

$$\begin{aligned}
 (-Z_2)^{\frac{x}{x+1}} &= 1,01^{\frac{0,33}{0,33+1}} = 1,01; \quad B^{\frac{x-2}{1+x}} = 6^{\frac{0,33-2}{1+0,33}} = \frac{1}{9,39}; \\
 \left( \frac{A}{n+1} \text{Gr} \right)^{-\frac{x}{2(1+x)}} &= \left( \frac{0,098}{0,2+1} \text{Gr} \right)^{-\frac{0,33}{2(1+0,33)}} = \frac{1}{0,73} \text{Gr}^{-0,124}; \\
 \text{Pr}^{-\frac{2}{3} \frac{1}{1+x}} &= \text{Pr}^{-\frac{2}{3} \frac{1}{1+0,33}} = \text{Pr}^{-0,5}; \quad \text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+x}} = \text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+0,33}} = \text{Pr}_t^{-0,75}; \\
 \left( Z_1 - Z_2 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t \right)^{\frac{1}{2(1+x)}} &= \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{\frac{0,33}{2(1+0,33)}} \\
 &= \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{0,124}; \\
 \delta_m &= 0,096 \text{Gr}^{-0,124} \text{Pr}^{-0,5} \text{Pr}_t^{-0,75} \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{0,124}. \quad (3.26)
 \end{aligned}$$

Найдем в уравнении (3.8) составляющие:

$$\begin{aligned}
 \left( \frac{A}{n+1} \text{Gr} \right)^{\frac{1}{2} \frac{1}{1+x}} &= \left( \frac{0,098}{0,2+1} \text{Gr} \right)^{\frac{1}{2} \frac{1}{1+0,33}} = 0,39 \text{Gr}^{0,375}; \\
 \left( Z_1 - Z_2 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t \right)^{-\frac{1}{2} \frac{1}{1+x}} &= \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{-0,375}; \\
 \text{Pr}^{\frac{1}{3} \frac{3x+1}{1+x}} &= \text{Pr}^{\frac{1}{3} \frac{3 \cdot 0,33+1}{1+0,33}} = \text{Pr}^{-0,75}; \quad \text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+x}} = \text{Pr}_t^{-\frac{1}{1+0,33}} = \text{Pr}_t^{-0,75}; \\
 p + m - 1 &= 0,87 - 0,145 - 1 = -0,275.
 \end{aligned}$$

Затем определим локальное значение критерия Нуссельта:

$$\text{Nu} = 0,042 \text{Gr}^{0,375} \text{Pr}^{-0,5} \text{Pr}_t^{-0,75} \left( 1,01 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \text{Pr}_t - 0,189 \right)^{-0,375} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,275}. \quad (3.27)$$

По аналогии с предыдущим подставим в уравнение (3.15) величину (3.22) и получим

$$\frac{t - \tau_{\text{в.ост}}}{t_{\text{стру}} - \tau_{\text{в.ост}}} = \left[ \left( \frac{x}{\delta_m} \right)^{\frac{1}{5}} \right]^{\text{Pr}_t}. \quad (3.28)$$

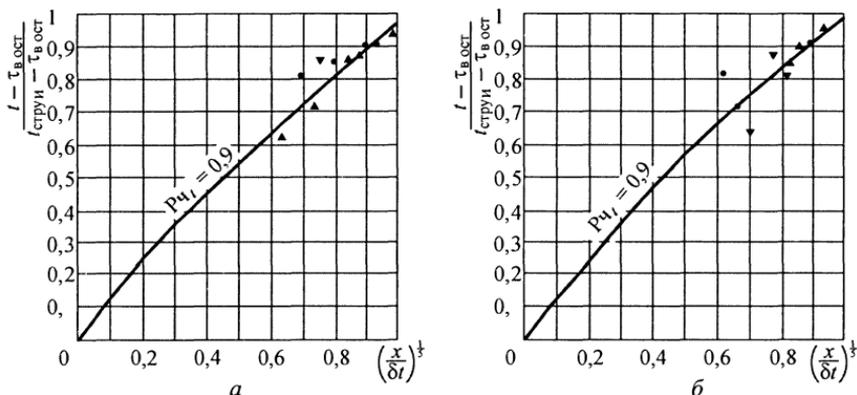


Рис. 3.17. Турбулентное число Прандтля при неизотермической восходящей струе от отопительного прибора у поверхности светового проема с двойным (а) и тройным (б) остеклением

По рис. 3.17 определяем турбулентное число Прандтля. Для светового проема с двойным и тройным остеклением и отопительным прибором  $Pr_t = 0,9$ , а  $Pr = 0,705$ . Полученные значения турбулентного числа Прандтля и критерий Прандтля подставляем в уравнения (3.25), (3.26) и (3.27).

Выполнив соответствующие преобразования, из уравнения теплообмена между неизотермической струей и световым проемом с двойным и тройным остеклением и отопительным прибором можно найти:

- скорость на внешней границе гидродинамического слоя

$$u_m = 0,4Gr^{\frac{1}{2}} \frac{\nu}{h} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,145}; \quad (3.29)$$

- толщину приконного гидродинамического слоя

$$\delta_m = 0,11hGr^{-0,124} \left( \frac{y}{h} \right)^{0,87}; \quad (3.30)$$

- локальное значение критерия Нуссельта

$$Nu = 0,048Gr^{0,37} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,27}; \quad (3.31)$$

- локальное значение коэффициента теплообмена конвекцией

$$\alpha_{в.ост.к} = 0,11hGr^{0,37} \frac{\lambda_{в}}{h} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,27}. \quad (3.32)$$

Величина критерия Грасгофа в уравнениях (3.29) — (3.32) характеризует подъемную силу, возникающую за счет разности плотностей воздуха у отопительного прибора и окна. Она зависит от теплоотдачи  $q_{\text{отп}}$  и коэффициента теплопередачи отопительного прибора  $K_{\text{отп}}$ . Конвективную теплоотдачу одного эквивалентного квадратного метра с площади поверхности отопительного прибора (Вт/экм) определяют по формуле

$$q_{\text{отп.к}} = K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) P,$$

откуда

$$\tau_{\text{в.отп}} = t_{\text{в}} + \frac{q_{\text{отп.к}}}{K_{\text{отп}} P}, \quad (3.33)$$

где  $P$  — конвективная составляющая отопительного прибора в процентах.

После соответствующих преобразований величина критерия Грасгофа примет вид:

$$\text{Gr} = \left\{ \frac{g\beta\gamma^3 [t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.отп}} + q_{\text{отп.к}} / (K_{\text{отп}} P)]}{\nu^2} \right\}^{0,37}. \quad (3.34)$$

Для радиаторов секционных и панельных колончатых проводятся расчеты  $q_{\text{отп}}$  и  $K_{\text{отп}}$ .

По уравнениям теплообмена (3.17)—(3.20) и (3.29)—(3.32) между окном и неизотермическими струями получены характеристики теплового режима в пограничном слое (рис. 3.18 и 3.19). Установлено, что при неизотермической струе, ниспадающей из верхних слоев помещения, локальные значения толщины гидродинамического слоя, скорости на внешней границе гидродинамического слоя, критерия Нуссельта и коэффициентов теплообмена конвекцией (см. рис. 3.18) у поверхности остекления увеличиваются сверху вниз. Другой характер теплового режима у окна наблюдается, когда неизотермическая восходящая струя от отопительного прибора поднимается вверх (рис. 3.19). Локальные характеристики теплообмена повышаются по высоте окна снизу вверх.

На основе анализа уравнений теплообмена (3.17) и (3.29) установлено, что скорости на внешней границе гидродинамического слоя при неизотермической ниспадающей и восходящей струях посередине окна составляют соответственно 0,52 и 0,59 м/с.

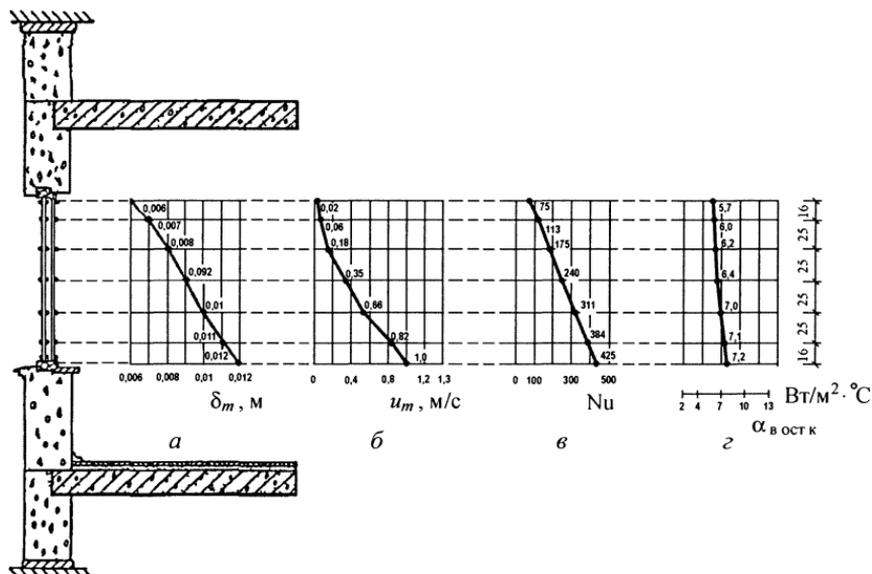


Рис. 3.18. Изменение у внутренней поверхности окна с двойным остеклением толщины гидродинамического слоя (а), скорости на внешней границе гидродинамического слоя (б), критерия Нуссельта (в), коэффициента теплоотдачи конвекцией (г) при неизотермической ниспадающей струе

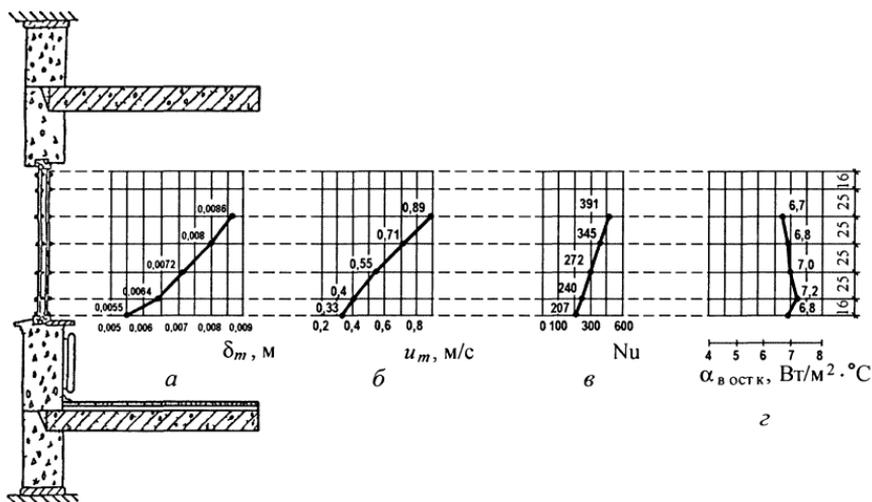


Рис. 3.19. Изменение у внутренней поверхности окна с двойным остеклением толщины гидродинамического слоя (а), скорости на внешней границе гидродинамического слоя (б), критерия Нуссельта (в), коэффициента теплоотдачи конвекцией (г) при неизотермической восходящей струе от отопительного прибора

При этом средние коэффициенты теплоотдачи конвекцией соответственно равны 6,1 и 6,6 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Коэффициент теплообмена излучением определим из условий, что внутренние поверхности остекления и наружной стены находятся не в одной плоскости; между поверхностью остекления и откосами (вертикального и горизонтального), а также подоконником происходит взаимооблучение:

$$\alpha_{\text{в.ост.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ост}}} + \frac{1}{C_{\text{в.п}}} - \frac{1}{C_o}} \times \left[ \frac{\left( \frac{\tau_{\text{в.п}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в.ост}} + 273}{100} \right)^4}{\tau_{\text{в.п}} - \tau_{\text{в.ост}}} \right] \varphi_{\text{ост-в.п}} \quad (3.35)$$

В замкнутом объеме помещения  $\tau_{\text{в.п}}$  является средней температурой внутренних поверхностей помещения и для углового коэффициента облучения  $\varphi_{\text{ост-в.п}}$  можно принять следующее равенство:

$$\varphi_{\text{ост-в.п}} = 1 - \varphi_{\text{ост-отк.гор}} - 2\varphi_{\text{ост-отк.вер}} - \varphi_{\text{ост-под}}, \quad (3.36)$$

где  $\varphi_{\text{ост-отк.гор}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности остекления на горизонтальную поверхность оконного откоса;  $\varphi_{\text{ост-отк.вер}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности остекления на вертикальную поверхность оконного откоса;  $\varphi_{\text{ост-под}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности остекления на поверхность подоконника.

Значение угловых коэффициентов облучения между внутренней поверхностью остекления и горизонтальным откосом ( $\varphi_{\text{ост-отк.гор}}$ ), вертикальным откосом ( $\varphi_{\text{ост-отк.вер}}$ ) и подоконником ( $\varphi_{\text{ост-под}}$ ) определяются по графикам прил. П1—12.

Величина коэффициента теплообмена излучением внутренней поверхности остекления для заполнения светового проема размером 1,4 × 2,2 м  $\alpha_{\text{в.ост.к}} = 2,4$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Таким образом с учетом конвективной и лучистой составляющей теплообмена значение среднего коэффициента теплообмена посередине окна колеблется от 8,9 до 9,2 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

При теплотехнических исследованиях в климатической камере для окна с двойным остеклением в деревянных спаренных

переплетах и окна с тройным остеклением в деревянных пере-  
плетах (спаренный и одинарный) получены такие же результаты.

Среднее значение коэффициента теплообмена определялось по формуле

$$\alpha_{\text{в.ост}} = \frac{\int_0^{1,32} q dx}{\int_0^{1,32} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) dx} \quad (3.37)$$

Значения перепада температуры определялись по замерам температуры на поверхности остекления и воздуха помещения (рис. 3.20), тепловые потоки — по светопрозрачным тепломерам. Средняя величина коэффициента теплоотдачи посередине окна с двойным и тройным остеклением при неизотермической ниспадающей и восходящей струях колеблется от 7,8 до 8,3 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

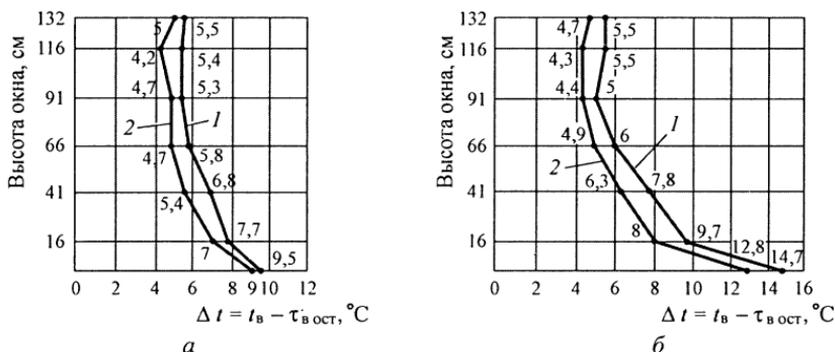


Рис. 3.20. Изменение температурного перепада по высоте окна между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности двойного (1) и тройного (2) остекления при неизотермических ниспадающей (а) и восходящей (б) струях

Проделанный анализ позволил в качестве расчетного среднего коэффициента теплообмена у внутренней поверхности посередине окна при неизотермических ниспадающей и восходящей струях рекомендовать

$$\alpha_{\text{в.ост}} = 8,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

По полученным значениям коэффициентов теплообмена ( $\alpha_{\text{в.ост.к}}$ ,  $\alpha_{\text{в.ост.л}}$  и  $\alpha_{\text{в.ост}}$ ) можно определить температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом средней температуры по-

мещения. Количество теплоты, проходящей через окно, определяют по формуле

$$Q = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}}, \quad (3.38)$$

где  $R_{\text{о.ост}}$  — сопротивление теплопередаче окна,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Количество теплоты, воспринимаемой внутренней поверхностью окна,

$$Q_{\text{в}} = \alpha_{\text{в.ост.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) + \alpha_{\text{в.ост.л}} (\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} - \tau_{\text{в.ост}}), \quad (3.39)$$

где  $\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}}$  — температура всех внутренних поверхностей помещения за вычетом температуры поверхности окна,  $\text{°C}$ .

По условию теплового баланса уравнения (3.39) равны (3.40):

$$\frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} = \alpha_{\text{в.ост.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) + \alpha_{\text{в.ост.л}} (\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} - \tau_{\text{в.ост}}). \quad (3.40)$$

Из выражения (3.40) получаем формулу для определения температуры внутренней поверхности посередине окна:

$$\tau_{\text{в.ост}} = \left( \alpha_{\text{в.ост.к}} t_{\text{в}} - \alpha_{\text{в.ост.л}} \tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} \right) \frac{1}{\alpha_{\text{в.ост}}}, \quad (3.41)$$

где  $\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}}$  определяется по следующему соотношению:

$$\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} = \frac{\tau_{\text{в}} F_{\text{в}} + \tau_{\text{в.пер}} F_{\text{пер}} + \tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{в}} + F_{\text{пер}} + F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{отп}}}. \quad (3.42)$$

### **3.3.4. Анализ полученных уравнений конвективного теплообмена у внутренней поверхности окна при ниспадающей и восходящей неизотермических струях**

Проанализируем уравнения (3.1a), (3.2), (3.3), (3.3a), (3.4б), (3.19) и (3.20) на примере теплообмена окна с двойным остеклением в деревянных отдельных переплетах размером  $1,42 \times 2,02$  м, находящегося в помещении высотой  $H = 2,6$  м и неизотермической ниспадающей струей от общего конвективного кольца. Примем температуру внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$  и температуру внутренней поверхности остекления посередине окна  $\tau_{\text{в.ост}} = 10 \text{ °C}$ .

Полученные сравнительные результаты расчета по этим уравнениям, приведенные на рис. 3.21, характеризуют измене-

ния критерия Нуссельта и коэффициента теплообмена конвекцией по высоте окна. Анализ графиков показывает, что коэффициенты теплообмена конвекцией, определенные по эмпирической формуле для турбулентного режима М. А. Михеева (3.1а) и приближенной формуле турбулентного режима П. М. Брдлика (3.2), по высоте окна не изменяются и соответственно равны 4.3 и 3.7 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Результаты точного решения для условий естественной конвекции при ламинарном режиме, выполненные Е. М. Спэрроу и Е. Л. Греггом, а также приближенного аналитического решения для турбулентного режима Э. Р. Эккерта и В. О. Карлсона (3.3а), показали, что интенсивность коэффициента теплообмена по направлению неизотермической струи незначительно увеличивается. Вычисленный коэффициент теплоотдачи по формуле ламинарной естественной конвекции Эккерта и Дрейка (3.3) по направлению неизотермической струи уменьшается. Полученные значения коэффициентов теплообмена конвекцией в средней части окна колеблются от 2,1 до 2,6 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Анализ рассмотренных формул показал, что они получены из условия образования конвективных токов от охлажденной или нагретой поверхности. В них не учитывается ниспадающая неизотермическая струя от общего конвективного кольца помещения, которая опускается вдоль остекленной поверхности, и поэтому значения коэффициентов теплообмена конвекцией оказываются заниженными.

Коэффициент теплообмена конвекцией, определенный по аналитическому решению (3.20), полученному автором, посередине окна составил 6,6 Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Отличие полученных результатов объясняется тем, что формулы Спэрроу и Грегга (3.3а), Михеева (3.1а), Брдлика (3.2), Эккерта и Карлсона (3.3а) и Эккерта и Дрейка (3.3) не учитывают размеры разгонного участка, образующегося между плоскостью горизонтального откоса окна и потолком.

От общего конвективного кольца за счет разности плотности воздуха в верхней части помещения и около окна ( $\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{в.ост}}$ ) у внутренней поверхности остекления на высоте  $(H - y)$  возникает неизотермическая струя, которая опускается с силой  $(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{в.ост}})$ . При этом коэффициент объемного расширения воздуха  $\beta = (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{в.ост}}) / \rho_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{в.ост}})$ . Ее опускаемую силу выразим через разность температур в виде  $\rho_{\text{в}} g \beta (t_{\text{в}} - t_{\text{в.ост}})$ , и с учетом характерного

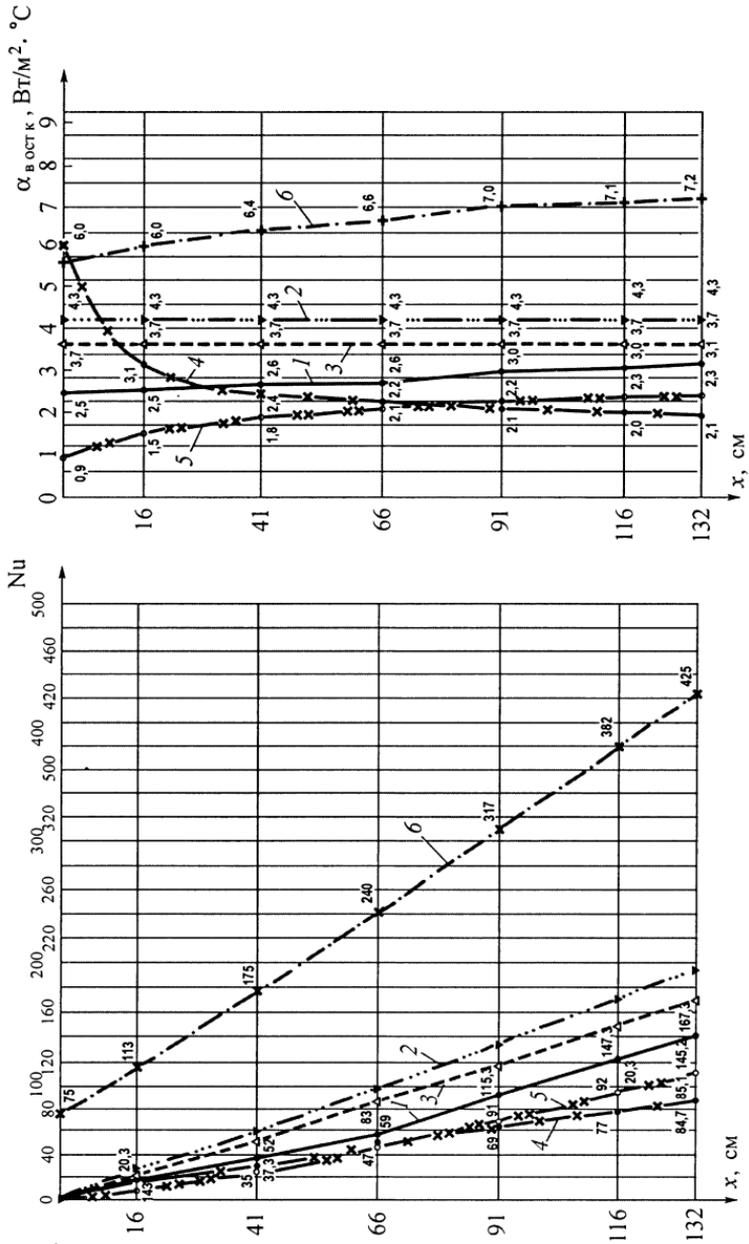


Рис. 3.21. Изменение критерия Нуссельта ( $\alpha$ ) и коэффициента теплоотдачи конвекцией ( $\beta$ ) по высоте окна: 1 — по данным Е. М. Спэрроу и Е. Л. Грегга с уточненными экспериментальными данными автора; 2 — по данным М. А. Михеева; 3 — по данным П. М. Брдлика; 4 — по данным Э. Р. Эккерта и Р. М. Дрейка; 5 — по данным Э. Р. Эккерта и В. О. Карлсона; 6 — по данным П. Н. Умнякова; по оси  $x$  — высота остекления

размера разгонного участка  $(H - y)$  получим  $\rho_v g \beta (t_b - \tau_{в.ост}) (H - y)$ . В условиях свободной конвекции в помещении сила опускаемого воздушного потока заменяется импульсом при вынужденной конвекции. Критерий Грасгофа характеризует отношение ее опускаемой силы к силе внутреннего трения на единицу площади остекления и его можно записать  $Gr = g \beta \rho^2 (t_b - \tau_{в.ост}) \times (H - y)^3 / \mu^2$  или  $Gr = g \beta \rho^2 (t_b - \tau_{в.ост}) (H - y)^2 / \nu^2$ . Таким образом в предложенных формулах (3.19) и (3.20) характерный размер разгонного участка учитывается параметром  $(H - y)$ .

Наличие разгонного участка подтверждает рис. 3.21, где толщина приоконного гидродинамического слоя, скорость на внешней границе гидродинамического слоя и безразмерный коэффициент теплоотдачи в верхней части окна не равны нулю.

Графики, изображенные на рис. 3.21, построены по уравнениям (3.1а), (3.2), (3.3), (3.3а) и (3.4б), наглядно иллюстрируют, что размеры разгонного участка не учитываются. Величины критерия Нуссельта в начале координат — верхней части окна — соответствуют нулю.

Насмотренные выше уравнения (3.1а), (3.2), (3.3), (3.3а) и (3.4б) не учитывают размеры разгонного участка и дают заниженные значения коэффициента теплообмена конвекцией у внутренней поверхности остекления. Поэтому при определении характеристик теплообмена у внутренней поверхности окна пользоваться ими не рекомендуется.

Полученные на основе теории размерности формулы (3.19) и (3.20) определения теплообмена у внутренней поверхности остекления, граничащего с замкнутыми объемом помещения высотой  $H$ , с полом и потолком, где воздействует неизотермическая струя от общего конвективного кольца, можно использовать для практических инженерных расчетов. Для облегчения расчетов по формуле (3.20) построена циркулярная номограмма (рис. 3.22).

Проанализируем уравнения теплообмена (3.5) и (3.32) на примере теплообмена окна с двойным остеклением в деревянных раздельных переплетах размером  $1,42 \times 2,02$  м при восходящей неизотермической струе от отопительного прибора (радиатор чугунный секционный). Примем температуру внутреннего воздуха  $t_b = 18$  °С, а температуру внутренней поверхности остекления посередине окна  $\tau_{в.ост} = 11,5$  °С.

На рис. 3.23 приведено сопоставление результатов расчета критерия Нуссельта и коэффициента теплообмена конвекцией.

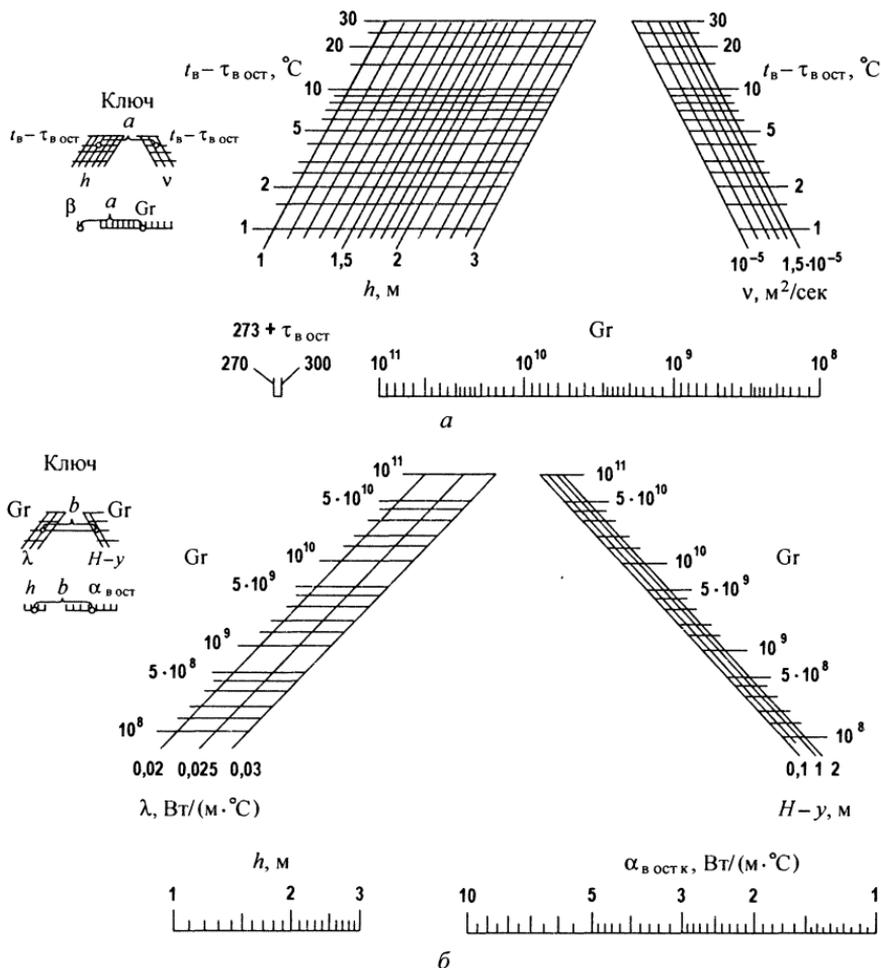


Рис. 3.22. Циркулярная номограмма для определения:

$a$  — критерия Грасгофа при неизотермической ниспадающей струе;  $b$  — теплоотдачи конвекцией внутренней поверхности окна при неизотермической ниспадающей струе

Анализ графиков показывает, что построенные по формуле (3.32) полученной автором, коэффициент теплообмена конвекцией по высоте окна практически не изменяется. Его численные значения колеблются по высоте окна довольно незначительно от 6,8 до 7,2 Вт/(м<sup>2</sup> · °C).

В отличие от полученного значения коэффициент теплообмена конвекцией, рассчитанный по формуле В. К. Савина (3.5),

изменяется по параболе (см. рис. 3.23). Коэффициент теплообмена конвекцией в нижней части окна, полученный по приближенной формуле, составил  $18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ . Такой характер изменения теплоотдачи можно объяснить тем, что в формуле (3.5) в критерий Грасгофа не входит параметр температуры на внутренней поверхности остекления. Подъемная сила, характеризующая критерий Грасгофа, отнесена к разности температур  $\tau_{\text{в.ост}} - t_{\text{в}}$ , а не к  $\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ост}}$ . Полученные результаты значительно отличаются от аналитического решения (3.32).

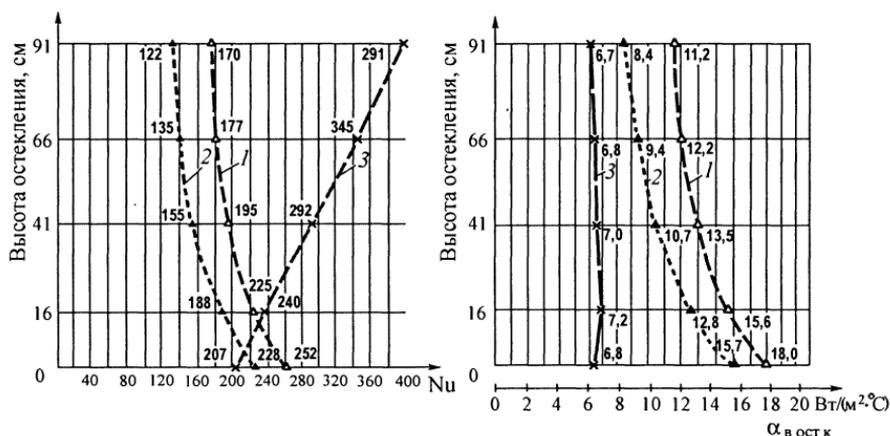
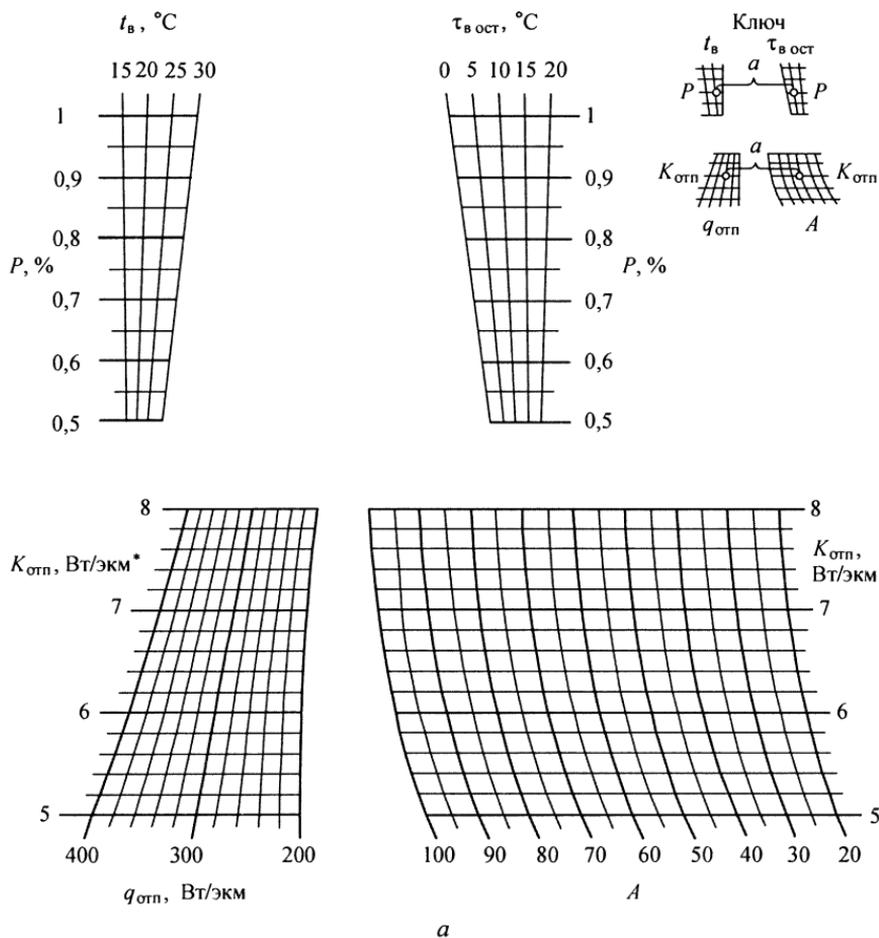


Рис. 3.23. Изменение критерия Нуссельта (а) и коэффициента теплоотдачи конвекцией (б) по высоте окна при неизотермической восходящей струе от отопительного прибора:

1, 2 — по данным В. К. Савина; 3 — по данным П. Н. Умнякова

Как уже отмечалось, около внутренней поверхности остекления при неизотермической восходящей струе произведение критериев  $G_r$  и  $P_r$  колеблется от  $4 \cdot 10^9$  до  $6 \cdot 10^{10}$ . При таком характере турбулентного течения по теории Прандтля возникает «путь перемешивания» — расстояние, на котором возникают турбулентные пульсации, считается постоянным перпендикулярно неизотермической струи до точки ее отрыва. Следовательно, локальный коэффициент теплообмена конвекцией у вертикальной поверхности остекления будет постоянным.

Для практических инженерных расчетов по определению коэффициентов конвективного теплообмена у внутренней поверхности остекления построена циркулярная номограмма (рис. 3.24).



**Рис. 3.24.** Циркулярная номограмма для определения:  
 $a$  —  $(t_b - \tau_{b, \text{ост}})P - q_{\text{отп}}/K_{\text{отп}} = A$ ;  $b$  — критерия Грасгофа;  $c$  — коэффициента конвективной теплоотдаче (Начало)

\* экм — эквивалентный квадратный метр (1 экм = 1 м<sup>2</sup>).

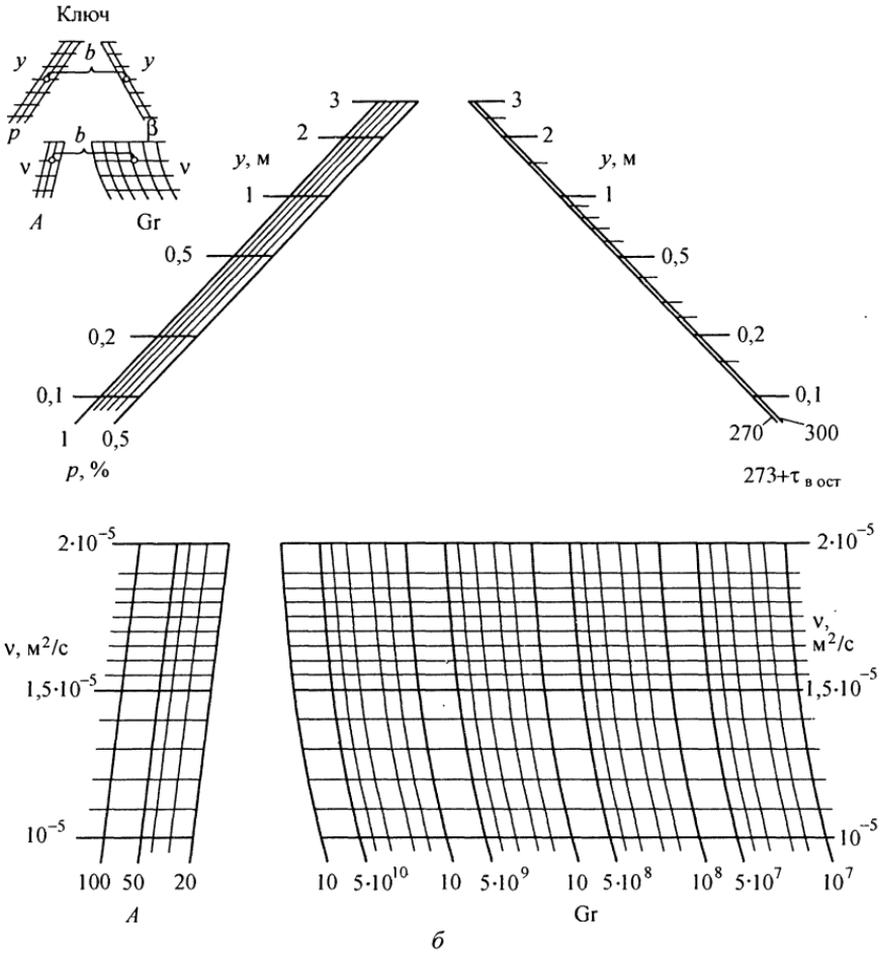


Рис. 3.24. (Продолжение)

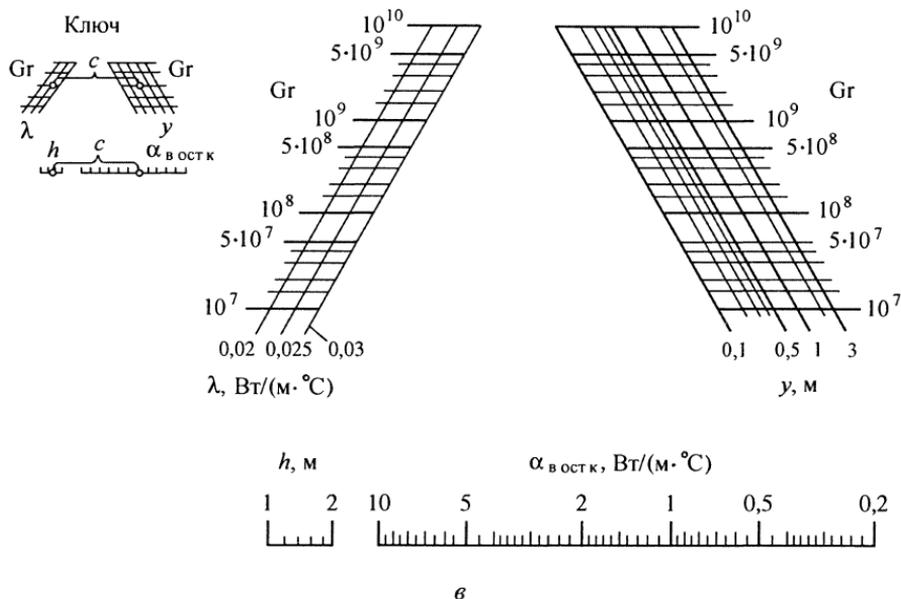


Рис. 3.24. (Окончание)

### 3.4. Воздухопроницаемость окон и температура внутренней поверхности остекления

Первые исследования по изучению теплотехнических свойств окон были проведены в лаборатории инфильтрации Центрального научного института промышленных сооружений Р. Е. Брилингом и Б. Ф. Васильевым\*. Систематические экспериментальные исследования по определению теплозащитных свойств оконных конструкций послужили основой для разработки норм фильтрации воздуха через окна. Расчет количества фильтрующего воздуха предлагается определять по формуле

$$\Delta p = AJ + BJ^2, \quad (3.43)$$

где  $A$  и  $B$  — коэффициенты, определяемые экспериментальным путем;  $J$  — расход воздуха через  $1 \text{ м}^2$  площади,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

\* Брилинг Р. Е. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и материалов. М.: Стройиздат, 1948.

В дальнейшем Е. И. Семеновой\* были получены формулы, позволяющие определить величину расхода воздуха

$$J = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4\Delta p}}{2B}, \quad (3.44)$$

где  $\Delta p$  — разность давлений внутреннего и наружного воздуха, Па.

Остановимся на результатах испытания деревянных, алюминиевых и деревоалюминиевых оконных конструкций, проведенных автором в НИИ строительной физики. Испытание оконных конструкций на воздухопроницаемость происходили на стенде АЛКО. Стенд представляет собой комбинированную герметическую камеру размером  $2,5 \times 2,0$  м, в открытый проем устанавливается оконный блок и пневматически прижимается по торцам специальной резиновой обоймой. Для проверки герметичности установки блока в камере зажигается дымовая шашка и создается разность давления. Если через торцы оконного блока не наблюдается утечки дыма, проводят испытания на воздухопроницаемость. Регулируемой подачей воздуха имитируются атмосферные условия. В процессе испытаний устанавливают заданный предел статического давления и через определенные интервалы времени измеряют расход воздуха. По полученным данным определяют коэффициент воздухопроницаемости.

Конструкция экспериментального деревоалюминиевого блока марки 0-386 (рис. 3.25) состоит из прессованного профиля из алюминиевого сплава и деревянных переплетов, остекление двойное (стекло толщиной 4...5 мм), уплотнитель притворов — полиуретановая прокладка, уплотнитель стекла — «Бутэпрол-1».

Испытания оконного блока на воздухопроницаемость проводили при перепадах статического давления 9,81...49,05 Па. Результаты его испытаний при различных заделках стекла в фальцах представлены на рис. 3.26. Коэффициенты воздухопроницаемости оконного блока составляют  $0,85 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$  при уплотнении стекол «Бутепролом-1» и  $0,65 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$  при уплотнении стекол «Бутепролом-2».

Экспериментальные деревоалюминиевые оконные блоки марок ЭРС 81-01 и ДОК-4 (разработаны МНИИТЭП) состоят из

\* *Семенова Е. И.* Воздухопроницаемость окон жилых и общественных зданий. М. Стройиздат, 1969.

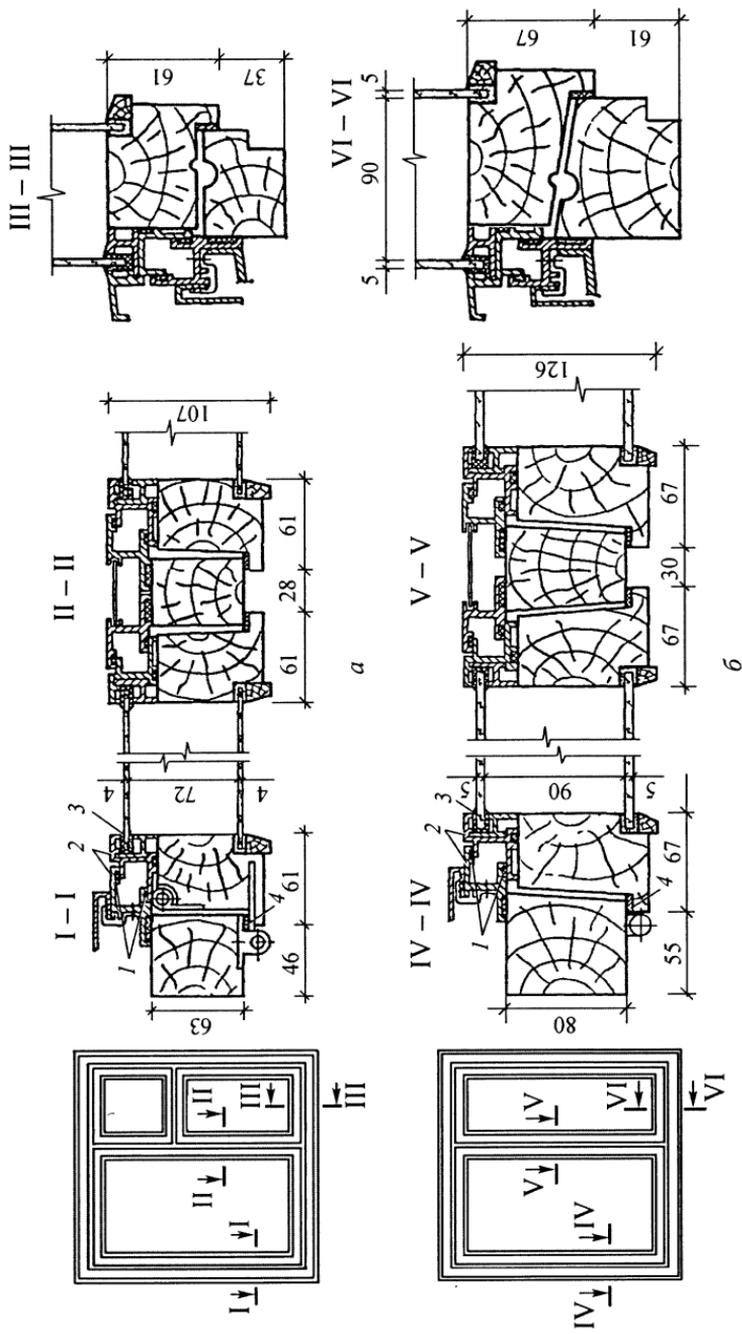
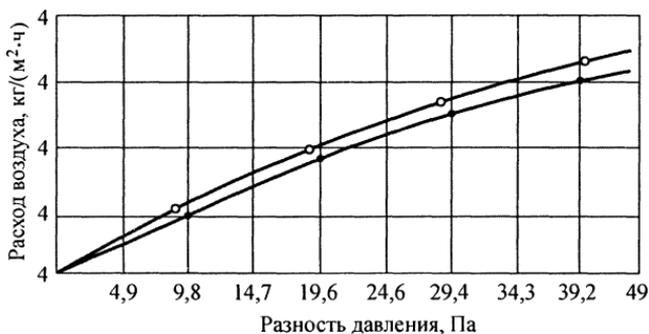


Рис. 3.25. Конструкция деревоалюминиевых оконных блоков: а — ЗРС 81-01 МНИ ИТЭП; б — ДОК-4; 1 — резиновая прокладка; 2 — алюминий; 3 — резиновый профиль; 4 — уплотняющая прокладка из пенополиуретана



**Рис. 3.26.** Зависимость расхода воздуха от разности давления для дерево-алюминиевого оконного блока марки О-386: 1 — при уплотнении стекол мастикой «Бутепрол-1»; 2 — при уплотнении стекол мастикой «Бутепрол-2»

прессованного профиля из алюминиевого сплава и деревянных переплетов. Результаты испытаний на воздухопроницаемость этих оконных блоков показали, что коэффициент воздухопроницаемости оконного деревоалюминиевого блока марки ЭРС 81-01 при  $\Delta p = 9,81$  Па колеблется в пределах  $0,064...0,067$  кг/(м<sup>2</sup> · ч · Па) и марки ДСК-4 —  $0,076...0,078$  кг/(м<sup>2</sup> · ч · Па).

Деревоалюминиевые оконные блоки обладают высокими воздухонепроницаемыми качествами.

Разработаны алюминиевые оконные блоки со стеклопакетами, оборудованными створками на средней вертикальной и горизонтальной осях. В соответствии с предлагаемыми решениями заполнение отдельного оконного проема состоит из трех основных элементов: стальной коробки, алюминиевой коробки и створки, поворачивающейся на 180°.

Каркас алюминиевой коробки и створки спроектирован комбинированным, состоящим из двух алюминиевых профилей — облицовок и закатанного между ними термовкладыша ПР-1 из светоморозостойкой резины. Профили ПА-2, ПА-3, ПА-4, ПА-10 идут на каркас для отдельных проемов, а профили ПА-2, ПА-10, ПА-11 и ПА-12 — на каркас для ленточных проемов.

Каркас створки изготавливают из профилей ПА-1 и ПА-3. Угловые соединения каркаса коробок выполняют на стыковых сварочных машинах, а створки — при помощи соединительного элемента, состоящего из стальной стяжки и двух алюминиевых гаек. Для остекления используют стеклопакеты с толщиной наружного стекла 5 мм, а внутреннего — 4 мм (ГОСТ 111—65) при

толщине воздушной прослойки 20 мм (СТУ 4—554—65). Стеклопакеты закрепляют прессованными защелками ПА-5, герметизируют профильными прокладками ПР-3 из светоморозостойкой резины НО 68-11 и мастикой 51 УТ-37.

На опытных образцах алюминиевых оконных блоков со стеклопакетами размером 175 × 200 см, оборудованных створками на средней вертикальной и горизонтальной осях были проведены испытания на воздухопроницаемость. Результаты испытаний опытного образца окон приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Испытания оконных алюминиевых блоков на воздухопроницаемость

| Разность давления, Па | Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч | Расход воздуха, кг/(м <sup>2</sup> · ч) | Коэффициент воздухопроницаемости, кг/(м <sup>2</sup> · ч · Па) |
|-----------------------|-----------------------------------|---|--|
| 4,9                   | 40                                | 14,28                                   | 2,25   |
| 6,87                  | 50                                | 17,85                                   | 2,25   |
| 9,81                  | 61,8                              | 22,1                                    | 2,25   |

Воздухопроницаемость оконного алюминиевого блока с вертикальной и горизонтальной осями при  $\Delta p = 9,81$  Па составил 22,1 кг/(м<sup>2</sup> · ч), что не удовлетворяет требованиям норм.

Воздухопроницаемость окон при инфильтрации увеличивает теплопотери и понижает температуру внутренней поверхности остекления, что приводит к охлаждению помещения.

Определим температуру внутренней поверхности посередине окна на основе следующих соображений. Количество теплоты, теряемое через окно при отсутствии инфильтрации, равно:

$$Q_{\text{ост}} = K_{\text{о.ост}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (3.45)$$

где  $K_{\text{о.ост}}$  — коэффициент теплопередачи окна, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Изменение количества теплоты, теряемое через окно при инфильтрации, будет:

$$Q_{\text{ост.инф}} = K_{\text{о.ост.инф}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (3.46)$$

где  $K_{\text{о.ост.инф}}$  — коэффициент теплопередачи окна при инфильтрации, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

На основе анализа экспериментальных исследований изменения сопротивления теплопередаче окон при инфильтрации и эксфильтрации в зависимости от их воздухопроницаемости по-

строены графики (рис. 3.27). Зависимости сопротивления теплопередаче окна от фильтрующего воздуха  $J$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , аппроксимированы автором с учетом эмпирических формул:

- для условий инфильтрации

$$R_{\text{о.ост.инф}} = R_{\text{о.ост}} \exp(-0,01J); \quad (3.47)$$

- для условий эксфильтрации

$$R_{\text{о.ост.эксф}} = R_{\text{о.ост}} \exp(0,015J). \quad (3.48)$$

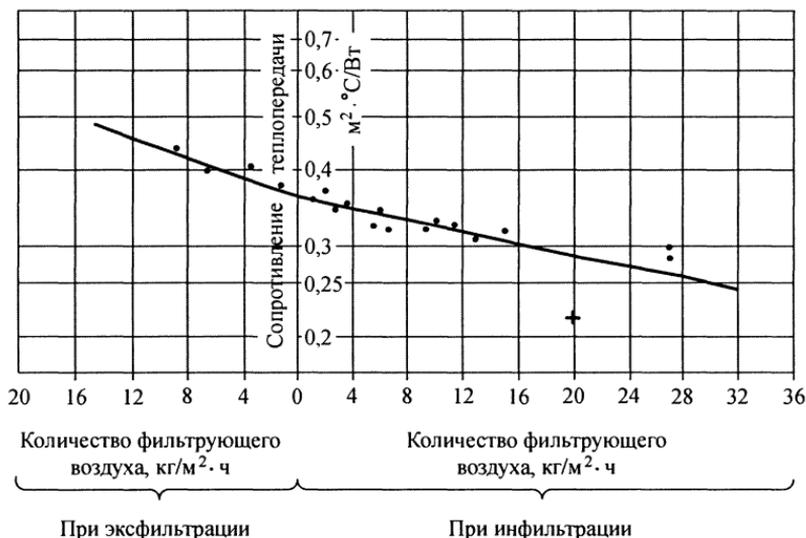


Рис. 3.27. Изменение сопротивления теплопередаче окна в зависимости от фильтрующего через него воздуха:

- — по данным Е. И. Семеновской — двойное остекление в деревянных и спаренных переплетах;
- + — по данным автора — двойное остекление в деревянных спаренных переплетах

В соответствии с полученной зависимостью (3.47) изменение количества теплоты при прохождении через окно вследствие инфильтрации

$$Q_{\text{ост.инф}} = t_{\text{в}} - t_{\text{н}} / R_{\text{о.ост}} \exp(-0,01J). \quad (3.49)$$

Это изменение происходит вследствие отдачи части теплоты на нагревание воздуха на величину  $\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}}$  и составляет

$$\Delta Q = \Delta K(\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}}), \quad (3.50)$$

где  $\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}}$  — понижение температуры внутренней поверхности посередине окна, °С;  $\Delta K$  — коэффициент фильтрационно-теплообмена при инфильтрации

$$\Delta K = A_{\text{ок}} cJ. \quad (3.51)$$

Здесь  $A_{\text{ок}}$  — коэффициент, учитывающий частичный нагрев инфильтрующего воздуха. По данным В. П. Быстрова\*, он зависит от температурного перепада между внутренним и наружным воздухом и количества фильтрующего воздуха (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Значение коэффициента частичного нагрева инфильтрующего воздуха

| $t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ | Значение коэффициента $A$ при $J_{\text{в}}$ , кг/(м <sup>2</sup> · ч) |       |      |
|-------------------------------|--|-------|------|
|                               | 10   | 10—20 | >20  |
| 10—15                         | 0,89   | 0,93  | 0,96 |
| 15—20                         | 0,82   | 0,88  | 0,92 |
| 25—30                         | 0,75   | 0,83  | 0,89 |
| 35—40                         | 0,7  | 0,8   | 0,86 |
| Более                         | 0,66   | 0,76  | 0,84 |

Для условий эксфильтрации принимают обратную его величину  $1/A_{\text{ок}}$ .

Уравнение теплового баланса при установившемся режиме для условий инфильтрации можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{о.ост.инф}} - Q_{\text{ост}} = \Delta Q \quad (3.52)$$

или

$$\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}} \exp(-0,01J)} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} = A_{\text{ок}} cJ(\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}}).$$

Из уравнения (3.52) после соответствующих преобразований получим формулу для определения температуры внутренней поверхности посередине окна при инфильтрации воздуха:

$$\tau_{\text{в.ост.экф}} = \tau_{\text{в.ост}} - \left[ \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}} \exp(0,015J)} \right] \frac{A_{\text{ок}}}{cJ}. \quad (3.53)$$

\* Быстров В. П. Тепловой режим наружных ограждений в условиях направленного потока фильтрующего воздуха. Дис... канд. техн. наук. М., 1976.

Для условий эксфильтрации после замены в выражении (3.50)  $\tau_{\text{в.ост.инф}}$  на  $\tau_{\text{в.ост.эксф}}$  —  $\tau_{\text{в.ост}}$  уравнение теплового баланса примет вид

$$\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост.эксф}}} = \Delta K (\tau_{\text{в.ост.эксф}} - \tau_{\text{в.ост}})$$

или (3.54)

$$\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}} \exp(0,015J)} = \frac{A_{\text{ок}}}{cJ} (\tau_{\text{в.ост.эксф}} - \tau_{\text{в.ост}}).$$

Из уравнения (3.54) после соответствующих преобразований по лучим формулу для определения температуры внутренней поверхности посередине окна при эксфильтрации воздуха:

$$\tau_{\text{в.ост.эксф}} = \tau_{\text{в.ост}} + \left[ \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}} \exp(0,015J)} \right] \frac{A_{\text{ок}}}{cJ}. \quad (3.55)$$

Результаты расчета по полученным формулам автора (3.53) и (3.55) сопоставим с экспериментальными исследованиями в климатических камерах и натуральных условиях.

В климатической камере проведены теплотехнические испытания окон с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах и с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) при  $t_{\text{в}} = 15,6$  °С и  $t_{\text{н}} = -14,2$  °С и разности давлений внутреннего и наружного воздуха  $\Delta p = 23,54$  Па. Коэффициент воздухопроницаемости окна при  $\Delta p = 9,81$  Па составил для двойного остекления  $4,1$  кг/(м<sup>2</sup> · ч) и для тройного остекления —  $3,6$  кг/(м<sup>2</sup> · ч). Распределение температуры в зоне окна с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах и с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) приведены на рис. 3.28.

По результатам расчета по формуле (3.53) температура на внутренней поверхности посередине окна с двойным остеклением в деревянных переплетах составила  $3,7$  °С и с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) —  $7,6$  °С. Как видно на графиках (рис. 3.28), расхождение между расчетом и экспериментом составило для окна с двойным остеклением  $0,5$  °С и для окна с тройным остеклением —  $0,6$  °С.

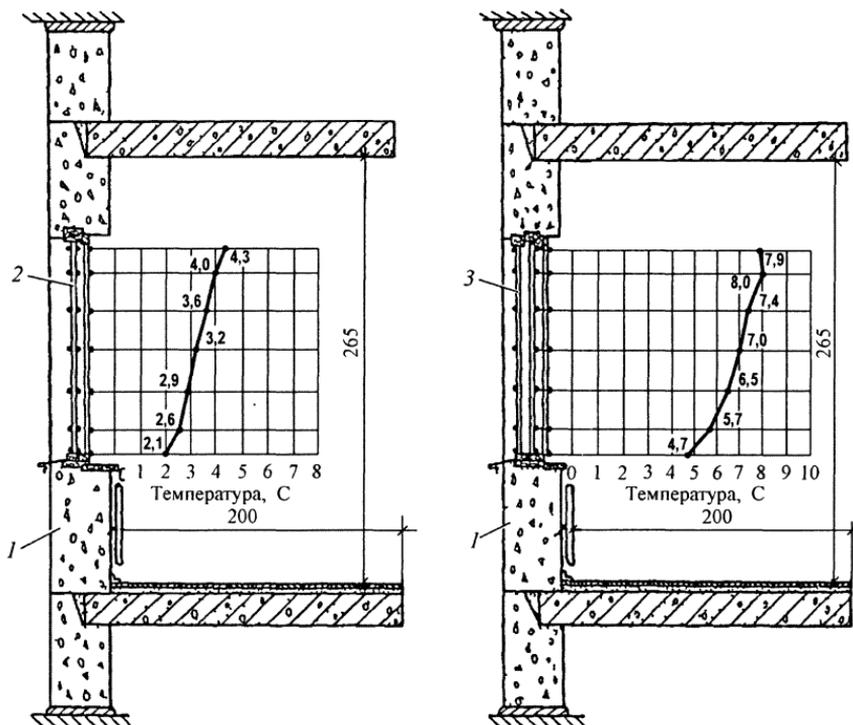


Рис. 3.28. Распределение температуры на внутренней поверхности остекления при  $t_b = 15,6$  °С,  $t_n = -14,2$  °С и  $\Delta p = 23,54$  Па:

1 — керамзитобетонная панель; 2 — окно с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах и коэффициенте воздухопроницаемости  $4,1$  кг/(м<sup>2</sup> · ч · Па); 3 — окно с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) и коэффициенте воздухопроницаемости  $3,6$  кг/(м<sup>2</sup> · ч · Па)

Расчеты по определению температуры внутренней поверхности посередине окна сопоставлены с экспериментальными данными Е. И. Семеновой\*, проводившей исследования в естественных условиях. Для двойного остекления в деревянных спаренных переплетах при  $t_b = 20,6$  °С,  $t_n = -17,9$  °С и  $\Delta p = 24,52$  Па [ $i_{\text{воз.кр}} = 3,7$  кг/(м · ч · Па)] температура внутренней поверхности посередине окна составила  $5,7$  °С и при  $t_b = 16$  °С,  $t_n = -17,9$  °С и  $\Delta p = 24,52$  Па [ $i_{\text{воз.кр}} = 27$  кг/(м · ч · Па)] —  $0,4$  °С. Проведенный

\* Семенова Е. И. Теплотехнические исследования окон с теплоотражающими стенками / Сб. науч. тр. ЦНИИЭПЖилища. «Теплотехнические качества и микроклимат крупнопанельных зданий». М., 1976.

анализ показал, что для первого режима температура внутренней поверхности посередине окна по расчету получилась  $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  и по эксперименту  $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; для второго режима по расчету получилось  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и по эксперименту  $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Расхождение соответственно составляет  $0,1$  и  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Разработанный метод расчета позволяет определить температуру внутренней поверхности посередине окна при инфильтрации и эксфильтрации в зависимости от воздухопроницаемости окна и разности температур внутреннего и наружного воздуха. Как следует из проделанного анализа, расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что позволяет считать предлагаемую методику правомерной при выполнении теплотехнических расчетов.

Примеры расчета светопрозрачных остекленных конструкций приведены в гл. 5.

На основе решения интегрального управления движения и энергии при теплообмене между свободной неизотермической струей и внутренней поверхностью остекления получены в общем виде уравнения для определения толщины гидродинамического слоя, скорости на внешней границе гидродинамического слоя, критерия Нуссельта и коэффициента конвективной теплоотдачи.

При переходе от общих решений к уравнениям, характеризующим теплообмен в приоконной зоне, используются полученные экспериментальным путем закономерности распределения температуры около внутренней поверхности остекления, что дает возможность на основе теории размерности получить уравнения теплообмена, позволяющие определить в приоконной зоне локальную толщину гидродинамического слоя, скорость на его внешней границе, критерий Нуссельта и коэффициенты теплоотдачи конвекцией с учетом неизотермической ниспадающей и восходящей струи (табл. 3.5).

Полученные уравнения определения коэффициентов теплоотдачи конвекцией, как показал проделанный анализ, дают достаточно точные значения, и эти данные можно использовать в инженерных расчетах. Для облегчения пользования построены циркульные номограммы. Разработан метод определения температуры внутренней поверхности посередине окна при инфильтрации и эксфильтрации в зависимости от воздухопроницаемости окна и разности температур внутреннего и наружного воздуха.

Таблица 3.5. Характеристики конвективного теплообмена у внутренней поверхности окна (по данным П. Н. Умнякова)

| Показатель   | Конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна                                      |  |
|--|--|--|
|  | Свободный  | Осложненный поднимающейся струей от отопительного прибора                                  |
| Скорость на внешней границе пограничного слоя          | $u = 1,48Gr^{1/2} \frac{\nu}{h} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{0,17}$                       | $u = 0,4Gr^{1/2} \frac{\nu}{h} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,145}$                        |
| Толщина пограничного слоя                              | $\delta = 0,06hGr^{-0,09} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{0,79}$                             | $\delta = 0,11hGr^{-0,124} \left( \frac{y}{h} \right)^{0,87}$                              |
| Локальные значения критерия Нуссельта                  | $Nu = 0,05Gr^{0,4} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{-0,04}$                                   | $Nu = 0,048Gr^{0,37} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,27}$                                   |
| Локальные значения коэффициента теплообмена конвекцией | $\alpha_{в.ост.к} = 0,05Gr^{0,4} \frac{\lambda_b}{h} \left( \frac{H-y}{h} \right)^{-0,04}$ | $\alpha_{в.ост.к} = 0,048Gr^{0,37} \frac{\lambda_b}{h} \left( \frac{y}{h} \right)^{-0,27}$ |

Точность определения температуры внутренней поверхности посередине окна расчетным путем подтверждается данными экспериментальных теплотехнических исследований.

## 4. ТЕПЛОВОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СЕРВИСА С ПОСТОЯННЫМИ РАБОЧИМИ МЕСТАМИ

---

---

### 4.1. Теплозащитные свойства одежды и тепловой комфорт

В процессе работы швея-мотористка выполняет ряд операций по пошиву, втачке и обметке изделий. При выполнении отдельной операции швея после совмещения деталей изделия, заправки изделия под лапку машинки и пуска ее с помощью ножной педали в процессе работы постоянно совершает возвратно-поступательные движения руками: 7—8 перехватов за один такт операции. После окончания операции швея проверяет качество работы и складывает изделия на кронштейны.

Выполняемые ею операции отличаются монотонностью, однообразием движения рук. Большую часть рабочего времени (90 %) швея-мотористка выполняет операции по пошиву, сидя на фиксированном месте в определенной рабочей позе в условиях относительной общей гиподинамии.

В зимний период года на фабриках, производящих изготовление легкого платья и мужских сорочек, работницы, как правило, носят одежду, сопротивление теплопередаче которой составляет  $0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Летом работницы носят сравнительно легкую, преимущественно хлопчатобумажную одежду с сопротивлением теплопередаче  $0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Для оценки теплового состояния работницы в комплекте специальной одежды в микроклиматической камере НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР были смоделированы условия швейного производства при температуре внутреннего воздуха  $20 \text{ °C}$  и относительной влажности 40 %. В эксперименте участвовали работницы, одетые в хлопчатобумажные халаты и косынки,

выполнявшие в положении сидя легкую работу, типичную для работниц швейного производства. Время эксперимента составляло 3 ч, что соответствует примерно половине рабочей смены.

В результате выполненных исследований установлено, что при температуре внутреннего воздуха 20 °С оптимальное тепловое состояние исследуемых лиц сохраняется только в течение первого часа работы. В дальнейшем происходит некоторое охлаждение организма (табл. 4.1). Средневзвешенная температура кожи сохраняется в пределах оптимальных значений 32,2 °С на протяжении первого часа работы. В дальнейшем к концу третьего часа пребывания на рабочих местах наблюдается снижение средневзвешенной температуры до 31,8 °С. Температура кожи открытых участков тела (кисти) также снижается в течение эксперимента на 2,9 °С.

**Таблица 4.1. Показатели теплового состояния исследуемых лиц при температуре внутреннего воздуха 20 °С**

| Параметры теплового состояния         | Время измерений, мин |      |        |      |        |      |        |
|---------------------------------------|----------------------|------|--------|------|--------|------|--------|
|                                       | Исходное             | 30   | 60     | 90   | 120    | 150  | 180    |
| Температура тела, °С                  | 36,8                 | —    | 36,8   | —    | 36,8   | —    | 36,8   |
| Температура поверхности кожи, °С:     |                      |      |        |      |        |      |        |
| лба                                   | 33,6                 | 33,6 | 33,8   | 33,7 | 33,6   | 33,6 | 33,6   |
| груди                                 | 33,2                 | 33,2 | 33,0   | 33,1 | 33,1   | 33,2 | 33,1   |
| кисти                                 | 32,9                 | 32,5 | 31,5   | 30,6 | 30,0   | 30,0 | 30,0   |
| бедра                                 | 31,4                 | 30,6 | 31,4   | 31,2 | 31,0   | 31,0 | 31,0   |
| голени                                | 30,0                 | 30,4 | 30,6   | 29,5 | 29,4   | 29,4 | 29,4   |
| Средневзвешенная температура кожи, °С | 32,6                 | 32,2 | 32,2   | 31,9 | 31,9   | 31,8 | 31,8   |
| Артериальное давление, мм рт. ст.     | 100/60               | 4    | 100/60 | 4    | 100/60 | 3    | 110/60 |
| Частота сердечных сокращений, уд/мин  | 64                   | —    | 64     | —    | 70     | —    | 68     |
| Теплоощущения, балл                   | 4                    | —    | 4      | —    | 3      | —    | 3      |

На втором часу эксперимента работницы стали ощущать дискомфортное состояние. Таким образом, тепловое состояние швей-мотористок, выполняющих работу в положении сидя, не

может быть охарактеризовано как оптимальное. Для нормального функционирования организма человека в условиях швейного производства следует повысить температуру внутреннего воздуха в помещении цеха или увеличить теплозащитные свойства одежды.

В связи с этим в микроклиматических камерах НИИ гигиены труда и профзаболеваний при температуре внутреннего воздуха 24 °С были проведены повторные исследования по оценке теплового состояния работниц в одежде из хлопчатобумажного халата и косынки. Результаты исследования сведены в табл. 4.2. Как следует из полученных данных, тепловое состояние работниц находилось в пределах теплового комфорта на протяжении всего эксперимента. Колебания температуры кожи на отдельных участках тела не превышали нормативных гигиенических значений. Теплоощущения соответствуют объективным показателям и характеризуются как комфортные тепловые условия. Это было достигнуто за счет повышения температуры внутреннего воздуха с 20 до 24 °С.

Таблица 4.2. Показатели теплового состояния исследуемых лиц при температуре внутреннего воздуха 24 °С

| Параметры теплового состояния         | Время измерений, мин |      |        |      |        |      |        |
|---------------------------------------|----------------------|------|--------|------|--------|------|--------|
|                                       | Исходное             | 30   | 60     | 90   | 120    | 150  | 180    |
| Температура тела, °С                  | 36,7                 | —    | 36,7   | —    | 36,7   | —    | 36,7   |
| Температура поверхности кожи, °С:     |                      |      |        |      |        |      |        |
| лба                                   | 33,8                 | 34,0 | 34,0   | 34,2 | 34,2   | 34,3 | 34,2   |
| груди                                 | 34,0                 | 34,3 | 34,4   | 34,5 | 34,4   | 34,5 | 34,5   |
| кисти                                 | 32,6                 | 33,0 | 32,8   | 32,8 | 33,0   | 33,0 | 33,0   |
| бедра                                 | 30,4                 | 30,8 | 30,9   | 31,0 | 31,0   | 31,2 | 31,2   |
| голени                                | 30,2                 | 30,5 | 30,6   | 30,8 | 31,0   | 30,9 | 31,0   |
| Средневзвешенная температура кожи, °С | 32,5                 | 32,8 | 32,9   | 33,0 | 33,0   | 33,1 | 33,1   |
| Артериальное давление, мм рт. ст.     | 100/70               | —    | 110/70 | —    | 110/70 | —    | 110/70 |
| Частота сердечных сокращений, уд/мин  | 66                   | —    | 68     | —    | 72     | —    | 70     |
| Теплоощущения, балл                   | 4                    | 4    | 4      | 4    | 4      | 4    | 4      |

## 4.2. Метод расчета границы теплового комфорта и дискомфорта с учетом теплозащитных свойств одежды человека

В результате проведенных Р. Ф. Афанасьевой гигиенических исследований тепловое состояние человека оценивается по средневзвешенному конвективно-лучистому тепловому потоку в зависимости от уровня его энергозатрат. Так, например, при выполнении работ, требующих энергозатрат 105...128 Вт, комфортному состоянию соответствует средневзвешенный конвективно-лучистый тепловой поток  $(41 \pm 2)$  Вт/м<sup>2</sup>, а при энергозатратах 290—326 Вт —  $(100 \pm 10)$  Вт/м<sup>2</sup>.

Н. А. Бессонова\* теплоотдачу человека в условиях теплового комфорта ( $Q_{ч.к}$ ) связала с его энергозатратами для следующих видов работ:

- при легкой работе теплоотдача конвекцией составляет 26,6...39,3 Вт/м<sup>2</sup> (41 %), излучением 28,4...29,9 Вт/м<sup>2</sup> (43 %) и испарением 11,0...11,89 Вт/м<sup>2</sup> (16 %);
- при работе средней тяжести теплоотдача конвекцией составила 37,72...42,81 Вт/м<sup>2</sup> (27 %), излучением 55,81...64,16 Вт/м<sup>2</sup> (41 %), испарением 45,20...50,09 Вт/м<sup>2</sup> (32 %).

В качестве критерия оценки теплового комфортного состояния человека примем расчетный средневзвешенный конвективно-лучистый тепловой поток  $Q_{ч.к.л}^{рас}$ , учитывающий теплозащитные свойства одежды и нормативные параметры воздушной среды, который определим по формуле

$$Q_{ч.к.л}^{рас} = \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_{в}) + \alpha_{ч.л} (\tau_{ч} - \tau_{в.п}). \quad (4.1)$$

Анализ результатов расчета по формуле (4.1) показал, что полученные значения  $Q_{ч.к.л}^{рас}$  соответствуют гигиеническим требованиям оценки теплового состояния человека.

Для замкнутого объема помещения балансовое уравнение конвективно-лучистого теплообмена человека в одежде различ-

\* Бессонова Н. А. Физиологическое обоснование оптимальных параметров микроклимата с учетом температурных перепадов «воздух — ограждение» / Сб. науч. тр. Актуальные вопросы промышленного микроклимата НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР. Под ред. Н. Ф. Измерова, М., 1978. С. 83—87.

ной утепленности, с воздушной средой помещения, окном, наружной стеной и отопительным прибором, а также внутренними поверхностями перегородок, пола и потолка можно представить в следующем виде:

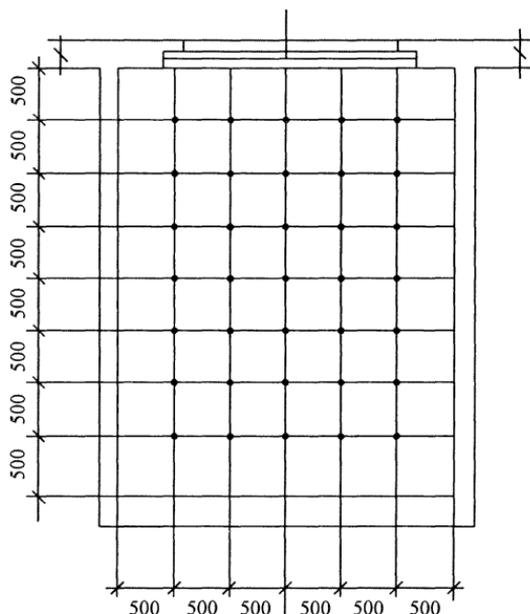
$$Q_{\text{ч.к.л}} = Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л-ост}} + Q_{\text{ч.л-ст}} + Q_{\text{ч.л-отп}} + Q_{\text{ч.л.-перет.пол.пот}}, \quad (4.2)$$

где  $Q_{\text{ч.л-ост}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и окном, Вт;  $Q_{\text{ч.л-ст}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и наружной стеной, Вт;  $Q_{\text{ч.л-отп}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и отопительным прибором, Вт;  $Q_{\text{ч.л.-перет.пол.пот}}$  — количество теплоты, приходящее на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и поверхностью перегородок, пола и потолка, Вт;  $Q_{\text{ч.к}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и окружающей воздушной средой, Вт.

По критериальной величине расчетного средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока в помещениях устанавливается граница, между которой находится зона теплового дискомфорта и зона теплового комфорта. Условия  $Q_{\text{ч.к.л}} > Q_{\text{ч.к.л}}^{\text{рас}}$  соответствует зоне теплового комфорта, если  $Q_{\text{ч.к.л}} < Q_{\text{ч.к.л}}^{\text{рас}}$  — зоне теплового дискомфорта.

При определении границ зон теплового комфорта и дискомфорта плоскость пола разбивается на квадраты со стороной 0,5 м. Разбивка на квадраты начинается с центра внутренней грани наружной стены, продолжается вправо и влево от него с шагом 0,5 м до перегородок и вглубь от внутренней грани стены также с шагом 0,5 м (рис. 4.1). Последовательно для каждой точки квадратной сетки на плоскости пола определяют потери теплоты средневзвешенным конвективно-лучистым тепловым потоком с поверхности человека в одежде различной утепленности, приходящиеся на внутренние поверхности помещения по формуле (4.1).

Рассмотрим тепловые условия около наружных ограждающих конструкций (окон и стен) и в дальнейшем будем называть эту часть помещения пристенным участком. В пристенном участке помещения в зимнее время года создаются неблагоприятные условия для человека. При инфильтрации через окна холод-



**Рис. 4.1.** Схема наложения квадратной сетки при расчете лучистого теплообмена человека

ный поток воздуха в нижней части окна смешивается с восходящей неизотермической струей от отопительного прибора, а в верхней части окна — с теплой струей от общего конвективного кольца и, опускаясь, стелится по поверхности пола.

#### **4.2.1. Зоны теплового комфорта и дискомфорта в пристенном участке помещения швейных предприятий**

Основные процессы швейного производства, в отличие от других производств, из-за изменения ассортимента вырабатываемой продукции требуют изменения расположения перестановки технологических потоков в цехах. Рабочее место на технологическом потоке должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить максимум теплового комфорта. Однако при частой модернизации технологического оборудования на практике это не всегда выполняется, а также в должной мере не учитывается при разработке проекта расстановки технологического оборудования.

В швейных цехах, как правило, имеются большие поверхности остекления, обеспечивающие естественным светом рабочие места. Расположение рабочих мест на технологическом потоке в пристенном участке приводит к тому, что работницы швейных цехов оказываются в зоне теплового дискомфорта.

Для оценки состояния работниц, находящихся около остекленных поверхностей, в швейном цехе фабрики объединения «Москва» были проведены специальные теплотехнические и гигиенические исследования. За период натуральных наблюдений средняя температура в цехе составила  $t_{в} = 24,0$  °С и температура наружного воздуха  $t_{н} = -15,3$  °С. При температуре отопительного прибора  $\tau_{в.отп} = 53,4$  °С температура внутренней поверхности остекления посередине окна составила  $\tau_{в.ост} = 10,8$  °С.

Исследования проводились совместно с НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР. Они позволили определить у работниц швейного цеха температуру поверхности кожи: лба, груди, кисти, бедра, голени. Замеры производились в зоне пристенного участка помещения на расстоянии 2,5 м от поверхности наружного окон. Их результаты приведены в табл. 4.3. Средневзвешенная температура кожи у работниц колебалась от 31,1 до 32,4 °С. По показателю объективной оценки В. И. Кричагин\* тепловое состояние у работниц характеризует дискомфорт 1-й степени.

Для определения зоны теплового комфорта и дискомфорта швейного цеха размером 18 × 72 м и высотой 4,2 м рассмотрим пристенный участок унифицированной типовой секции с сеткой колонн 6 × 6 м. В наружной кирпичной стене имеется окно размером 2,45 × 4,52 м [ $R_{о.ост} = 0,44$  м<sup>2</sup> · °С/Вт,  $J = 6$  кг/(м<sup>2</sup> · ч)]. Размеры простенка 0,54 × 4,2 м, перемычки — 0,1 × 4,52 м.

При составлении уравнения конвективно-лучистого теплообмена для человека, находящегося на технологическом потоке в унифицированной типовой секции, примем, что температура внутренней вертикальной поверхности перемычки равна температуре внутренней поверхности стены; температура пола, потолка, перегородок меньше температуры внутреннего воздуха на 1 °С.

---

\* Кричагин В. И. Приемы и методы ориентировочных расчетов переносимости человеком высоких и низких температур внешней среды // Военно-медицинский журнал. 1965. № 10. С. 27—32.

Таблица 4.3. Значения температуры на поверхности лба, груди, кисти, бедра, голени у швей-мотористок, находящихся в пристенном участке помещения

| Фамилия швей-мотористки | Температура кожи, °С |       |       |       |        |                   |
|-------------------------|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------------------|
|                         | Лоб                  | Грудь | Кисть | Бедро | Голень | Средне-взвешенная |
| Чумакова А. К.          | 31,6                 | 33,0  | 30,9  | 29,5  | 27,8   | 31,1              |
| Корноухова В. И.        | 32,2                 | 33,5  | 31,2  | 31,4  | 30,9   | 32,4              |
| Прошина С. Б.           | 32,2                 | 33,1  | 31,7  | 29,6  | 28,5   | 31,4              |
| Усачева О. В.           | 33,5                 | 33,3  | 31,2  | 31,6  | 30,9   | 32,4              |
| Ивашина Т. Г.           | 32,8                 | 33,4  | 31,5  | 30,0  | 29,4   | 31,8              |
| Пронина Н. Ф.           | 34,0                 | 33,8  | 33,4  | 29,6  | 28,8   | 32,0              |
| Усачева А. М.           | 32,6                 | 33,0  | 31,3  | 30,4  | 29,6   | 31,7              |
| Алексеева Л. Ф.         | 32,8                 | 33,2  | 33,2  | 31,1  | 29,6   | 32,1              |
| Алексеев В. Н.          | 32,6                 | 32,1  | 30,9  | 30,7  | 30,4   | 31,5              |
| Гулпомова А. С.         | 31,5                 | 34,0  | 31,1  | 31,5  | 29,8   | 32,4              |
| Кулишева Т. В.          | 31,9                 | 32,4  | 30,7  | 31,3  | 31,1   | 31,8              |
| Иванова К. С.           | 33,0                 | 39,5  | 31,3  | 30,4  | 28,8   | 32,4              |

Балансовое уравнение конвективно-лучистого теплообмена человека в одежде различной утепленности с окном, простенком, перемычкой, отопительным прибором, а также с полом, потолком, осветительными устройствами и технологическим оборудованием можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ч.к.л}} &= Q_{\text{ч.л-ост}} + Q_{\text{ч.л-прост}} + Q_{\text{ч.л-перем}} + Q_{\text{ч.л-отп}} + \\
 &\quad + Q_{\text{ч.л.-переп.пол.пот.св.об}} + Q_{\text{ч.к}} = \\
 &= C_{\text{ч-ост}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{\tau_{\text{в.ост}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-ост}} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + C_{\text{ч-прост}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{\tau_{\text{в.прост}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-прост}} + \\
& + C_{\text{ч-перем}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{\tau_{\text{в.перем}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-перем}} + \\
& + C_{\text{ч-отп}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{\tau_{\text{в.отп}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-отп}} + \\
& + C_{\text{ч.л.-перег.пол.пот.св.об}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 + \left( \frac{\tau_{\text{перег.пол.пот.св.об}} + 273}{100} \right)^4 \right] \times \\
& \times \Phi_{\text{ч-перег.пол.пот.св.об}} + \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) \quad (4.9)
\end{aligned}$$

где  $Q_{\text{ч.л.-прост}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и простенком, Вт;

$Q_{\text{ч.л.-перем}}$  — количество теплоты, приходящееся на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и перемычкой, Вт;

$Q_{\text{ч.л.-перег.пол.пот.св.об}}$  — количество теплоты, приходящее на теплообмен излучением между поверхностью одежды человека и поверхностями перегородки, пола, потолка, технологического оборудования и освещения, Вт;

$C_{\text{ч-ост}}^1, C_{\text{ч-прост}}^1, C_{\text{ч-перем}}^1$  — приведенный коэффициент излучения поверхностью одежды человека и остеклением, простенком, перемычкой, Вт/(м<sup>2</sup> · °К<sup>4</sup>);

$C_{\text{ч-перег.пол.пот.св.об}}^1$  — приведенный коэффициент излучения поверхностью одежды человека и поверхностями перегородки, пола, потолка, технологического оборудования, освещения, Вт/(м<sup>2</sup> · °К<sup>4</sup>);

$\Phi_{\text{ч-ост}}, \Phi_{\text{ч-прост}}, \Phi_{\text{ч-перем}}, \Phi_{\text{ч-отп}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности человека на поверхности остекления, простенка, перемычек, отопительного прибора;

$\Phi_{\text{ч-перег.пол.пот.св.об}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности человека на поверхности перегородки, пола, потолка, технологического оборудования, освещения;

$\tau_{\text{в.прост}}, \tau_{\text{в.перем}}, \tau_{\text{в.отп}}$  — температура на поверхности простенка, перемычки и отопительного прибора, °С.

Среднюю температуру внутренней поверхности помещения, включая осветительные устройства и технологическое оборудование, определяют по формуле

$$\tau_{\text{перег.пол.пот.св.об}} = \frac{\tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}}}{F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{перег}}} + \frac{\tau_{\text{в.св}} F_{\text{св}} + \tau_{\text{в.м}} F_{\text{м}} + \tau_{\text{отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{св}} + F_{\text{м}} + F_{\text{отп}}}. \quad (4.10)$$

Учет средней температуры всех внутренних поверхностей швейного цеха позволяет угловой коэффициент облучения  $\varphi_{\text{ч-перег.пол.пот.св.об}}$  человека на этих поверхностях считать равным  $\varphi_{\text{ч-перег.пол.пот.св.об}} = 1 - \varphi_{\text{ч-ост}} - \varphi_{\text{ч-прост}} - \varphi_{\text{ч,перем}} - \varphi_{\text{ч-отп}}$ .

Угловой коэффициент облучения для окна, отопительного прибора, подоконной ниши, перемычки и простенка находят по номограммам, изображенным на рис. 2.10 а, б, в и прил. П2, П4, П5, П6 и П8.

На предприятиях швейной промышленности выполняется ручная работа на постоянных рабочих местах, относящаяся к категории работ Ia с уровнем энергозатрат до 139 Вт. Этим условиям соответствует рекомендуемое Минздравом оптимальное значение средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока 52...56 Вт/м<sup>2</sup> [25]. Расчетное значение конвективно-лучистого теплового потока, вычисленное по формуле (4.1) при  $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $V_{\text{в}} = 0,2 \text{ м/с}$ , составляет 54,7 Вт/м<sup>2</sup>. За критерий оценки границы комфортного состояния принимаем уровень теплоотдачи конвекцией и излучением 56 Вт/м<sup>2</sup>.

Таким образом, наблюдается совпадение расчетного и оптимального конвективно-лучистого теплового потока. Это говорит о правомочности принятой методики определения границы между зоной теплового комфорта и дискомфорта.

В примерах 4.1 и 4.2 рассмотрим условия, когда при определении размеров зон теплового комфорта и дискомфорта принимается средняя температура внешней поверхности одежды и открытых участков тела (2.88) и в другом случае — температура поверхности кожи.

**Пример 4.1.** Определим для помещения швейного цеха в пристенном участке размером 6 × 6 м зоны теплового комфорта

и дискомфорта, при температуре внутреннего воздуха  $24\text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициенте теплопроводности воздуха  $\lambda = 0,03\text{ Вт/м }^\circ\text{C}$  и кинематической вязкости воздуха  $15,58 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ .

Приточный воздух в швейный цех поступает из воздухоподогревателя. Поэтому работники на технологическом потоке обдуваются воздухом, направленным под углом  $30\text{...}40^\circ$ . Коэффициент теплообмена конвекцией определяем по циркульной номограмме (см. рис. 2.7) с учетом обдува воздухом под углом  $30^\circ$   $\alpha_{ч,к} = 3,18\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  и под углом  $40^\circ$   $\alpha_{ч,к} = 3,67\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ . При определении коэффициента лучистого теплообмена примем коэффициент излучения поверхности одежды  $C_{\text{ч}} = 3,72\text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$ , а у внутренних поверхностей ограждающих конструкций и технологического оборудования  $4,65\text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$ . Температурный коэффициент  $\Omega$  по графику (см. рис. 1.9) равен  $1,1$ .

В швейном цехе площадь внутренних ограждений, светильников, воздухоподогревателей составляет  $3772,4\text{ м}^2$ . При этом коэффициент теплоотдачи излучением у поверхности одежды работников

$$\alpha_{\text{ч.л.}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.огр}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.огр}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{4,07} + \frac{1,8}{3772,4} \left( \frac{1}{4,65} - \frac{1}{5,76} \right)} \cdot 1,1 = 4,48\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением у поверхности одежды работника под углом обдува  $30^\circ$   $\alpha_{\text{ч.к.л.}} = \alpha_{\text{ч.к}} + \alpha_{\text{ч.л.}} = 3,18 + 4,48 = 7,66\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  и под углом обдува  $40^\circ$   $\alpha_{\text{ч.к.л.}} = \alpha_{\text{ч.к}} + \alpha_{\text{ч.л.}} = 3,67 + 4,48 = 8,15\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ . Для расчета принимаем среднее значение  $\alpha_{\text{ч.л.}} = 7,9\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

Рассчитаем общее сопротивление теплопередаче комплекта женской одежды по методике, приведенной в гл. 2, которое составит

$$R_{\text{о.п.}} = 0,087 + \frac{1}{7,9} = 0,214\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

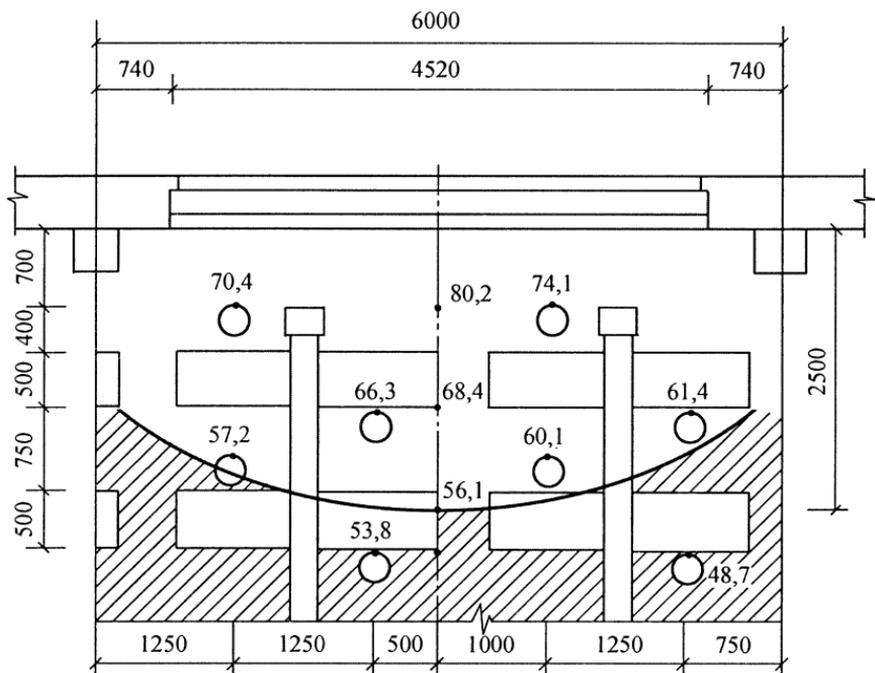
В соответствии с табл. 4.4 за расчетную температуру принимаем среднюю температуру внешней поверхности одежды и от-

крытых участков тела 30,36 °С, которая учитывает теплозащитные свойства одежды. Как видно из рис. 4.1, в зоне теплового комфорта оказалось шесть работников. Эти результаты получены при средней температуре на внутренней поверхности светового проема размером 3,0 × 4,52 м с двойным остеклением в деревянных раздельных переплетах при наличии подоконника и отопительного прибора с температурой на поверхности радиатора 54,2 °С и остекления составила  $\tau_{в,ост} = 10,8$  °С. Средняя температура на поверхности стены (простенка, подоконной ниши, перемычки) составила 20 °С.

Таблица 4.4. Температура на внешней поверхности комплекта одежды и открытых участков тела работницы в помещении швейного цеха

| Участок поверхности тела | Поверхность участка к общей поверхности, % | Температура воздуха в помещении, °С | Температура открытых участков поверхности тела и на поверхности тела под одеждой, °С | Сопротивление теплопередаче пакета одежды, $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{С/Вт}$ | Коэффициент теплоотдачи у поверхности человека, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{С})$ | Толщина пакета одежды, м | Температура открытых участков поверхности тела и на поверхности пакета одежды, °С |
|--------------------------|--|-------------------------------------|--|---|---|--------------------------|---|
| Голова                   | 7,36                                       | 24,0                                | 33,8   | —   | —   | —                        | 33,8  |
| Туловище                 | 35,5                                       | 24,0                                | 34,2   | 0,124   | 7,9   | 0,00093                  | 29,73   |
| Плечо и предплечье       | 13,4                                       | 24,0                                | 33,8   | 0,076   | 7,9   | 0,00055                  | 30,54   |
| Кисть руки               | 4,5  | 24,0                                | 33,1   | —   | —   | —                        | 33,1  |
| Бедро и ягодица          | 20,3                                       | 24,0                                | 33,0   | 0,092   | 7,9   | 0,00211                  | 29,68   |
| Голень                   | 12,5                                       | 24,0                                | 32,2   | 0,06  | 7,9   | 0,0002                   | 31,87   |
| Стопа                    | 6,44                                       | 24,0                                | 31,0   | 0,05  | 7,9   | 0,0002                   | 30,76   |

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_ч &= \frac{33,8 \cdot 7,36 + 29,73 \cdot 35,5 + 30,54 \cdot 13,4 + 33,1 \cdot 4,5 +}{7,36 + 35,5 + 13,4 + 4,5 + 20,3 + 12,5 + 6,44} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{+ 29,68 \cdot 20,3 + 31,87 \cdot 12,5 + 30,76 \cdot 6,44}{=} = 30,36 \text{ }^\circ\text{С}. \end{aligned}$$



**Рис. 4.2.** Зоны теплового дискомфорта и комфорта при средней температуре внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи  $\bar{t}_c = 30,36^\circ\text{C}$  в швейном цехе фабрики объединения «Москва» ( $t_b = 24^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -15,3^\circ\text{C}$  и  $\tau_{b,\text{ост}} = 10,8^\circ\text{C}$ ):

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

По формуле (4.9) определим составляющую конвективно-лучистого теплового потока у человека.

Зоны теплового дискомфорта и комфорта в пристенном участке швейного цеха (рис. 4.2) приведены с учетом средней температуры внешней поверхности одежды человека и открытых участков поверхности тела  $\bar{t}_c = 30,36^\circ\text{C}$  (табл. 4.4), учитывающей теплозащиту одежды  $R_{п.од} = 0,214 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Как видно на рисунке, в зоне теплового дискомфорта оказались шесть работников, находящиеся на технологическом потоке по изготовлению мужских сорочек.

При температуре наружного воздуха  $t_n = -25^\circ\text{C}$  температура внутренней поверхности посередине окна при воздухопроницаемости  $J = 6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  составит  $7,16^\circ\text{C}$ , что приводит к увеличению зоны теплового дискомфорта в пристенном участке швей-

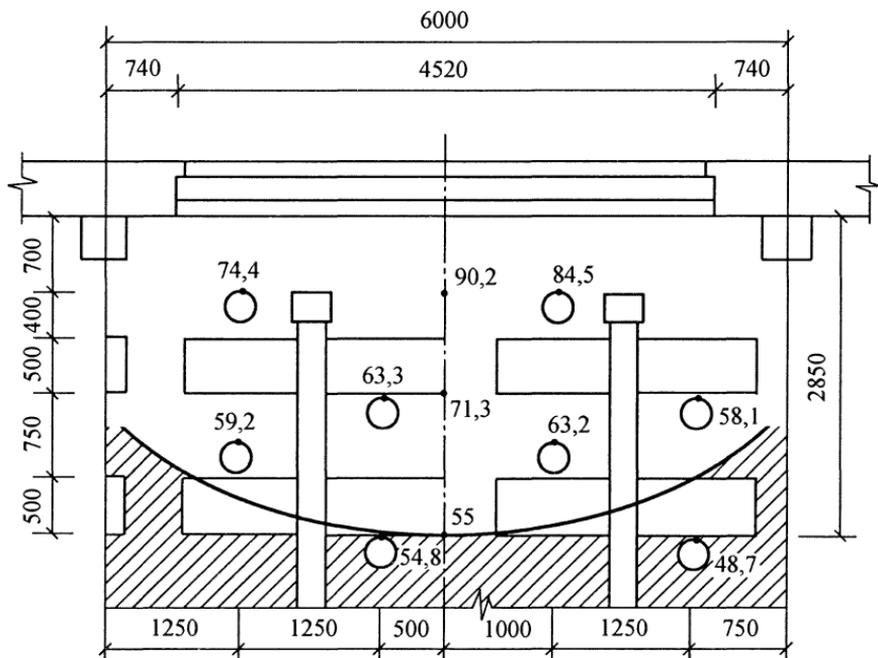


Рис. 4.3. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при средней температуре внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи  $\bar{\tau}_c = 30,36^\circ\text{C}$  в швейном цехе фабрики объединения «Москва» ( $t_B = 24^\circ\text{C}$ ,  $t_H = -25^\circ\text{C}$  и  $\tau_{B,\text{ост}} = 7,16^\circ\text{C}$ ):

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

ного цеха. На рис. 4.3 приведены составляющие конвективно-го и лучистого теплообмена на рабочих местах у работниц ( $\bar{\tau}_c = 30,36^\circ\text{C}$ ). В зоне теплового дискомфорта находится шесть работниц, а ее длина увеличилась с 2,5 до 2,85 м. Если в качестве расчетной температуры принять средневзвешенную температуру поверхности кожи человека  $\tau_k = 33^\circ\text{C}$  без учета теплозащитных свойств одежды, то в зоне теплового дискомфорта расположены десять работниц (рис. 4.4). Длина зоны теплового дискомфорта увеличивается до 4,3 м.

Для здания размером  $24 \times 72$  м число работниц, находящихся в зоне теплового дискомфорта, при учете в расчетах теплозащитных свойств одежды составляет 154 человек, а без ее учета — 220 человек.

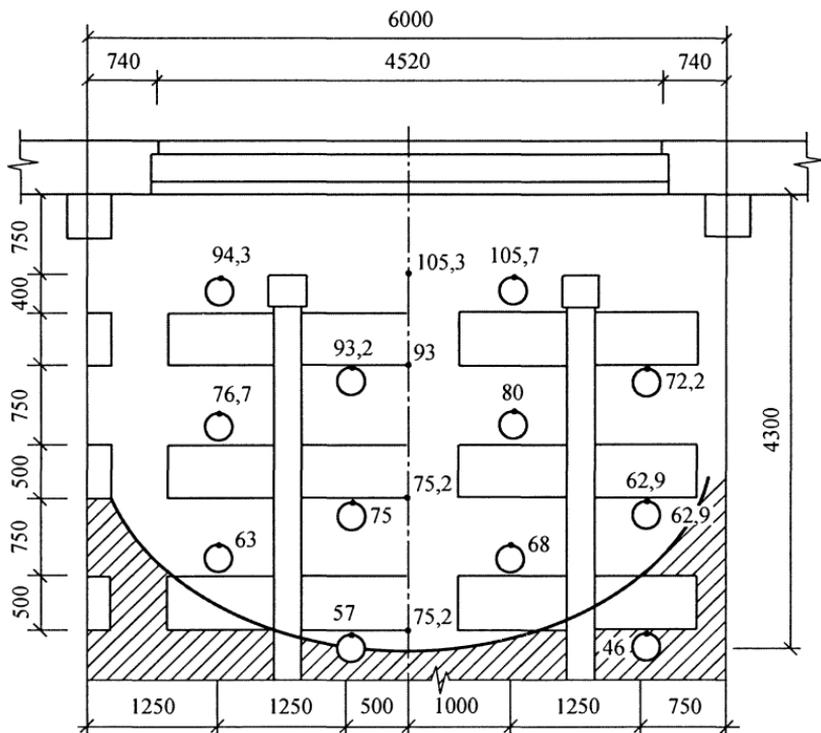


Рис. 4.4. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при средневзвешенной температуре кожи человека без учета одежды  $\bar{t}_k = 33^\circ\text{C}$  в швейном цехе фабрики объединения «Москва» ( $t_b = 24^\circ\text{C}$ ,  $t_h = -25^\circ\text{C}$  и  $\tau_{b, \text{ост}} = 7,16^\circ\text{C}$ ):

▨ — зона теплового дискомфорта; □ — зона теплового комфорта

#### 4.2.2. Зоны теплового комфорта и дискомфорта в административно-вспомогательном помещении

На основе экспериментальных данных натуральных теплотехнических исследований определим зоны теплового дискомфорта и теплового комфорта в пристенном участке помещения административного здания Чертановской фабрики в г. Москве. В помещении размером  $5,6 \times 5,73$  м и высотой 3,2 м имеется окно  $2,41 \times 5,48$  м [ $R_0 = 0,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ]. Температура внутреннего воздуха  $t_b = 21,0^\circ\text{C}$  и наружного воздуха  $t_h = -22,0^\circ\text{C}$ . Температура деревянных решеток, закрывающих отопительный прибор деревянным шкафом размером  $0,75 \times 5,6$  м, равна  $36,8^\circ\text{C}$ .

Температура внутренней поверхности посередине окна составляет  $6,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Внутренние поверхности наружной стены (простенок и перемычка), составляющие от общей внутренней поверхности 12 %, в расчете теплообмена человека с ограждающими конструкциями учитываются. Балансовое уравнение лучистого теплообмена человека в одежде различной утепленности с окном, деревянной решеткой, закрывающей отопительный прибор, а также с внутренними поверхностями перегородок, пола и потолка можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ч.к.л}} &= Q_{\text{ч.л-ост}} + Q_{\text{ч.л-отп}} + Q_{\text{ч.л-в.п}}^{\text{ост}} + Q_{\text{ч.к}} = \\
 &= C_{\text{ч-ост}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в.ост}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-ост}} + \\
 &+ C_{\text{ч-отп}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{в.отп}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-отп}} + \\
 &+ C_{\text{ч-перег.пол.пот}}^1 \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в.перег.пол.пот}} + 273}{100} \right)^4 \right] \times \\
 &\times \Phi_{\text{ч-перег.пол.пот}} + \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}), \tag{4.11}
 \end{aligned}$$

где  $C_{\text{ч-перег.пол.пот}}$  — приведенный коэффициент излучения поверхности одежды человека и поверхности перегородок, пола и потолка,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;  $\Phi_{\text{ч-перег.пол.пот}}$  — угловой коэффициент облучения поверхности человека на поверхность перегородок, пола и потолка.

Средняя температура внутренних поверхностей помещения за вычетом температуры у поверхностей окна и деревянной решетки, закрывающей отопительный прибор, определим по выражению

$$\tau_{\text{ч-перег.пол.пот}} = \frac{\tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}} + \tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{перег}} + F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{отп}}}. \tag{4.12}$$

Для замкнутого объема административно-вспомогательного помещения угловой коэффициент облучения поверхности человека на поверхности перегородок, пола и потолка можно считать

$$\Phi_{\text{ч-перег.пол.пот}} = 1 - \Phi_{\text{ч-ост}} - \Phi_{\text{ч-отп}}.$$

В административном помещении выполняемую на компьютере работу можно отнести к категории Ib с уровнем энергозатрат от 140...174 Вт. В этих условиях составляющую испарением можно принять равной 25 % от общих теплопотерь человека. При этом уровень конвективно-лучистых энергозатрат составят 130 Вт. Отнесем это значение к поверхности тела человека и получим составляющую конвективно-лучистого потока равного  $70,2 \text{ Вт/м}^2$ .

При  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $V = 0,15 \text{ м/с}$  по формуле (4.1) значение средневзвешенного конвективно-лучистого потока равняется  $70,9 \text{ Вт/м}^2$ .

Следовательно, для помещений административного здания за критерий оценки границы комфортного состояния человека можно принять уровень теплоотдачи конвекцией и излучением  $70 \text{ Вт/м}^2$ .

**Пример 4.2.** Определим для пользователей персональными компьютерами в административном помещении зоны теплового комфорта и дискомфорта. При этом коэффициент теплоотдачи конвекцией у поверхности одежды найдем по циркульной номограмме (см. рис. 2.7). Примем, что скорость движения воздуха в помещении  $0,15 \text{ м/с}$ , коэффициент теплопроводности воздуха  $0,03 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$  и кинематическая вязкость воздуха  $15,168 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $\alpha_{ч,к} = 4,62 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

Коэффициент излучения поверхности трикотажного жакета и шевиотовой юбки  $C_q = 4,07 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$ . По рис. 1.9 находим температурный коэффициент  $\Omega = 1,06$ . Коэффициент теплообмена излучением у поверхности одежды пользователей персональными компьютерами составляет:

$$\alpha_{ч,л} = \frac{1}{\frac{1}{C_q} + \frac{F_q}{F_{в,орг}} \left( \frac{1}{C_{в,орг}} - \frac{1}{C_o} \right)} \Omega =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{4,07} + \frac{1,8}{134} \left( \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76} \right)} \cdot 1,01 = 4,34 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Коэффициент теплообмена у верхней поверхности одежды будет  $\alpha_{ч} = \alpha_{ч,к} + \alpha_{ч,л} = 4,62 + 4,34 = 8,96 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

В табл. 4.5 приведены расчеты температуры на внешней поверхности пакета одежды и открытых участках тела человека. Среднее значение температуры внешней поверхности одежды и открытых участков тела определим с учетом их площадей, составляющих  $\tau_q = 28,68 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблица 4.5. Температура на внешней поверхности комплекта одежды и открытых участков тела пользователей персональными компьютерами в помещении (Черта-новское административно-вспомогательное здание)

| Участок поверхности тела | Поверхность участка к общей поверхности, % | Температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$ | Температура открытых участков поверхности тела и поверхности тела под одеждой, $^\circ\text{C}$ | Сопrotивление теплопередаче пакета одежды, $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ | Кoэффициент теплоотдачи у поверхности человека, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ | Толщина пакета одежды, м | Температура открытых участков поверхности тела и на поверхности пакета одежды, $^\circ\text{C}$ |
|--------------------------|--|---|---|--|---|--------------------------|---|
| Голова                   | 7,36                                       | 21,0  | 33,8  | —  | —   | —                        | 33,8  |
| Туловище                 | 35,5                                       | 21,0  | 34,2  | 0,14   | 8,95  | 0,00093                  | 26,65   |
| Плечо и предплечье       | 13,4                                       | 21,0  | 33,8  | 0,095  | 8,5   | 0,00055                  | 27,95   |
| Кисть руки               | 4,5  | 21,0  | 33,1  | —  | —   | —                        | 33,1  |
| Бедро и ягодица          | 20,3                                       | 21,0  | 33,0  | 0,06   | 8,95  | 0,0021                   | 27,51   |
| Голень                   | 12,5                                       | 21,0  | 32,2  | 0,06   | 8,95  | 0,0002                   | 31,59   |
| Стопа                    | 6,44                                       | 21,0  | 31,0  | 0,065  | 8,95  | 0,0002                   | 30,53   |

Среднее сопротивление теплопередаче одежды

$$R_{\text{п}} = \frac{0,140 \cdot 0,6 + 0,095 \cdot 0,23 + 0,06 \cdot 0,34 + 0,006 \cdot 0,21 + 0,066 \cdot 0,1}{0,6 + 0,23 + 0,34 + 0,21 + 0,1} = 0,092 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Общее сопротивление теплопередаче с учетом коэффициента теплообмена для одежды равно:

$$R_{\text{о.п}} = 0,092 + \frac{1}{8,95} = 0,203 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Средняя температура, согласно данным натурных наблюдений, на внутренней поверхности остекления равна  $6,84 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Средняя температура поверхности одежды человека и открытых участков тела  $28,68\text{ }^{\circ}\text{C}$  (табл. 4.5) при  $R_{o,п} = 0,203\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Для сравнения возьмем температуру поверхности лба  $\tau_{к,г} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$  и средневзвешенную температуру поверхности кожи человека  $\tau_{к} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Угловой коэффициент облучения между человеком и окном, деревянной решеткой отопительного прибора определяется по номограммам рис. 2.10 и прил. П4. По формуле (4.11) определяют  $Q_{ч,к,л}$  и находят распределение границы зон теплового дискомфорта в пристенном участке административного помещения (рис. 4.5, 4.6 и 4.7). Длина зоны теплового дискомфорта при

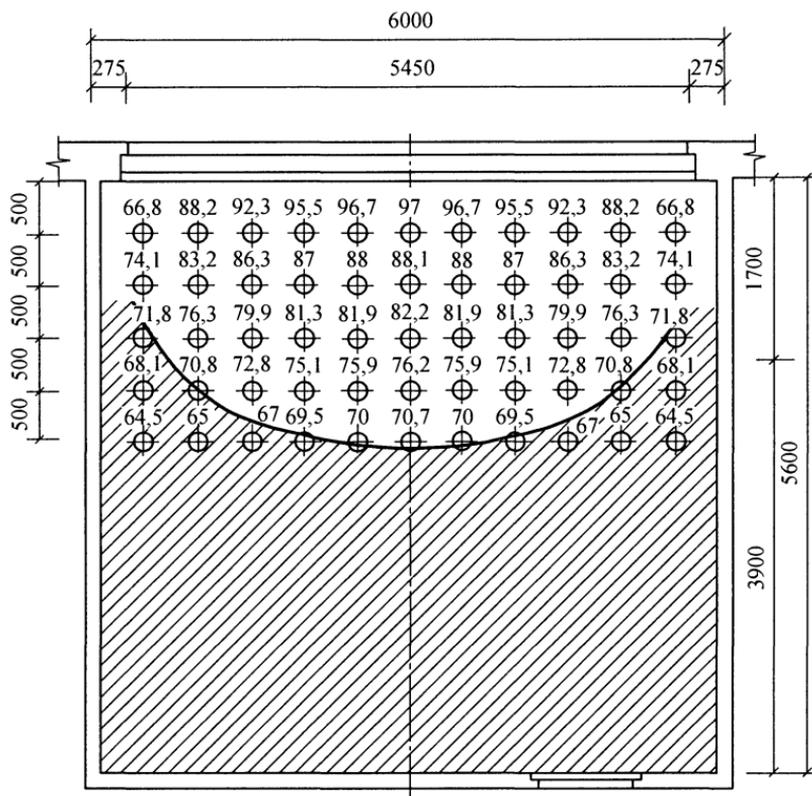


Рис. 4.5. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при средней температуре одежды человека и открытых участков кожи  $\bar{\tau}_v = 28,86\text{ }^{\circ}\text{C}$  в административном помещении ( $t_b = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_n = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\tau_{в,ост} = 6,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):

▨ — зона теплового дискомфорта; □ — зона теплового комфорта

Таблица 4.6. Зона теплового дискомфорта административного помещения с площадью остекления 59 % поверхности наружной стены

| Расчетные температуры  | Площадь зоны теплового дискомфорта, м <sup>2</sup> ,<br>при $\tau_{в,ост} = 6,84$ °С |                          |
|--|--|--------------------------|
|  | по предлагаемой методике П. Н. Умнякова  | по существующей методике |
| Средняя температура внешних поверхностей одежды и открытых участков тела человека 28,68 °С | 10,6   | 15,0                     |
| Температура поверхности кожи головы 31 °С  | 22,0   | 24,1                     |

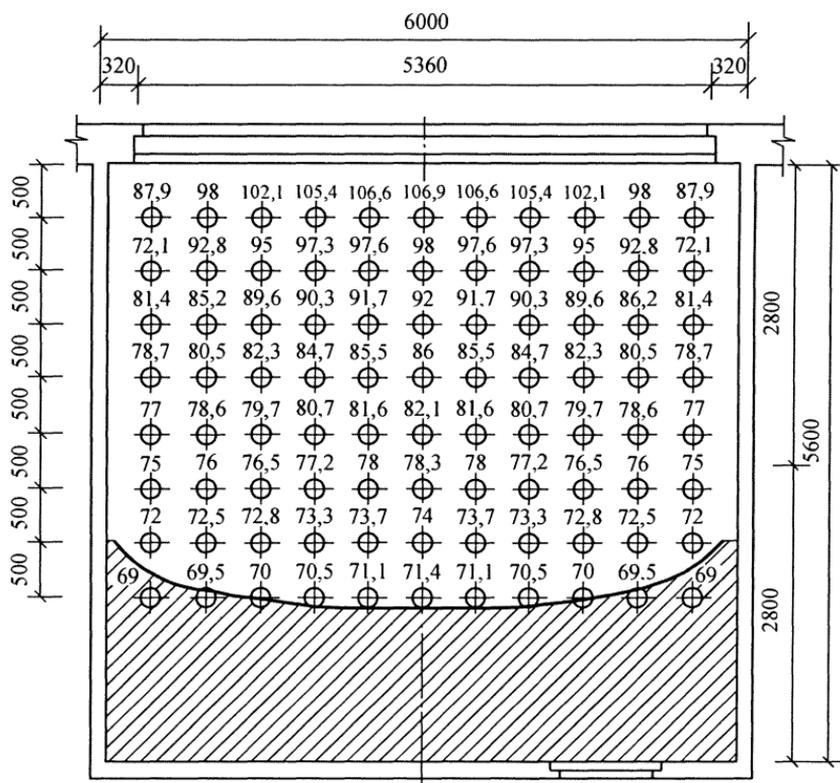


Рис. 4.6. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при температуре поверхности кожи головы  $\bar{\tau}_{к,г} = 31$  °С в административном помещении ( $t_b = 21$  °С,  $t_n = -22$  °С и  $\tau_{в,ост} = 6,84$  °С):

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

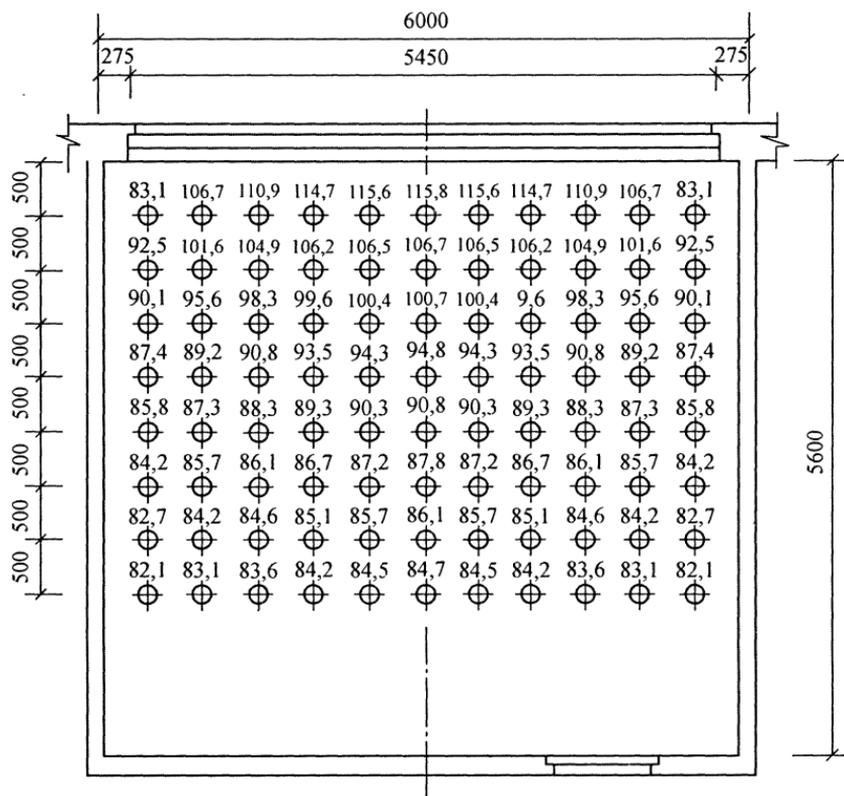


Рис. 4.7. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при средневзвешенной температуре поверхности кожи  $\tau_k = 33^\circ\text{C}$  в административном помещении ( $t_b = 21^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -22^\circ\text{C}$  и  $\tau_{b, \text{ост}} = 6,84^\circ\text{C}$ ):

▨ — зона теплового дискомфорта; □ — зона теплового комфорта

$\bar{\tau}_q = 28,68^\circ\text{C}$  по центру составила 2,1 м, при  $\tau_{k, \text{гол}} = 31^\circ\text{C}$  — 4,1 м, а при  $\tau_k = 33^\circ\text{C}$  приходится на все помещение.

Проведенные расчеты установили (см. рис. 4.5, 4.6 и 4.7), что по мере удаления от центра помещения граница зоны дискомфорта изменяется по параболической кривой. В табл. 4.6 приведены площади зоны теплового дискомфорта, полученные по существующей методике и предлагаемому автором методу.

Расчет границы зоны теплового дискомфорта, приводимый в этой главе, базируется на решении балансового уравнения теплообмена человека с окном, наружной стеной, отопительным прибором и перегородкой. В соответствии с установленной класси-

фикацией условий комфорта по оптимальным значениям средневзвешенного конвективно-лучистого теплообмена человека  $Q_{ч.к.л}$  определены зоны теплового комфорта и дискомфорта. В разработанной методике теплозащитные свойства одежды определяются средней температурой внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи  $\tau_{ч}$ , которая является основным параметром расчета тепловых зон в помещении зданий.

Принимаемые гигиенистами в расчетах теплообмена поверхности тела человека с наружными ограждениями средневзвешенная температура кожи под одеждой  $\tau_{к}$  или температура поверхности головы  $\tau_{к.г}$  не учитывает теплозащитных свойств одежды, что не отражает действительных условий его теплообмена.

Для исследуемых помещений установлены размеры зоны теплового дискомфорта пристенного участка помещения в зависимости от теплотехнических свойств окон, наружных стен и соотношения их площадей, а также теплозащитных свойств одежды человека. Анализ проведенных исследований показал, что учет теплозащитных свойств пакета одежды позволяет значительно сократить зону теплового дискомфорта в пристенном участке помещения. Граница зоны теплового дискомфорта изменяется по параболической кривой. В центре помещения она достигает своего максимума и по мере удаления от него начинает уменьшаться. Граница зоны теплового комфорта в центре помещения минимальная, а ближе к торцовой части наружной стены — максимальная.

Таким образом, в рассмотренных ранее работах (см. табл. 4.6) граница зоны теплового дискомфорта проходила от центра помещения параллельно плоскости наружного ограждения. Это приводило к необоснованному отнесению полезной площади помещения с комфортными тепловыми условиями к дискомфортной.

## **5. СЕРВИСНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И ФОРМ СОБСТВЕННОСТИ**

---

---

### **5.1. Расчет зон теплового комфорта и дискомфорта для проектируемых, реконструируемых и эксплуатируемых предприятий**

При анализе проекта с типовыми конструктивными решениями или связанного с реконструкцией и техническим перевооружением предприятия определяются размеры зоны теплового дискомфорта в пристенном участке производственного помещения с постоянными рабочими местами на технологическом потоке.

Недостаточные теплозащитные качества наружных ограждающих конструкций и в особенности окон приводят к тому, что на их внутренней поверхности температура значительно ниже температуры стены и воздуха в помещении. Поэтому в пристенном участке помещения человек теряет теплоту путем лучистого теплообмена с охлажденными поверхностями остекления. Организм человека испытывает одностороннее охлаждение, что, с точки зрения гигиенистов, является наиболее опасным для его здоровья. Величину лучистого и конвективного теплообмена гигиенисты принимают в качестве критерия оценки теплового комфорта человека. Расчет зон теплового комфорта и дискомфорта выполняется на основе определения составляющей лучистого и конвективного теплообмена между человеком в одежде с заданными теплофизическими свойствами и внутренними поверхностями окон.

Для выполнения расчета зоны теплового комфорта и дискомфорта необходимо произвести теплотехнический расчет одежды, окон и наружных стен.

В качестве критерия оценки теплового состояния человека для категории работ Ia принимают оптимальное значение средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока  $Q_{ч.к.л} = 56 \text{ Вт/м}^2$ .

Значение расчетного средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока находим по формуле

$$Q_{ч.к.л}^{\text{расч}} = Q_{ч.к} + Q_{ч.л}. \quad (5.1)$$

Как отмечалось выше, условиям  $Q_{ч.к.л} < Q_{ч.к.л}^{\text{расч}}$  соответствуют зона теплового дискомфорта и условиям  $Q_{ч.к.л} > Q_{ч.к.л}^{\text{расч}}$  — зоне теплового комфорта.

Значение конвективного теплового потока определяется с учетом термических свойств одежды:

$$Q_{ч.к} = \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_{в}), \quad (5.2)$$

где  $\alpha_{ч.к}$  — коэффициент конвективного теплообмена у внешней поверхности пакета одежды человека,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_{в}$  — температура внутреннего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{ч}$  — температура на внешней поверхности одежды человека (по туловищу). В одежде для каждого слоя материала определяют его толщину и коэффициент теплопроводности.

Температура на внешней поверхности одежды человека (по туловищу)

$$\tau_{ч} = t_{в} + \frac{\tau_{к} - t_{в}}{R_{п} \alpha_{ч} + 1} \cdot \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_{п}}, \quad (5.3)$$

где  $\tau_{к}$ ,  $\alpha_{ч}$  — температура поверхности кожи под одеждой человека, принимаем  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  и коэффициент теплообмена у внешней поверхности одежды  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $L_{\text{внут}}$  — периметр рассматриваемой части тела, м;  $\delta_{п}$  — общая толщина пакета одежды, м (см. формулу (2.87));  $R_{п}$  — сопротивление теплопередаче пакета одежды рассматриваемой части тела,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче пакета одежды

$$R_{п} = \frac{\delta_{п1}}{\lambda_{п1}} + \frac{\delta_{п2}}{\lambda_{п2}} + \frac{\delta_{п3}}{\lambda_{п3}} + R_{\text{воз.пр}}, \quad (5.4)$$

где  $\delta_{п1}$ ,  $\delta_{п2}$ ,  $\delta_{п3}$  — толщина материалов пакета одежды, м (табл. 5.1);  $\lambda_{п1}$ ,  $\lambda_{п2}$ ,  $\lambda_{п3}$  — коэффициенты теплопроводности материалов пакета одежды,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ , (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Теплотехническая характеристика текстильных материалов

| Ткань                                    | Толщина, мм | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С) |
|--|-------------|------------------------------|---|
| <i>Бельевые хлопчатобумажные</i>         |             |                              |   |
| Бязь гладкокрашенная                     | 0,48        | 0,292                        | 0,053                                     |
| Бязь отбельная                           | 0,33        | 0,418                        | 0,063                                     |
| Шифон отбельный                          | 0,3         | 0,333                        | 0,058                                     |
| Сатин гладкокрашенный                    | 0,42        | 0,305                        | 0,056                                     |
| Батист гладкокрашенный                   | 0,25        | 0,284                        | 0,055                                     |
| <i>Плательные ткани хлопчатобумажные</i> |             |                              |   |
| Ситец набивной                           | 0,55        | 0,263                        | 0,052                                     |
| Ткань плательная набивная                | 0,58        | 0,262                        | 0,053                                     |
| Креп набивной                            | 0,36        | 0,261                        | 0,052                                     |
| Креп плательный                          | 0,45        | 0,229                        | 0,049                                     |
| Зефир пестротканый                       | 0,39        | 0,290                        | 0,055                                     |
| <i>Плательные шелковые ткани</i>         |             |                              |   |
| Креп-шифон                               | 0,18        | 0,139                        | 0,037                                     |
| Креп-жоржет                              | 0,27        | 0,207                        | 0,046                                     |
| Крепдешин                                | 0,24        | 0,229                        | 0,049                                     |
| Полотно                                  | 0,24        | 0,296                        | 0,056                                     |
| То же                                    | 0,36        | 0,297                        | 0,055                                     |

Величина потерь тепла человека излучением с учетом термических свойств одежды при теплообмене с окном, простенком наружной стены определяется по формуле

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ч.л}} = & \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{1}{C_{\text{ост}}} - \frac{1}{C_{\text{o}}}} \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в.ост}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-ост}} + \\
 & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{1}{C_{\text{прост}}} - \frac{1}{C_{\text{o}}}} \left[ \left( \frac{\tau_{\text{ч}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{\text{в.прост}} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{\text{ч-прост}},
 \end{aligned} \quad (5.5)$$

где  $C_{\text{ост}}$  и  $C_{\text{прост}}$  — коэффициенты излучения внутренней поверхности остекления 5,2 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и стены 4,6 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $C_{\text{ч}}$  —

коэффициент излучения внутренней поверхности одежды человека [колеблется от 4,1 до 4,3 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>)];  $C_0$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела 5,76 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

По принятым размерам окна по номограммам определяем значение углового коэффициента облучения человека, находящегося на различном расстоянии  $\varphi_{\text{ч-ост}}$  (рис. 2.11), и для простенка стены (прил. П6)  $\varphi_{\text{ч-прост}}$ . Сопротивление теплопередаче наружной стены

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (5.6)$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  и  $\alpha_{\text{н}}$  — коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности стены, Вт/(м<sup>2</sup> · °С) (принимается  $\alpha_{\text{в}} = 8,7$  и  $\alpha_{\text{н}} = 23$ );  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  — толщина слоев в наружной стене, м;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · °С).

Значения коэффициентов теплопроводности строительных материалов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Теплотехнические показатели строительных материалов

| Материал  | Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации, Вт/(м · °С) |
|---|--|---|
| Железобетон   | 2500   | 2,04  |
| Бетон   | 2300   | 1,80  |
| Керамзитобетон  | 1200   | 0,52  |
| Перлитобетон  | 1100   | 0,50  |
| Шунгзитобетон   | 1400   | 0,64  |
| Пенобетон   | 1000   | 0,47  |
| Цементно-песчаный раствор                             | 1800   | 0,93  |
| Кирпичная кладка из глиняного обыкновенного кирпича   | 1800   | 0,81  |
| Кирпичная кладка из силикатного кирпича               | 1800   | 0,87  |
| Кирпичная кладка из керамического пустотелого кирпича | 1200   | 0,52  |
| Плиты минераловатные                                  | 123  | 0,07  |
| Пенополистирол  | 150  | 0,06  |
| То же   | 40   | 0,05  |

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_0$  следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемого значения  $R_0^{TP}$ , которое определяется исходя из санитарно-гигиенических условий по формуле (5.8) и условий энергосбережения (табл. 5.3).

Таблица 5.3 Нормируемое значение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций

| Здания и помещения                            | Градусо-сутки отопительного периода, °С · сут. | Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, (м <sup>2</sup> · °С)/Вт |          |      |
|---|--|---|----------|------|
|   |  | Стены   | Покрытия | Окна |
| Административные и бытовые                    | 2000   | 1,6   | 2,4      | 0,3  |
|   | 4000   | 2,4   | 3,2      | 0,4  |
|   | 6000   | 3,0   | 4,0      | 0,5  |
|   | 8000   | 3,6   | 4,8      | 0,6  |
|   | 10 000   | 4,2   | 5,6      | 0,7  |
|   | 12 000   | 4,8   | 6,4      | 0,8  |
| Производственные с сухим и нормальным режимом | 4000   | 1,4   | 2,0      | 0,25 |
|   | 4000   | 1,8   | 2,5      | 0,30 |
|   | 6000   | 2,2   | 3,0      | 0,35 |
|   | 8000   | 2,6   | 3,5      | 0,4  |
|   | 10 000   | 3,0   | 4,0      | 0,45 |
|   | 12 000   | 3,4   | 4,5      | 3,4  |

Градусы-сутки отопительного периода (ГСОП) следует определять по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер}})z_{\text{от.пер}}, \quad (5.7)$$

где  $t_{\text{от.пер}}$  и  $z_{\text{от.пер}}$  — средняя температура, °С и продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С (табл. 5.4).

Таблица 5.4. Средняя температура и продолжительность отопительного периода по некоторым городам [26]

| Город       | Период со средней суточной температурой воздуха |   | Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_{\text{н}}$ , °С |
|-------------|---|---|--|
|             | средняя температура $t_{\text{от.пер}}$ , °С    | продолжительность отопительного периода $Z$ , сут |  |
| Москва      | -3,6  | 213   | -28  |
| Архангельск | -4,7  | 272   | -31  |
| Астрахань   | -1,6  | 172   | -23  |

Окончание табл. 5.4

| Город           | Период со средней суточной температурой воздуха |   | Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_n$ , °С |
|-----------------|---|---|---|
|                 | средняя температура $t_{от.пер}$ , °С           | продолжительность отопительного периода $Z$ , сут |   |
| Владимир        | -4,4  | 217   | -28   |
| Вологда         | -4,8  | 250   | -31   |
| Иркутск         | -8,9  | 260   | -37   |
| Н. Новгород     | -4,7  | 234   | -27   |
| Кемерово        | -8,8  | 235   | -39   |
| Красноярск      | -7,8  | 254   | -39   |
| Санкт-Петербург | -2,2  | 219   | -26   |
| Новосибирск     | -9,1  | 229   | -39   |
| Пермь           | -6,4  | 226   | -35   |
| Свердловск      | -6,4  | 228   | -35   |
| Тамбов          | -4,2  | 202   | -28   |
| Тюмень          | -8,4  | 229   | -37   |

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R$ , отвечающих санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, определяются по формуле

$$R_o^{тр} = \frac{(t_b - t_n)}{\Delta t^H \alpha_b}, \quad (5.8)$$

где  $\Delta t^H$  — нормативный температурный период между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции принимается:

- для общественных, административных и бытовых зданий за исключением помещений с влажным или мокрым режимом — 4,5 °С;
- для производственных зданий с сухим и нормальным режимом —  $t_b - \tau_p$ , но не более 7 °С;
- для производственных и других зданий с влажным и мокрым режимом —  $t_b - \tau_p$ ;
- для производственных зданий со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м<sup>3</sup>) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50 % — 12 °С;

$t_n$  — температура наружного воздуха °С (табл. 5.4).

Температура на внутренней поверхности простенка стены

$$\tau_{\text{в.прост}} = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в}} R_0}. \quad (5.9)$$

В зависимости от значений температуры внутреннего и наружного воздуха сопротивление теплопередаче окна выбирается по данным, приведенным табл. 5.5.

Таблица 5.5. Конструкции и теплотехнические характеристики окон

| Разность температуры внутреннего и наружного воздуха, °С | Тип окна*  | Сопротивление теплопередаче $R_{\text{ост}}$ , м <sup>2</sup> °С/Вт |
|--|--|---|
| Свыше 30 до 38   | Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах без щелевой перфорации подоконника                | 0,34  |
| Свыше 38 до 44   | Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах без щелевой перфорации подоконника                | 0,39  |
| Свыше 44 до 50   | Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах с щелевой перфорацией                             | 0,39  |
| Свыше 50 до 64   | Тройное остекление в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) с щелевой перфорацией в подоконнике | 0,52  |

\* При устройстве щелевой перфорации в подоконнике повышается температура внутренней поверхности остекления за счет интенсификации конвективного теплообмена у этой поверхности восходящей струей от отопительного прибора.

Температура внутренней поверхности окна определяется по формулам:

- без учета инфильтрации

$$\tau_{\text{в.ост}} = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в.ост}} R_{\text{ост}}}; \quad (5.10)$$

- с учетом инфильтрации

$$\tau_{\text{в.ост.инф}} = \tau_{\text{в.ост}} - \left[ \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}} \exp(-0,01J)} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.ост}}} \right] \frac{1}{AcJ}, \quad (5.11)$$

где  $c$  — удельная теплоемкость воздуха, 0,278 Вт/(кг · °С);  $A$  — коэффициент, учитывающий частичный нагрев инфильтрирующего воздуха (определяется по табл. 3.4).

Количество воздуха  $J$  (кг/(м<sup>2</sup> · ч)), поступающего в помещение путем инфильтрации через окно, определяется по формуле

$$J = \frac{1}{R_{\text{и}}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_0}}, \quad (5.12)$$

где  $R_{\text{и}}$  — сопротивление воздухопроницаемости, (м<sup>2</sup> · ч)/кг.

В формуле (5.12) значение сопротивления воздухопроницаемости окна в зависимости от вида прокладок принимают: для двойного остекления в деревянных спаренных и отдельных переплетах с уплотнением притворов прокладками из пенополиуретана  $R_{\text{и}} = 0,2$  (м<sup>2</sup> · ч)/кг и тройного остекления в деревянных отдельных переплетах (спаренный и одинарный) с уплотнением притворов пенополиуретановыми прокладками  $R_{\text{и}} = 0,44$  (м<sup>2</sup> · ч)/кг.

В формуле (5.12) разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждающих конструкций

$$\Delta p = 0,55 H(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03\gamma_{\text{н}}v^2, \quad (5.13)$$

где  $H$  — высота здания от поверхности земли до верха карниза, м;  $v$  — максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более;  $\Delta p_0$  — разность давления воздуха 9,81 Па;  $\gamma_{\text{н}}$  и  $\gamma_{\text{в}}$  — удельный вес наружного и внутреннего воздуха

$$\gamma = 9,81 \frac{353}{273 + t}, \quad (5.14)$$

Здесь  $t$  — принимаемая расчетная температура воздуха, °С.

## 5.2. Объемно-планировочное решение швейного предприятия

В поэтажных планах производственного двухэтажного здания при решении архитектурно-планировочных вопросов необходимо учитывать технологические требования. Привязка конструктивных элементов здания с сеткой колонн 6 × 6 м к разбивочным осям в плане приведена на рис. 5.1 и 5.2. На плане производственного здания показываются технологическое оборудование, наружные и внутренние стены, окна, двери, лестничные клетки, лифты.

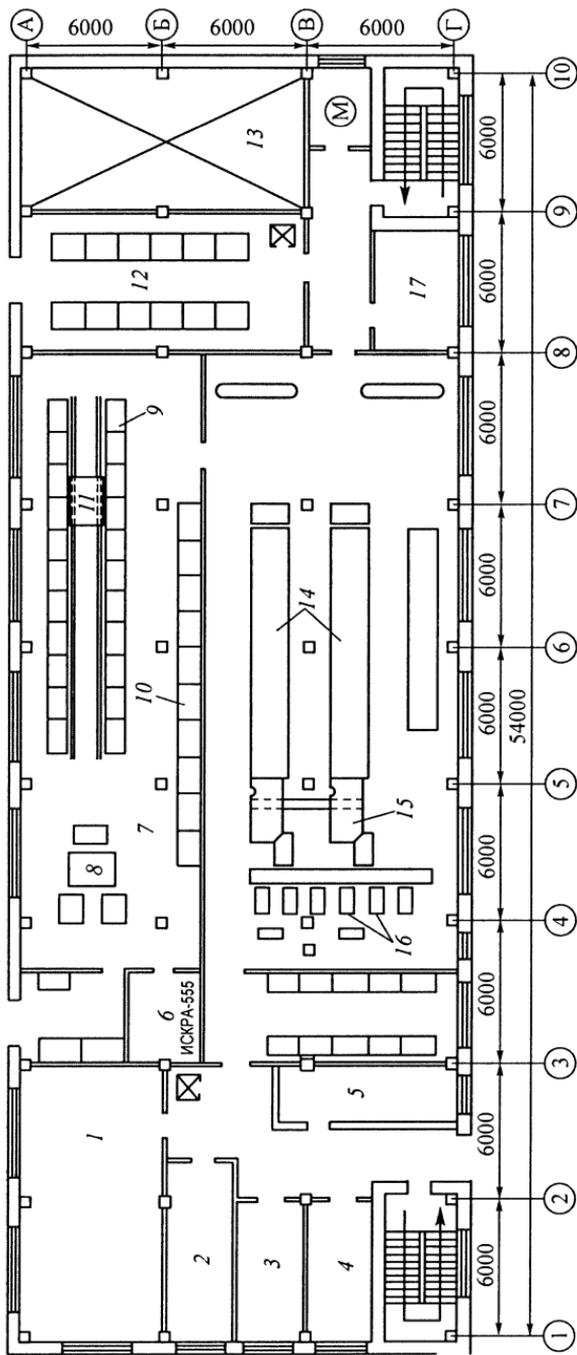
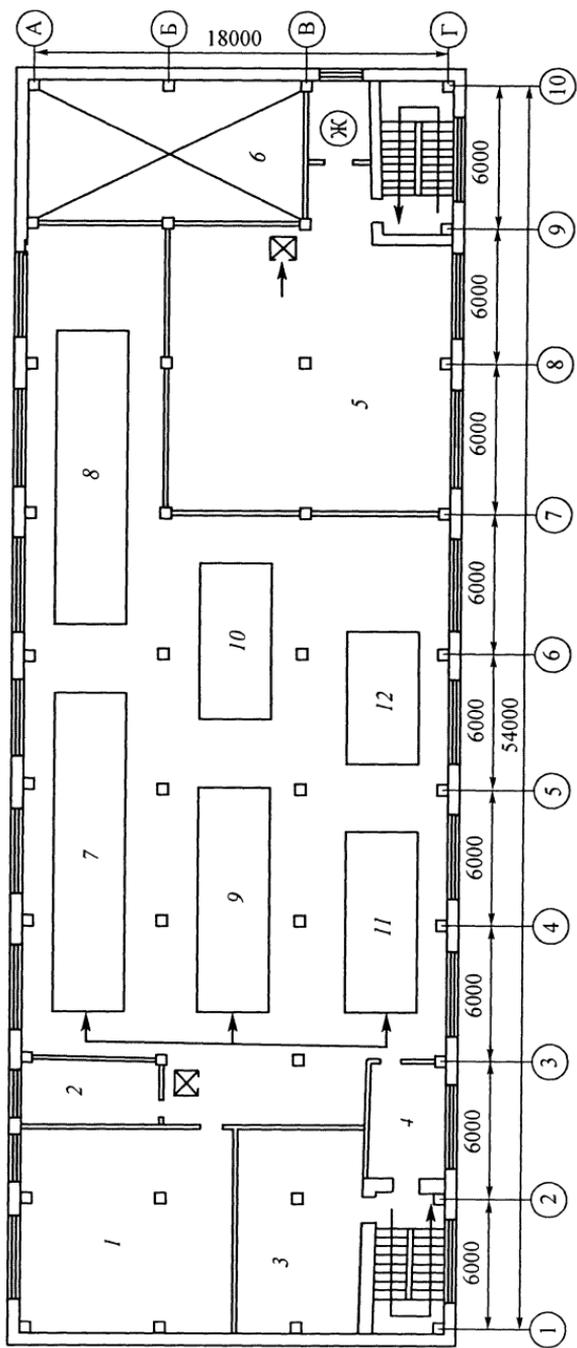


Рис. 5.1. План 1-го этажа швейного предприятия.

1 — гардероб; 2 — участок дублирования; 3 — контора цеха; 4 — отдел маркетинга; 5 — бюро пропусков; 6 — участок расчета тканей; 7 — подготовительный цех; 8 — браковочно-примерочный станок; 9 — полочные стеллажи 8-ярусные; 10 — полочные стеллажи 2-ярусные с поддонами; 11 — штабелер ТШП-89; 12 — склад готовой продукции; 13 — кондиционер КТЦ-3-63; 14 — настольные машины РЛ-6; 15 — раскройные машины РЛ-6; 16 — столы ручных работ; 17 — ремонтная мастерская



**Рис. 5.2.** План 2-го этажа швейного предприятия:

1 — буфет; 2 — контора цеха; 3 — салон для продажи изделий по образцам; 4 — ремонтная мастерская; 5 — участок ВТО и окончатальной отделки; 6 — кондиционер КТЦ-3-63; 7 — поток по изготовлению платья женского из шерстяной ткани; 8, 10, 12 — монтажная секция; 9 — поток по изготовлению платья-костюма женского; 11 — поток по изготовлению юбки женской

Наружные стены изготовлены из кирпича с эффективным утеплителем и отделкой с наружной стороны штукатуркой. Теплозащитные свойства наружных стен устанавливаются теплотехническим расчетом из условий энергосбережения.

Перегородки в зависимости от условий эксплуатации помещений изготавливаются из кирпича, гипсобетона, легкого бетона. Толщина перегородок из кирпича колеблется от 65 до 250 мм и панельных — от 100 до 120 мм.

Окна выполняются с двойным и тройным остеклением в деревянных переплетах. Теплотехнические характеристики окон приведены в табл. 5.5.

Лестницы предназначены для сообщения между этажами, а также для эвакуации людей в случае пожара и аварии. Количество лестниц выбирается в зависимости от длины предприятия, от количества людей, работающих в наиболее населенном этаже. Лестничные клетки располагаются по торцам здания.

Лифты в производственном здании устраиваются для наилучшей организации технологического потока по этажам. Шахты лифтов желательно разместить в торцах производственного здания около лестничных клеток, стены шахты лифта выполняются из кирпича толщиной 380 мм или монолитного железобетона толщиной 100 мм.

При определении границы зоны теплового дискомфорта пристенного участка унифицированная секция  $6 \times 6$  м в плоскости пола разбивается на квадраты со стороной 1,0 м (рис. 5.3).

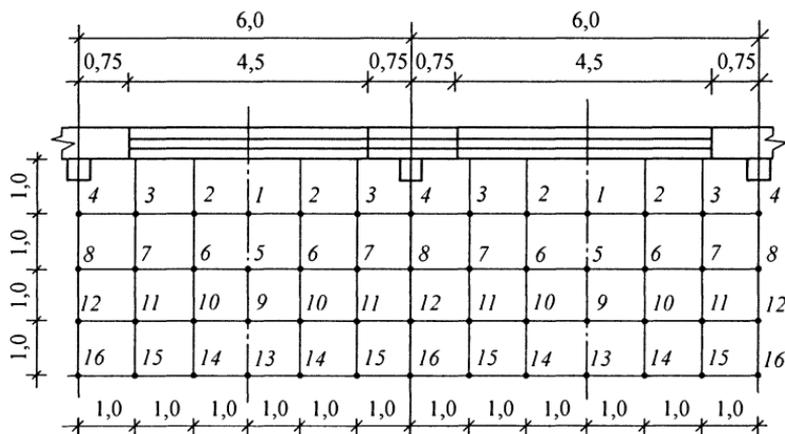


Рис. 5.3. Разбивка пристенного участка на квадраты размером 1,0 × 1,0 м

Разбивка на квадраты начинается с центра внутренней грани наружной стены, продолжается вправо и влево от него, с шагом 1,0 м. Последовательно для каждой точки квадрата посередине определяется расчетное средневзвешенное значение конвективно-лучистого теплового потока:

$$Q_{\text{ч.к.л}}^{\text{расч}} = Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л}}$$

По полученным значениям  $Q_{\text{ч.л}}$  и  $Q_{\text{ч.к}}$  проводим линию, характеризующую границу критерия комфортности, равную  $56 \text{ Вт/м}^2$ . Это и будет разделительная линия зоны теплового комфорта и дискомфорта.

### 5.3. Зона теплового комфорта и дискомфорта в швейном цехе

**Пример 5.1.** Помещение швейного цеха на предприятии сервиса малой мощности имеет размер  $18 \times 54 \text{ м}$  (рис. 5.1 и 5.2). Наружные стены выполнены из кирпича толщиной 25 см и утеплителя из пенопласта с наружной стороны толщиной 5 см и штукатурного слоя толщиной 3 см. В качестве заполнения светового проема используется двойное остекление в деревянных отдельных переплетах с сопротивлением теплопередач  $0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  (см. табл. 5.5). Размеры окна  $2,4 \times 4,5 \text{ м}$ .

Температуру внутреннего воздуха принимаем  $t_{\text{в}} = 20 \text{ °C}$ . В соответствии со СНиПом 23-01-99 «Строительная климатология» или табл. 5.4 для г. Москвы продолжительность отопительного периода составляет 213 сут со средней температурой  $t_{\text{от.пер}} = -3,6 \text{ °C}$ .

Сопротивление теплопередаче наружной стены определяем из условий энергосбережений по формуле (5.7) ГСОП =  $(20 + 3,6)213 = 5026,8 \text{ °C} \cdot \text{сут}$

По табл. 5.3 находим сопротивление теплопередаче наружной стены из условий энергосбережения  $R_0 = 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче окна (см. табл. 5.3) из условий энергосбережения составит  $0,325 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . Конструкции окна с такими теплотехническими свойствами нет в номенклатуре, поэтому по табл. 5.5 принимаем деревянное окно в деревянных спаренных переплетах с сопротивлением теплопередаче, равным  $0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

По формуле (5.9) находим температуру на внутренней поверхности наружной стены (простенка):

$$\tau_{\text{в}} = 20 - \frac{20 + 26}{8,7 \cdot 2,0} = 17,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По формуле (5.10) рассчитаем температуру на внутренней поверхности окна без учета инфильтрации:

$$\tau_{\text{в.ост}} = 20 - \frac{20 + 26}{8,5 \cdot 0,34} = 4,08 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Удельный вес внутреннего и наружного воздуха определяем по формуле (5.14):

$$\gamma_{\text{в}} = 9,81 \frac{353}{273 + 20} = 11,8 \text{ кг/м}^3$$

и

$$\gamma_{\text{н}} = 9,81 \frac{353}{273 - 26} = 14 \text{ кг/м}^3.$$

Разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции определяем по формуле (5.13):

$$\Delta p = 0,55 \cdot 15 (14 - 11,8) + 0,03 \cdot 14 \cdot 4,5^2 = 26,65 \text{ Па}.$$

Количество воздуха, прошедшего через окно, находим по формуле (5.12):

$$J = \frac{1}{0,2} \sqrt{\frac{26,6}{9,81}} = 8,25 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

По формуле (5.11) рассчитаем температуру на внутренней поверхности окна с учетом инфильтрации:

$$\tau_{\text{в.ост.инф}} = 4,08 - \left[ \frac{20 + 26}{0,34 \cdot 0,93} - \frac{20 + 26}{0,34} \right] \frac{1}{0,66 \cdot 0,278 \cdot 8,25} = -2,59 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Термическое сопротивление пакета одежды работницы выбираем в соответствии с данными табл. 5.1. Он состоит из шифона отбельного материала толщиной 0,39 мм с коэффициентом

теплопроводности  $0,053 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$  и ситца толщиной  $0,55 \text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $0,052 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ . Прибавка на свободное облучение по линии талии по приталенному силуэту женской одежды составит  $3,4 \text{ см}$  (см. табл. 2.2). По формуле (2.60) определим толщину воздушной прослойки:

$$\delta_{\text{воз.пр}} = \frac{3,4}{2 \cdot 3,14} - 0,096 = 0,445 \text{ см} \approx 4,5 \text{ мм}.$$

Для полученной воздушной прослойки  $4,5 \text{ мм}$  (см. табл. 2.5) термическое сопротивление составит  $0,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ . По формуле (5.4) определим термическое сопротивление пакета одежды:

$$R_{\text{п}} = \frac{0,00039}{0,053} + \frac{0,00055}{0,052} + 0,1 = 0,117 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче пакета одежды равно  $R_{\text{п.од}} = 0,217 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ .

Температуру на внешней поверхности пакета одежды находим по формуле (5.3). При этом температуру поверхности кожи под одеждой человека принимаем  $\tau_{\text{к}} = 33 \text{ }^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплообмена у внешней поверхности одежды  $\alpha_{\text{ч}} = 7,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , периметр рассматриваемой части тела  $L_{\text{внут}} = 0,9 \text{ м}$ , толщина слоев пакета одежды  $\delta_{\text{т}} = 0,00096 \text{ м}$ :

$$\tau_{\text{ч}} = 20 + \frac{33 - 20}{0,217 \cdot 7 + 1} \cdot \frac{0,9}{0,95 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,00096} = 25,16 \text{ }^\circ\text{С}.$$

По графикам рис. 2.10 находим значения коэффициентов углового облучения на расстоянии  $1 \text{ м}$  от наружной стены. В точке 1 значение коэффициента углового облучения составит  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,66$ , в точке 2 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,575$ , в точке 3 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,33$ , в точке 4 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,19$ .

На расстоянии  $2 \text{ м}$  от наружной стены в точке 5 коэффициент углового облучения составит  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,37$ , в точке 6 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,335$ , в точке 7 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,22$ , в точке 8 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,17$ .

На расстоянии  $3 \text{ м}$  от наружной стены в точке 9 коэффициент углового облучения составит  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,245$ , в точке 10 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,215$ , в точке 11 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,16$ , в точке 12 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,12$ .

Значение лучистого теплового потока между человеком и окном определяем по формуле (5.5) с учетом коэффициентов угло-

вого облучения на расстоянии 1 м от поверхности стены. В точке 1 лучистый тепловой поток составит

$$Q_{\text{ч.л-ост}} = \frac{1}{\frac{1}{4,2} + \frac{1}{5,2} - \frac{1}{5,76}} \left[ \left( \frac{25,16 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{-2,59 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,66 =$$

$$= 64,64 \text{ Вт/м}^2.$$

Далее найдем значение лучистого теплового потока в точках 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 определим в соответствии с графиками рис. 2.10. Результаты расчета сведены в табл. 5.6.

**Таблица 5.6. Значения конвективно-лучистых тепловых потоков в пристенном участке помещения между человеком и двойным остеклением в деревянных переплетах**

| Точки на плане рис. 5.3 | Лучистый тепловой поток между человеком и окном $Q_{\text{ч.л-ост}}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Лучистый тепловой поток между человеком и простенком стены $Q_{\text{ч.л-прост}}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Конвективный тепловой поток $Q_{\text{ч.к}}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Величина конвективно-лучистого теплового потока $Q_{\text{ч.к.л}} = Q_{\text{ч.л-ост}} + Q_{\text{ч.л-прост}} + Q_{\text{ч.к}}$ , Вт/м <sup>2</sup> |
|-------------------------|--|---|--|---|
| 1                       | 64,64  | 0,75  | 19,6   | 84,99   |
| 2                       | 59,95  | 1,97  | То же  | 81,52   |
| 3                       | 34,41  | 3,64  | »  | 57,65   |
| 4                       | 19,81  | 5,3   | »  | 44,71   |
| 5                       | 38,57  | 0,79  | »  | 58,96   |
| 6                       | 34,93  | 1,48  | »  | 56,01   |
| 7                       | 22,93  | 2,12  | »  | 44,65   |
| 8                       | 17,72  | 2,57  | »  | 39,89   |
| 9                       | 25,54  | 0,91  | »  | 46,05   |
| 10                      | 23,06  | 1,06  | »  | 43,72   |
| 11                      | 16,68  | 1,21  | »  | 37,43   |
| 12                      | 12,51  | 1,27  | »  | 33,38   |

Значения коэффициента углового облучения при лучистом тепловом потоке между человеком и простенком стены определим по графику в прил. П5. В точке 1 значение коэффициента углового облучения на расстоянии 1 м от простенка стены

$\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,025$ , в точке 2 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,065$ , в точке 3 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,12$ , в точке 4 —  $\varphi_{\text{ч-ост}} = 0,175$ .

На расстоянии 2 м от простенка стены в точке 5 коэффициент углового облучения  $\varphi_{\text{ч-ост}}$  составит 0,026, в точке 6 — 0,049, в точке 7 — 0,07, в точке 8 — 0,085.

На расстоянии 3 м от простенка стены в точке 9 коэффициент углового облучения  $\varphi_{\text{ч-ост}}$  составит 0,03, в точке 10 — 0,035, в точке 11 — 0,04, в точке 12 — 0,042.

Лучистый тепловой поток между человеком и простенком стены определяем по формуле (5.5) с учетом коэффициента углового облучения на расстоянии 1 м от поверхности простенка. В точке 1 лучистый тепловой поток

$$Q_{\text{ч.л.прост}} = \frac{1}{\frac{1}{4,2} + \frac{1}{5,1} - \frac{1}{5,76}} \times$$

$$\times \left[ \left( \frac{25,16 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{17,4 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,025 = 0,75 \text{ Вт/м}^2.$$

Значение лучистого теплового потока в точках 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 определяем в соответствии с графиками второй главы. Результаты расчета сведены в табл. 5.6.

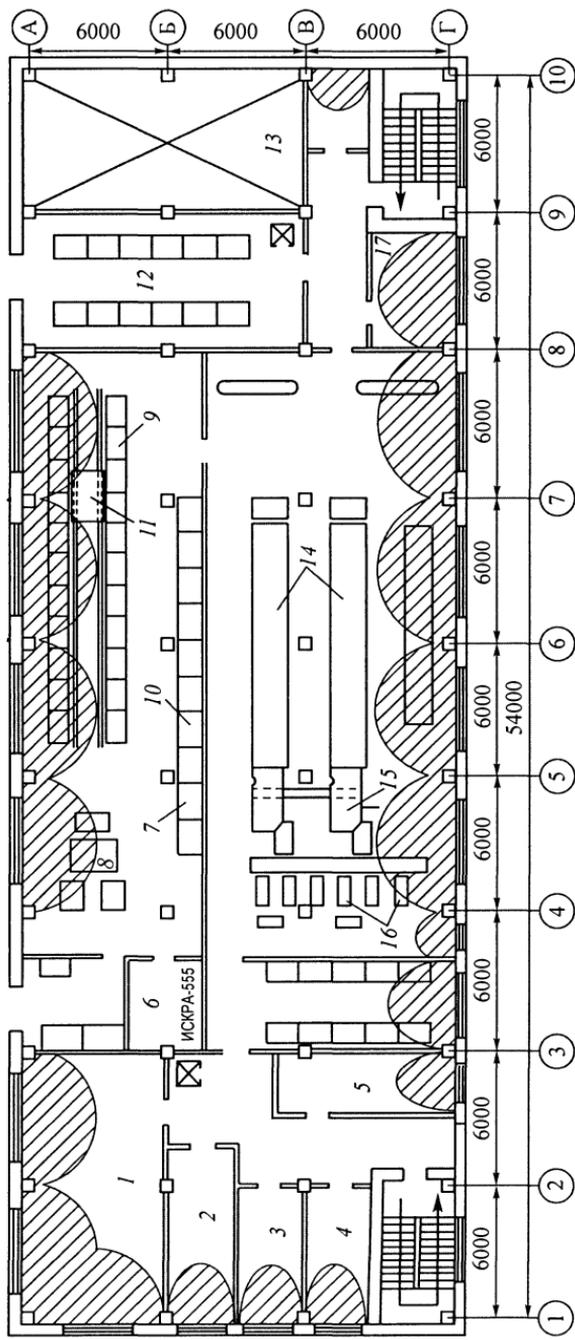
Конвективный тепловой поток в соответствии с формулой (5.2)

$$Q_{\text{ч.к.}} = 3,8(25,16 - 20) = 19,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Полученное значение сведем в табл. 5.6.

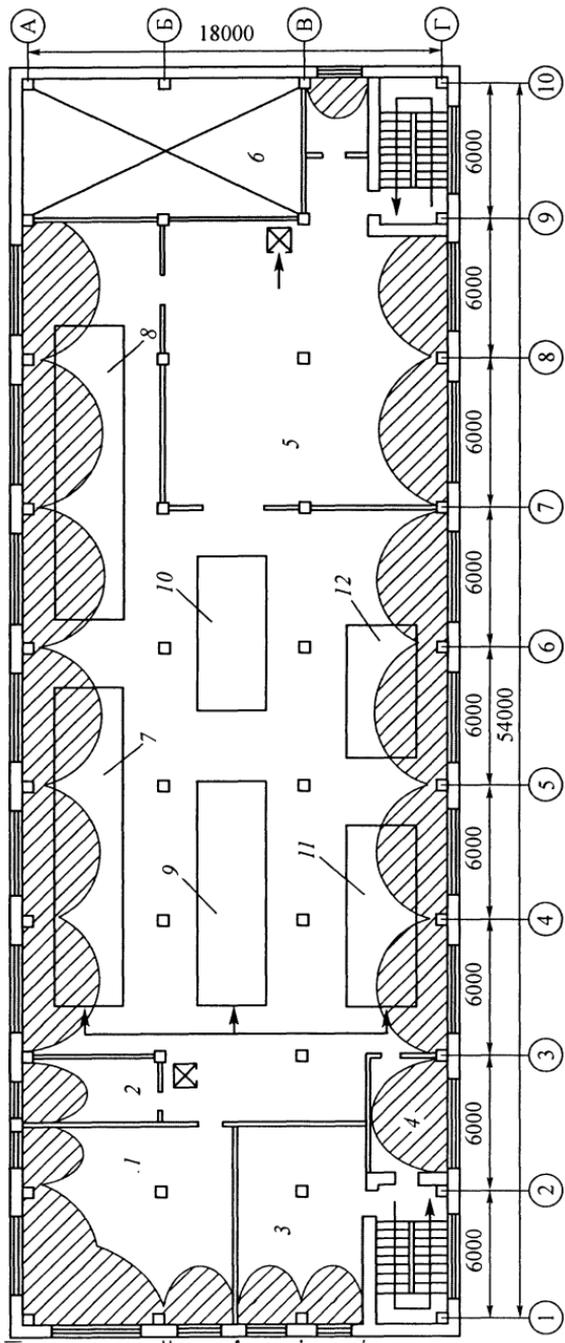
Как показывают результаты расчета конвективно-лучистого теплового потока (см. табл. 5.6, рис. 5.4 и 5.5), зона теплового дискомфорта в пристенном участке против середины окна составляет 2,9 м. Значительная часть работников, находящихся на технологическом потоке, оказывается в условиях теплового дискомфорта (см. рис. 5.4 и 5.5). Эти неблагоприятные условия могут стать причиной их профессиональных заболеваний.

Для уменьшения размеров зоны теплового дискомфорта предлагается повысить теплозащитные свойства окон путем устройства эффективной светопрозрачной отражательной пленки с коэффициентом излучения  $3,0 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , тройным остеклением или светопрозрачными отражательными стеклами. В этом случае сопротивление теплопередаче увеличится с 0,34 до 0,54 ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .



**Рис. 5.4.** Зона теплового дискомфорта в пристенном участке помещения при двойном остеклении в деревянных переплетах на 1-м этаже швейного предприятия:

1 — гардероб; 2 — участок дублирования; 3 — контора цеха; 4 — отдел маркетинга; 5 — бюро пропусков; 6 — участок расчиста тканей; 7 — подготовительный цех; 8 — браковочно-примерочный станок; 9 — полочные стеллажи 8-ярусные; 10 — полочные стеллажи 2-ярусные с поддонами; 11 — штабелер ТШП-89; 12 — склад готовой продукции; 13 — кондиционер КТЦ-3-63; 14 — настольный стол; 15 — раскройные машины РЛ-6; 16 — стол ручных работ; 17 — ремонтная мастерская



**Рис. 5.5.** Зона теплого дисконфорта в пристенном участке помещения при двойном остеклении в деревянных переплетах на 2-м этаже швейного предприятия:

1 — буфет; 2 — контора цеха; 3 — салон для продажи изделий по образцам; 4 — ремонтная мастерская; 5 — участок ВТО и окончательной отделки; 6 — кондиционер КТЦ-3-63; 7 — поток по изготовлению платья женского из шерстяной ткани; 8, 10, 12 — монтажная секция; 9 — поток по изготовлению платья-костюма женского; 11 — поток по изготовлению юбки женской

При этом число уплотняющих прокладок из пенополиуретана должно быть повышено до двух. Сопротивление воздухопроницанию составит

$$R_{\text{н}} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}.$$

Количество воздуха, прошедшего через окно, находим по формуле (5.12).

$$J = \frac{1}{0,44} \sqrt{\frac{26,6}{9,81}} = 3,74 \text{ кг/м}^2.$$

По формуле (5.9) определим температуру на внутренней поверхности окна с эффективной светопрозрачной отражательной пленкой без учета инфильтрации:

$$\tau_{\text{в.ост}} = 20 - \frac{20 + 26}{8,5 \cdot 0,54} = 10,02 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По формуле (5.11) находим температуру на внутренней поверхности окна с эффективной светопрозрачной отражательной пленкой с учетом инфильтрации:

$$\tau_{\text{в.ост.инф}} = 10,02 - \left[ \frac{20 + 26}{0,54 \cdot 0,97} - \frac{20 + 26}{0,54} \right] \frac{1}{0,66 \cdot 0,278 \cdot 3,74} = 6,21 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значение лучистого теплового потока между человеком и окном на расстоянии 1 м от поверхности стены в точке 1 рассчитаем по формуле (5.5):

$$Q_{\text{ч.л.ост}} = \frac{1}{\frac{1}{4,2} + \frac{1}{3,0} - \frac{1}{5,76}} \times \\ \times \left[ \left( \frac{25,16 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{6,21 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,66 = 28,77 \text{ Вт/м}^2.$$

Находим значения конвективно-лучистого теплового потока и результаты расчета сводим в табл. 5.7. Анализ данных этой таблицы показывает, что зона теплового дискомфорта снизилась с 2,7 м до 0,8 м. Если учесть, что в пристенном участке нормы прохода для движения тележек колеблется от 1,0 до 1,2 м, то все работницы в швейном цехе на технологическом потоке оказываются в условиях теплового комфорта.

**Таблица 5.7. Конвективно-лучистый тепловой поток в пристенном участке помещения между человеком и двойным остеклением в деревянных переплетах с эффективной светопрозрачной отражательной пленкой**

| Точки на плане рис. 5.3 | Лучистый тепловой поток между человеком и окном с эффективной светоотражательной пленкой $Q_{ч.л.ост}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Лучистый тепловой поток между человеком и простенком стены $Q_{ч.л.прост}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Конвективный тепловой поток $Q_{ч.к.}$ , Вт/м <sup>2</sup> | Величина конвективно-лучистого теплового потока $Q_{ч.л.к.} = Q_{ч.л.ост} + Q_{ч.л.прост} + Q_{ч.к.}$ , Вт/м <sup>2</sup> |
|-------------------------|--|--|--|---|
| 1                       | 31,44  | 0,75   | 19,6   | 51,79   |
| 2                       | 27,38  | 1,97   | То же  | 48,95   |
| 3                       | 15,71  | 3,64   | »  | 38,95   |
| 4                       | 9,04   | 5,3  | »  | 33,94   |
| 5                       | 17,62  | 0,79   | »  | 38,01   |
| 6                       | 15,95  | 1,48   | »  | 37,03   |
| 7                       | 10,47  | 2,12   | »  | 32,19   |
| 8                       | 8,09   | 2,57   | »  | 30,25   |
| 9                       | 11,66  | 0,91   | »  | 32,17   |
| 10                      | 10,24  | 1,06   | »  | 31,9  |
| 11                      | 7,62   | 1,21   | »  | 28,43   |
| 12                      | 5,71   | 1,27   | »  | 26,58   |

На внутреннем стекле в сторону воздушной прослойки поставлена эффективная светопрозрачная отражательная пленка.

Определим потери тепла через заполнение световых проемов для окна с двойным остеклением в деревянных переплетах размером 2,4 × 4,5 м:

$$Q_{ок} = \frac{t_{в} - t_{н}}{R_{ок}} F_{ок} = \frac{20 + 26}{0,34} \cdot 10,8 = 1461 \text{ Вт.}$$

Для окна с двойным остеклением в деревянных переплетах и эффективной светопрозрачной отражательной пленкой

$$Q_{ок} = \frac{20 + 26}{0,54} \cdot 10,8 = 920 \text{ Вт.}$$

Разница в потерях теплоты составит 541 Вт. Например, при продолжительности отопительного периода г. Москва 213 сут (см. табл. 5.4), стоимости 1 Гкал\* теплоты примерно 1000 руб. экономия от применения эффективной светопрозрачной отражательной пленки на один световой проем составит

$$Ц = \frac{541 \cdot 213 \cdot 24 \cdot 1000}{1\,163\,000} = 2377 \text{ руб.}$$

При учете общей экономии от применения эффективной светопрозрачной отражательной пленки 2377 руб. умножаем на число окон в производственном здании.

Таким образом, повышение теплотехнических свойств заполнения световых проемов позволяет создать комфортные условия на постоянных рабочих местах технологического потока и снизить потери теплоты.

---

\* 1 Гкал = 1 000 000 ккал = 1 163 000 Вт.

## **6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СЕРВИСА**

---

### **6.1. Метод расчета гигиенически целесообразной температуры для окон и наружных стен с учетом теплозащитных свойств одежды и размера зоны теплового дискомфорта**

В настоящее время на промышленных предприятиях требования по санитарно-гигиеническим условиям труда базируются на нормативных документах, определяющих тепловые условия человека в рабочей зоне по температуре, относительной влажности и скорости движения воздуха, но не учитывающих оценку его теплового состояния в одежде заданной утепленности по средневзвешенному тепловому потоку. Как следует из гл. 5, в зимнее время в пристенном участке помещения из-за низких температур на внутренней поверхности остекления на рабочих местах происходит интенсивный съем лучистого тепла с поверхности тела человека. Кроме того, приточные струи, поступающие из раздаточных воздухопроводов, усиливают конвективный съем тепла с поверхности одежды человека, в особенности если они превышают нормативные скорости движения воздуха.

Улучшить условия теплового комфорта на рабочих местах можно за счет повышения теплозащитных свойств одежды, увеличения теплоизоляционных свойств наружных ограждающих конструкций и рациональной системы воздухообмена.

Далее вводится новое понятие **гигиенически целесообразная температура внутренней поверхности посередине окна**, связываю-

шая теплозащитные свойства одежды человека и наружных ограждающих конструкций, зоны теплового комфорта и дискомфорта в пристенном участке помещения.

На основе комплексного подхода, связывающего конвективно-лучистый теплообмен человека в одежде с заданными теплозащитными свойствами с поверхностями ограждающих конструкций, путем решения уравнения теплового баланса определим гигиенически целесообразную температуру, обеспечивающую в пристенном участке помещения условия теплового комфорта. Нормирование по гигиенически целесообразной температуре  $\tau_{в.г.ц}$  и гигиенически целесообразному температурному перепаду  $\Delta t_{в.г.ц}$  для внутренней поверхности посередине окна и наружной стены базируется на решении системы уравнений теплового баланса, составленных из условий, что вся тепловая энергия, поступающая в помещение от нагревательного прибора и человека, теряется через наружные ограждения, а также, что человек находится на границе зоны теплового дискомфорта в центре пристенного участка и ее размеры максимальны. Теплофизические свойства пакета одежды учитываются средней температурой внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи ( $\bar{\tau}_ч$ ); теплозащитные свойства окон изменяются в зависимости от коэффициента воздухопроницаемости.

Расчет гигиенически целесообразной температуры выполним на основе следующих рассуждений. К внутренней поверхности наружной стены и светового проема тепловая энергия из помещения поступает:

посредством конвекции

$$Q_{в.к} = \alpha_{в.к}(t_b - \tau_b)F_b; \quad (6.1)$$

$$Q_{в.ост.к} = \alpha_{в.ост.к}(t_b - \tau_b)F_{ост}, \quad (6.2)$$

излучением от внутренних поверхностей помещения к поверхности наружной стены и окна

$$Q_{в.л} = \alpha_{в.л}(\tau_{в.п} - \tau_b)F_b \quad (6.3)$$

и

$$Q_{в.ост.л} = \alpha_{в.ост.л}(\tau_{в.п} - \tau_{в.ост})F_{ост}, \quad (6.4)$$

где  $Q_{в.к}$  и  $Q_{в.л}$  — объем конвективного и лучистого тепловых потоков, проходящих через наружные стены, Вт;  $Q_{в.ост.к}$  и  $Q_{в.ост.л}$  — объем конвективного и лучистого тепловых потоков, проходящих через окна, Вт;  $F_b$  и  $F_{ост}$  — площадь поверхности стены и окна, м<sup>2</sup>.

В помещение поступает тепловая энергия от отопительного прибора

$$Q_{\text{отп}} = K_{\text{отп}}(\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}})F_{\text{отп}}. \quad (6.5)$$

Здесь  $K_{\text{отп}}$  — коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(экм · °С);  $F_{\text{отп}}$  — расчетная площадь отопительного прибора, экм.

Передача теплоты излучением в подоконной нише от отопительного прибора на поверхность наружной стены

$$Q_{\text{отп-ст}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) 0,5 F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}}, \quad (6.6)$$

где  $C_{\text{отп}}$  — коэффициент излучения отопительного прибора, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $C_{\text{ст}}$  — коэффициент излучения поверхности стенки за отопительным прибором, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $\Omega_{\text{отп-ст}}$  — температурный коэффициент (см. рис. 1.9), характеризующий отношение  $(\tau_{\text{в.отп}} + \tau_{\text{в.ст.отп}})/2$  ( $\tau_{\text{в.отп}}$  — средняя температура на поверхности отопительного прибора).

Поступление теплоты от человека в помещение: посредством конвекции

$$Q_{\text{ч.к}} = \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}}, \quad (6.7)$$

излучением

$$Q_{\text{ч.л}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}} - \frac{1}{C_0} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}) \varphi_{\text{ч-в.п}} F_{\text{ч}}. \quad (6.8)$$

Общее уравнение теплового баланса

$$Q_{\text{в.к}} + Q_{\text{в.ост.к}} + Q_{\text{в.л}} + Q_{\text{в.ост.л}} + Q_{\text{отп-ст}} = Q_{\text{отп}} + Q_{\text{ч.к}} + Q_{\text{ч.л}}. \quad (6.9)$$

Подставим полученные выражения в уравнение теплового баланса (6.9) и получим

$$\begin{aligned} & \alpha_{\text{в.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.ост.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \\ & + \alpha_{\text{в.л}} (\tau_{\text{в.п}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.ост.л}} (\tau_{\text{в.п}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) 0,5 F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} + \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}} + \\
&+ \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}) \varphi_{\text{ч-в.п}} F_{\text{ч}}. \quad (6.10)
\end{aligned}$$

При определении значения гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности посередине окна  $\tau_{\text{в.ост.г.ц}}$  под  $\tau_{\text{в.п}}$  принимаем среднюю температуру внутренней поверхности помещения за вычетом внутренней температуры и поверхности окна, что позволяет считать  $\varphi_{\text{ч-в.п}} = 1 - \varphi_{\text{ч-ост}}$ . Из уравнения (6.10) определим гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом теплотехнических свойств наружной стены и расположения нагревательного прибора в подоконной нише:

$$\begin{aligned}
\tau_{\text{в.ост.г.ц}} = & [\alpha_{\text{в.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.л}} (\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \\
& + \alpha_{\text{в.ост.к}} t_{\text{в}} F_{\text{ост}} + \alpha_{\text{в.ост.л}} \tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} F_{\text{ост}} - K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} + \\
& + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}} - \\
& - \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ост}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ост}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ост}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}}) \times \\
& \times (1 - \varphi_{\text{ч-ост}}) F_{\text{ч}} ] / \alpha_{\text{в.ост}} F_{\text{ост}}, \quad (6.11)
\end{aligned}$$

где  $\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения за вычетом температуры на внутренней поверхности окна, °С;  $\Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ост}}$  — температурный коэффициент (см. рис. 1.9), характеризующий отношение  $(\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} + \tau_{\text{ч}}) / 2$ ;  $F_{\text{в.п}}^{\text{ост}}$  — средняя площадь внутренних поверхностей помещения за вычетом площади окна, м<sup>2</sup>.

При определении гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности наружной стены  $\tau_{\text{в.г.ц}}$  под  $\tau_{\text{в.п}}$  подразумевают среднюю температуру внутренней поверхности помещения за вычетом внутренней температуры и поверхности наружной стены, что позволяет считать  $\varphi_{\text{ч-в.п}}^{\text{ст}} = 1 - \varphi_{\text{ч.в}}$ . Гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности наружной стены с учетом теплотехнических свойств и площади окна, а также

расположения отопительного прибора в подоконной нише можно определить из уравнения (6.10):

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.г.ц}} = & \left[ \alpha_{\text{в.ост.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \alpha_{\text{в.ост.л}} (\tau_{\text{в.п}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \right. \\ & + \alpha_{\text{в.к}} t_{\text{в}} F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.л}} \tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}} F_{\text{в}} - K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст.отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}} - \\ & - \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ст}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ст}}} - \frac{1}{C_0} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ст}} (\bar{\tau}_{\text{в}} - \tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}}) \times \\ & \left. \times (1 - \varphi_{\text{ч-в}}) F_{\text{ч}} \right] / \alpha_{\text{в}} F_{\text{в}}, \end{aligned} \quad (6.12)$$

где  $\tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения за вычетом температуры на внк\утренних поверхностях наружной стены, °С;  $\Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ст}}$  — температурный коэффициент (см. рис. 1.9), характеризующий отношение  $(\tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}} + \tau_{\text{ч}})/2$ ;  $C_{\text{в.п}}^{\text{ст}}$  — средний коэффициент излучения внутренних поверхностей помещения за вычетом коэффициента излучения внутренней поверхности наружной стены, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $F_{\text{в.п}}^{\text{ст}}$  — средняя площадь внутренних поверхностей помещения за вычетом площади наружной стены, м<sup>2</sup>.

Если в уравнении теплового баланса (6.9) учесть дополнительное количество теплоты, вызванной понижением температуры внутренней поверхности остекления при инфильтрации  $A_{\text{ок}} c J (\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост}}^{\text{н}}) F_{\text{ост}}$ , то после соответствующих преобразований получим гигиенически целесообразную температуру на внутренней поверхности посередине окна с учетом его воздухопроницаемости, теплотехнических свойств наружной стены и расположения отопительного прибора в подоконной нише:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.ост.г.ц}} = & \left[ \alpha_{\text{в.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.л}} (\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.ост.к}} t_{\text{в}} F_{\text{ост}} + \right. \\ & + \alpha_{\text{в.ост.л}} \tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} F_{\text{ост}} + A_{\text{ок}} c J \tau_{\text{в.ост}}^{\text{н}} F_{\text{ост}} - K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\alpha_{\text{ч.к}}(\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}})F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ост}}}\left(\frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ост}}} - \frac{1}{C_0}\right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ост}} (\bar{\tau}_{\text{в}} - \tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}}) \times \\
 & \times (1 - \varphi_{\text{ч-ост}})F_{\text{ч}} ] / (\alpha_{\text{в.ост}} + A_{\text{ок}}cJ)F_{\text{ост}}. \quad (6.13)
 \end{aligned}$$

По аналогии с предыдущим определим гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности наружной стены с учетом теплотехнических свойств, воздухопроницаемости и площади окна и расположения нагревательного прибора в подоконной нише по формуле

$$\begin{aligned}
 \tau_{\text{в.ост.г.ц}} = & [\alpha_{\text{в.ост.к}}(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}})F_{\text{ост}} + \alpha_{\text{в.ост.л}}(\tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}} - \tau_{\text{в.ост}})F_{\text{ост}} + \\
 & + \alpha_{\text{в.к}}t_{\text{в}}F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.к}}\tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}}F_{\text{в}} - A_{\text{ок}}cJ(\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}})F_{\text{отп}} - \\
 & - K_{\text{отп}}(\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}})F_{\text{отп}} + \\
 & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст}}(\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}})F_{\text{отп}}\varphi_{\text{отп-ст}} - \\
 & - \alpha_{\text{ч.к}}(\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}})F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ст}}}\left(\frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ст}}} - \frac{1}{C_0}\right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ст}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}^{\text{ст}}) \times \\
 & \times (1 - \varphi_{\text{ч-в}})F_{\text{ч}} ] / \alpha_{\text{в}}F_{\text{в}}. \quad (6.14)
 \end{aligned}$$

Полученные формулы позволяют определить гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом теплотехнических свойств наружной стены и соотношения их площадей, а также гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности стены с учетом теплотехнических свойств окна и соотношения их площадей. В формулах (6.13) и (6.14) кроме перечисленных параметров учитывается воздухопроницаемость окон.

Для определения гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности посередине окна в помещении цеха с системой кондиционирования учитываются теплоизбытки  $Q_{\text{изб}}$ , которые должны быть поглощены за счет притока воздуха в количестве  $G_{\text{кол}}$ . Гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом теплотехнических

свойств наружной стены и соотношения их площадей, а также подачи воздуха на поглощение теплоизбытков определим по формуле

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.ост.г.ц}} = & \left[ \alpha_{\text{в.к}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.л}} (\tau_{\text{в.п.отп.об.св}}^{\text{ост}} - \tau_{\text{в}}) F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.ост.к}} t_{\text{в}} F_{\text{ост}} + \right. \\ & + \alpha_{\text{в.ост.л}} \tau_{\text{в.п.об.св}}^{\text{ост}} + A_{\text{ок}} c J F_{\text{ост}} - K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} n_{\text{отп}} + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст}}) F_{\text{отп}} \Phi_{\text{отп-ст}} - \\ & - \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ост}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ост}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ост}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п.об.св}}^{\text{ост}}) \times \\ & \left. \times (1 - \varphi_{\text{ч-в}}) F_{\text{ч}} - \sum Q_{\text{теп}} - Q_{\text{изб}} \right] / (\alpha_{\text{в.ост}} + A_{\text{ок}} c J) F_{\text{ост}}, \quad (6.15) \end{aligned}$$

где  $\tau_{\text{в.п.отп.об.св}}^{\text{ост}}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения, отопительного прибора, технологического оборудования, осветительных устройств за вычетом температуры на поверхности окна, °С.

Гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности наружной стены с учетом теплотехнических свойств окна и соотношения их площадей, а также подачи воздуха на поглощение теплоизбытков рассчитывают по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.ост.г.ц}} = & \left[ \alpha_{\text{в.остк}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \alpha_{\text{в.ост.л}} (\tau_{\text{в.п.отп.об.св}}^{\text{ст}} - \tau_{\text{в.ост}}) F_{\text{ост}} + \right. \\ & + \alpha_{\text{в.к}} t_{\text{в}} F_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.л}} \tau_{\text{в.п.об.св}}^{\text{ст}} F_{\text{в}} - A_{\text{ок}} c J (\tau_{\text{в.ост}} - \tau_{\text{в.ост.инф}}) F_{\text{ост}} - \\ & - K_{\text{отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - t_{\text{в}}) F_{\text{отп}} + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ост}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}}} \Omega_{\text{отп-ст}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) F_{\text{отп}} \Phi_{\text{отп-ст}} - \\ & - \alpha_{\text{ч.к}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) F_{\text{ч}} - \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в.п}}^{\text{ст}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.п}}^{\text{ст}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ст}} (\bar{\tau}_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п.об.св}}^{\text{ст}}) \times \\ & \left. \times (1 - \varphi_{\text{ч-в}}) F_{\text{ч}} - \sum Q_{\text{теп}} - Q_{\text{изб}} \right] / \alpha_{\text{в}} F_{\text{в}}, \quad (6.16) \end{aligned}$$

где  $\tau_{\text{в.п.об.св}}^{\text{ост}}$  — средняя температура внутренних поверхностей помещения, отопительного прибора, технологического оборудования, осветительных устройств за вычетом температуры на поверхности наружной стены, °С.

Полученные уравнения (6.11)—(6.14) позволяют по гигиенически целесообразной температуре получить оптимальные теплозащитные характеристики наружных стен и окон на основе взаимосвязи между теплоизоляционными свойствами одежды, теплотехническими свойствами наружных ограждающих конструкций с учетом инфильтрации воздуха через окна и размерам пристенной зоны теплового дискомфорта. В уравнениях (6.15) (6.16), кроме того, учитывается работа систем кондиционирования.

## 6.2. Повышение уровня теплового комфорта за счет теплозащитных свойств одежды, окон и наружных стен

**Пример 6.1.** Для административного помещения определить гигиенически целесообразную температуру на внутренней поверхности посередине окна. Общее сопротивление теплопередаче пакета одежды служащих составило  $0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , а средняя температура внешней поверхности одежды человека и открытые участки тела  $28,7 \text{ °С}$ . Температура внутреннего воздуха равна  $20 \text{ °С}$ , температура наружного воздуха —  $25 \text{ °С}$ . Определить гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна согласно уравнению (6.11).

При определении  $\tau_{\text{в.п.отп.св}}^{\text{ост}}$  температуры и поверхности в административном помещении  $5,6 \times 5,6 \text{ м}$  составит:

$$\text{перекрышки на окне } \tau_{\text{в.перем}} F_{\text{перем}} = 13 \cdot 0,5;$$

$$\text{перегородки } \tau_{\text{в.перг}} F_{\text{перг}} = 19 \cdot 53,8;$$

$$\text{пола } \tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} = 19 \cdot 31,4;$$

$$\text{потолка } \tau_{\text{а.пот}} F_{\text{пот}} = 19 \cdot 31,4;$$

$$\text{отопительного прибора } \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}} = 40 \cdot 3,9;$$

$$\text{светового проема } \tau_{\text{в.осл}} F_{\text{ост}} = 8,48 \cdot 13,2.$$

Средняя температура внутренних поверхностей помещения, отопительных приборов, осветительных устройств и их площади за вычетом температуры и поверхности окна:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{в.п.отп.св}} &= \frac{\tau_{\text{в.перем}} F_{\text{перем}} + \tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}}}{F_{\text{перем}} + F_{\text{перег}}} + \\ &+ \frac{\tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} + \tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} + \tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}}}{F_{\text{пол}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{отп}}} = \\ &= \frac{13 \cdot 0,5 + 19 \cdot 53,8 + 19 \cdot 31,4 + 19 \cdot 31,4 + 40 \cdot 3,9}{0,5 + 53,8 + 31,4 + 31,4 + 3,9} = 19,56 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Температуру внутренней поверхности посередине окна определим по формуле (3.86):

$$\tau_{\text{в.ост}} = (5,8 \cdot 20 + 4,65 \cdot 19,56 + \frac{20 + 25}{0,38}) \frac{1}{10,5} = 8,48 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Потери теплоты через ограждающие конструкции составят:

- для однослойной керамзитобетонной стены

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0} F_{\text{ст}} = \frac{20 + 25}{0,86} \cdot 5,13 = 268 \text{ Вт};$$

- для окна

$$Q_{\text{ост}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{0,\text{ост}}} F_{\text{ост}} = \frac{20 + 25}{0,38} \cdot 13,2 = 1569 \text{ Вт}.$$

Основные потери через ограждающие конструкции

$$\sum Q = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ост}} = 268 + 1569 = 1837 \text{ Вт}.$$

Добавочные теплотопотери на ориентацию 5 % и на скорость ветра 5 %

$$Q_{\text{д.теп}} = \sum \Theta + \Delta Q = 1837 + 184 = 2021 \text{ Вт}.$$

Действительный расход воды в отопительном приборе при температуре горячей воды 95 °С и обратной воды 70 °С составит

$$G = \frac{Q_{\text{д.теп}}}{c(t_{\text{г}} - t_{\text{о}})} = \frac{2021}{1,16(95 - 70)} = 69,4 \text{ кг/ч}.$$

Относительный расход воды в отопительном приборе для секционных радиаторов

$$G_{\text{отн}} = \frac{G}{17,4} = \frac{69,4}{17,4} = 3,98 \text{ кг/ч}.$$

Коэффициент теплопередачи отопительного прибора, состоящего из секции М-140, при подаче воды по схеме «сверху вниз» определим по формуле

$$K_{\text{отп}} = 2,08 \Delta t_{\text{ср}}^{0,32} G_{\text{отп}}^{0,33} = 2,08(64,5 - 20)^{0,32} \cdot 3,98^{0,33} = \\ = 7,26 \text{ Вт}/(\text{экм} \cdot ^\circ\text{C}),$$

где  $\Delta t_{\text{ср}}$  — разность между средней температурой воды в отопительном приборе и температурой воздуха в помещении,  $^\circ\text{C}$ .

Плотность теплового потока на 1 экм\* площади нагревательной поверхности прибора определим по формуле

$$q_3 = \frac{2,19}{K_{\text{попр}}} \Delta t_{\text{ср}}^{1,32} = \frac{2,19}{1,04} (64,5 - 20)^{1,32} = 316,8 \text{ Вт}/\text{экм},$$

где  $K_{\text{попр}}$  — поправочный коэффициент, учитывающий расход воды и схему присоединения отопительного прибора.

Общая площадь нагревательной поверхности отопительного прибора равна:

$$F_3 = \frac{Q_{\text{д.теп}}}{q_3} = \frac{2021}{316,8} = 6,37 \text{ экм}.$$

Установка отопительного прибора у наружной стены в деревянном шкафу с щелями увеличивает конвективный теплоъем и общую теплоотдачу. Это позволяет за расчетную поверхность отопительного прибора принять

$$F_3 = \frac{F_3}{1,2} = \frac{6,37}{1,2} = 5,3 \text{ экм},$$

что соответствует 17 секциям радиатора М-140 и  $F_3 = 17 \cdot 0,31 = 5,27$  экм или  $F_{\text{отп}} = 17 \cdot 0,244 = 4,14 \text{ м}^2$ .

Теплоотдача отопительного прибора в помещении

$$Q_{\text{отп}} = K_{\text{отп}} (t_r - t_v) F_3 = 7,27 (64,5 - 20) 5,27 = 1704,6 \text{ Вт}.$$

Радиаторные секции М-140 условно заменим плоскостью с поверхностью, равной 0,5  $F_{\text{отп}} = 2,07 \text{ м}^2$ , проходящей по оси радиаторов и параллельной плоскости поверхности стены за отопительным прибором. В этом случае угловой коэффициент облучения условной поверхности отопительного прибора высотой

\* Нагревательная поверхность отопительного прибора.

0,58 м и длиной 3,53 м на поверхности наружной стены за отопительным прибором, находящейся на расстоянии 0,1 м, с учетом соотношения  $\frac{0,58}{0,1} = 5,8$  и  $\frac{3,53}{0,1} = 35,3$  составит  $\varphi_{\text{отп-ст}} = 0,84$ .

При  $t_{\text{в}} = 20$  °С и  $t_{\text{н}} = -25$  °С температура на поверхности наружной стены за отопительным прибором составит  $\tau_{\text{в.ст.отп}} = 40$  °С.

Температурный коэффициент при  $\tau_{\text{в.отп}} = 64,5$  °С и  $\tau_{\text{в.ст.отп}} = 40$  °С будет в  $\Omega_{\text{отп-ст.отп}} = 1,4$ , а при  $\tau_{\text{ч}} = 28,7$  °С и  $\tau_{\text{в.п}}^{\text{ост}} = 19,65$  °С —  $\Omega_{\text{ч-в.п}}^{\text{ост}} = 1,04$ .

Теплообмен излучением между поверхностью отопительного прибора и поверхностью стенки за отопительным прибором:

$$Q_{\text{отп}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{отп}}} + \frac{1}{C_{\text{ст.отп}}} - \frac{1}{C_0}} \Omega_{\text{отп-ст.отп}} (\tau_{\text{в.отп}} - \tau_{\text{в.ст.отп}}) F_{\text{отп}} \varphi_{\text{отп-ст}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{5,23} + \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76}} \cdot 1,4 (64,5 - 40) 2,07 \cdot 0,84 = 283 \text{ Вт.}$$

Гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом теплофизических свойств наружной стены и соотношения их площадей определим по формуле (6.11):

$$\tau_{\text{в.ост.г.ц}} = [4,1(20 - 13)3,08 + 4,65(19,65 - 13)3,08 +$$

$$+ 5,8 \cdot 20 \cdot 13,2 + 4,65 \cdot 19,65 \cdot 13,2 - 7,26(64,5 - 20) 4,96 +$$

$$+ \frac{1}{\frac{1}{5,23} + \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76}} \cdot 1,4 (64,5 - 40) \cdot 2,05 \cdot 0,84 -$$

$$- 4,61(28,68 - 20)1,6 - \frac{1}{\frac{1}{4,1} + \frac{1,8}{134} \left( \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76} \right)} \cdot 1,04 \times$$

$$\times (28,68 - 19,65)(1 - 0,505) \cdot 1,6] / 10,5 \cdot 13,2 = 10,2 \text{ °С.}$$

Проведенные расчеты установили, что зона теплового дискомфорта в административном помещении с площадью остекления 16,5 м<sup>2</sup> от поверхности окна составляет 1,2 м (рис. 6.1).

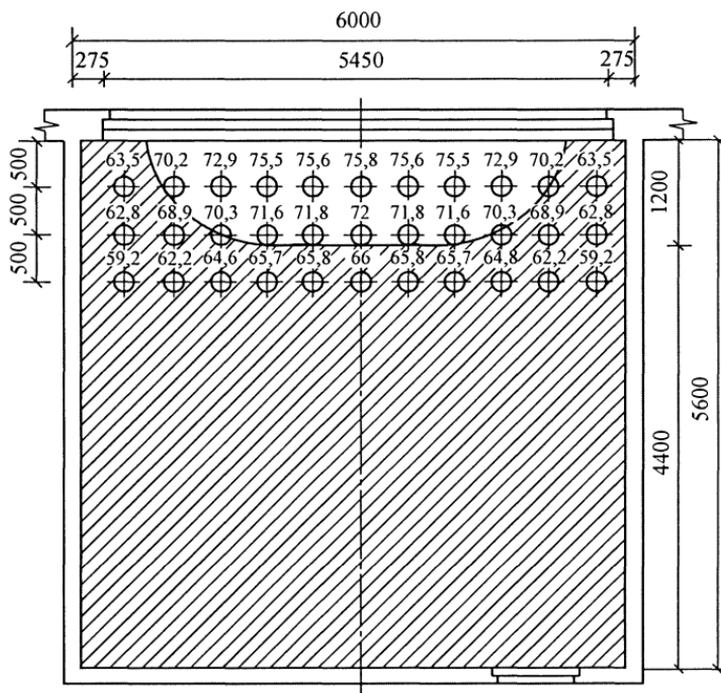


Рис. 6.1. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при  $t_{в} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{н} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{в,ост.г.ц} = 10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\tau_{ч} = 28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

При температуре на внутренней поверхности остекления  $6,84\text{ }^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 4.5), т. е. без учета гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности посередине окна, зона теплового дискомфорта составила 2,6 м. Для помещения размером  $5,6 \times 5,6\text{ м}$  полезная площадь, занимаемая зоной теплового дискомфорта, составляет 38 %. Повышение теплозащиты окна до гигиенически целесообразной температуры снизило полезную площадь, занимаемую зоной теплового дискомфорта, с 38 до 12 %.

**Пример 6.2.** В швейном цехе гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна и наружной стены определим из условий, что дискомфортные условия допускаются в пристенном участке и соблюдаются нормативные требования расстановки технологического оборудования на расстоянии 1,0...1,2 м от наружной стены [18], обеспечивающие

проход для работников. Граница, разделяющая зоны теплового дискомфорта и комфорта в центре пристенного участка не должна превышать 1,2 м от наружной стены, что позволяет создать условия теплового комфорта на постоянных рабочих местах.

Общее сопротивление теплопередаче пакета одежды работника составляет  $0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , средняя температура внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела —  $28,15 \text{ °C}$ .

Найдем гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна и наружной стены при  $t_{\text{в}} = 22 \text{ °C}$  и  $t_{\text{н}} = -25 \text{ °C}$  в помещении швейной фабрики, изготавливающей мужские сорочки.

Для определения средней температуры поверхности ограждающих конструкций швейного цеха размером  $18 \times 72 \text{ м}$  найдем ее составляющие:

- наружных стен  $\tau_{\text{в}} F_{\text{в}} = 13 \cdot 290$  ;
- световых проемов  $\tau_{\text{в.ост}} F_{\text{ост}} = 10 \cdot 307$ ;
- пола  $\tau_{\text{в.пол}} F_{\text{пол}} = 21 \cdot 1296$ ;
- потолка  $\tau_{\text{в.пот}} F_{\text{пот}} = 21 \cdot 1296$ ;
- внутренние стены  $\tau_{\text{в.перег}} F_{\text{перег}} = 21 \cdot 149,7$ ;
- отопительного прибора  $\tau_{\text{в.отп}} F_{\text{отп}} = 30,7 \cdot 53,5$ ;
- светильников  $\tau_{\text{в.св}} F_{\text{св}} = 55 \cdot 53$ .

Примем коэффициент теплоотдачи от машины  $5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{°C})$ . Развернутая площадь поверхности машин в швейном цехе  $F_{\text{об}} = 0,41 \cdot 106 + 0,43 \cdot 13 + 0,4 \cdot 11 = 53,45 \text{ м}^2$  (прил. П15)

$$\bar{\alpha}_{\text{в.об}} \sum F_{\text{об}} = 5,8 (0,41 \cdot 106 + 0,43 \cdot 13 + 0,4 \cdot 11) = 310,9.$$

Средняя температура работающего оборудования (см. с. 123) составит

$$\tau_{\text{в.об}} = 22 - \frac{30650,4(1 - 0,8 \cdot 0,98)}{0,133 \cdot 4420 + 310,9} = 30,7 \text{ °C}.$$

Определим численные значения средних температур помещения, как в примере 6.1, но с учетом работы технологического оборудования:

- средняя температура внутренних поверхностей помещения, отопительного прибора, технологического оборудования и осветительных устройств за вычетом температуры и поверхности окна  $\tau_{\text{в.п.отп.об.св}}^{\text{ст}} = 22 \text{ °C}$ ;

- средняя температура внутренних поверхностей помещения, отопительного прибора, технологического оборудования и осветительных устройств за вычетом температуры и поверхности стены  $\tau_{в.п.отп.об.св}^{ст} = 21,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Теплопоступления от электродвигателя и приводимого им оборудования в количестве 135 единиц определим по формуле

$$Q_{об} = 860 N_y K_{спр} \left( \frac{1}{K_n \eta_1} - 1 + K_m \right) n_{об} = 860 \cdot 0,46 \cdot 0,66 \times \\ \times \left( \frac{1}{0,8 \cdot 0,35} - 1 + 1 \right) 135 = 45\,467 \text{ Вт.}$$

Уровень энергозатрат для швей-мотористок и раскройниц настала в помещении швейного цеха примем  $Q_{ч} = 156 \text{ Вт}$  (см. табл. 1.9 и 1.11).

Теплопоступления от людей

$$Q_{люд} = Q_{ч} n_{ч} = 156 \cdot 135 = 21\,060 \text{ Вт,}$$

где  $n_{ч}$  = число работниц в цехе.

Теплопоступление от искусственного освещения люминесцентных ламп мощностью 0,04 кВт составит

$$Q_{осв} = N_{осв} F_{пол} \cdot 1000 = 0,035 \cdot 1296 \cdot 1000 = 45\,360 \text{ Вт.}$$

Здесь  $N_{осв} = 0,03 - 0,04 \text{ Вт/м}^2$ .

Теплопоступления от отопительных приборов равны  $Q_{отп} = 42\,477 \text{ Вт}$ .

Общие теплопоступления в помещении швейного цеха

$$\sum Q_{теп} = Q_{об} + Q_{люд} + Q_{осв} + Q_{отп} = 45\,467 + 21\,066 + 45\,360 + \\ + 42\,477 = 154\,364 \text{ Вт.}$$

Сопротивление теплопередаче кирпичной стены в швейном цехе составляет 0,76 и светового проема 0,31  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ .

Потери тепла через ограждающие конструкции:

- для кирпичной стены

$$Q_{ст} = \frac{t_{в} - t_{н}}{R_o} F_{ст} = \frac{(22 + 25)}{0,76} 290,1 = 17\,810 \text{ Вт;}$$

- для светового проема

$$Q = \frac{t_v - t_n}{R_{o,ост}} F_{ост} = \frac{(22 + 25)}{0,31} 307,4 = 46\,673 \text{ Вт.}$$

Теплообмен излучением между поверхностью отопительного прибора и поверхностью наружной стены за отопительным прибором

$$Q_{отп-ст} = \frac{1}{\frac{1}{C_{отп}} + \frac{1}{C_{ст.отп}} - \frac{1}{C_o}} \Omega_{отп-ст} (\tau_{в.отп} - \tau_{в.ст.отп}) \cdot F_{отп} \tau_{отп-ст} \times$$

$$\times \eta_{кол.отп} = \frac{1}{\frac{1}{5,23} + \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76}} \cdot 1,24(64,5 - 39)1,5 \cdot 0,84 \cdot 24 = 6190 \text{ Вт.}$$

Основные потери тепла через ограждающие конструкции

$$Q_{п} = Q_{ст} + Q_{ок} + Q_{отп.ст} = 17\,810 + 46\,673 + 6190 = 70\,674 \text{ Вт.}$$

Теплоизбытки в помещении швейного цеха объемом  $18 \times 72 \times 4,16 = 5391,4 \text{ м}^3$

$$Q_{изб} = \Sigma Q_{теп} - Q_{п} = 154384 - 70\,674 = 83\,750 \text{ Вт.}$$

Как отмечалось ранее, дискомфортные условия в пристенном участке швейного цеха допускаются при соблюдении нормативных требований расстановки технологического оборудования на расстоянии 1,1...1,2 м от наружной стены, обеспечивающие проход для работниц. Граница, разделяющая зоны теплового дискомфорта и комфорта, в центре пристенного участка должна не превышать эти размеры. Эти условия соблюдаются в соответствии с принятыми значениями гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности посередине окна  $\tau_{в.ост.г.ц} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  и гигиенической температуры внутренней поверхности стены  $\tau_{в.г.ц} = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$  при  $\bar{\tau}_ч = 28,15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Результаты расчета зон теплового комфорта и дискомфорта приведены на рис. 6.2.

В нашем примере теплоизбытки  $Q_{изб} = 83\,750 \text{ Вт}$  за счет притока воздуха в количестве  $30\,239 \text{ м}^3/\text{ч}$  должны быть поглощены (гл. 7). Гигиенически целесообразную температуру внутренней поверхности посередине окна с учетом теплотехнических свойств наружной стены и соотношения их площадей, а также

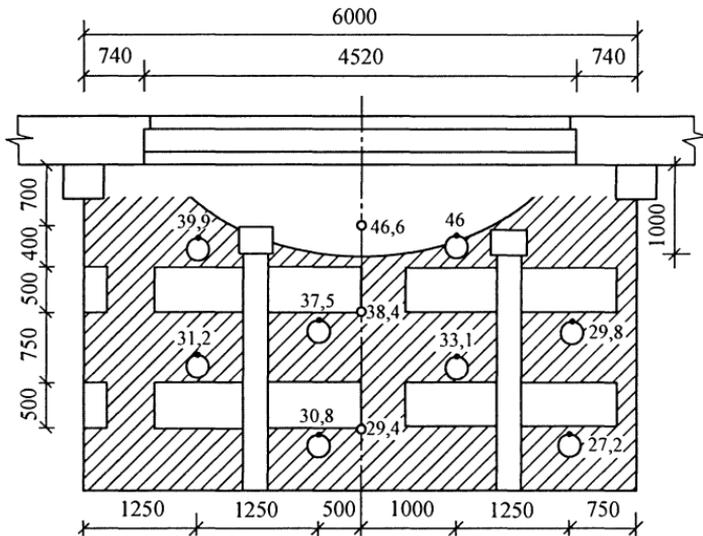


Рис. 6.2. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при  $t_{в} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{н} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{в.г.ц} = 14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\tau_{ч} = 28,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

подачи воздуха на поглощение теплоизбытков определим по формуле (6.15):

$$\begin{aligned} \tau_{в.ост.г.ц} = & [4,07 \cdot (22 - 15) \cdot 290 - 4,65 \cdot (21,32 - 15) \cdot 290 - 5,8 \times \\ & \times 22 \cdot 307,4 + 4,65 \cdot 21 \cdot 307,4 - 7,72 \cdot (55 - 22) \cdot 2,86 \cdot 24 + \\ & + \frac{1}{\frac{1}{5,23} + \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76}} \cdot 1,24 \cdot (55 - 30) \cdot 1,1 \cdot 0,84 \cdot 24 - \\ & - 3,43 \cdot (30,36 - 22) \cdot 1,6 - \frac{1}{\frac{1}{3,78} + \frac{1,6}{3772,4} \left( \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76} \right)} \times \\ & \times 1,07 \cdot (30,36 - 21,32) \cdot (1 - 0,59) \times \\ & \times 1,6 - 154384 + 83750] / 10,5 \cdot 304,7 = 12,3\text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Гигиенически целесообразная температура внутренней поверхности наружной стены с учетом теплотехнических свойств окна и соотношения их площадей, а также подачи воздуха на поглощение теплоизбытков составит  $\tau_{в.ост.г.ц} = 12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а гигиени-

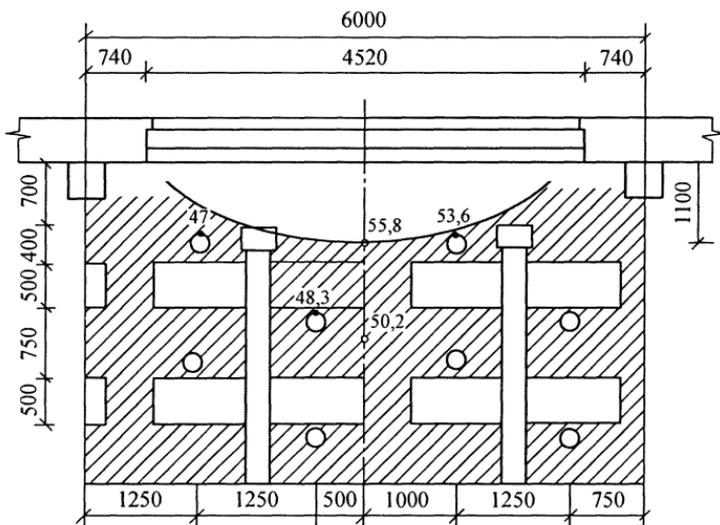


Рис. 6.3. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при  $t_{в} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{н} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{в.ост.г.ц} = 12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\tau_{ч} = 28,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

чески целесообразная температура внутренней поверхности стены определяется по формуле (6.16):  $\tau_{в.г.ц} = 14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 6.3).

Гигиенически целесообразная температура внутренней поверхности посередине окна должна ограничиться зоной теплового дискомфорта шириной не более 1,2 м. Эти условия в зимнее время обеспечиваются при гигиенически целесообразных температурах внутренних поверхностей посередине окна  $\tau_{в.ост.г.ц} = 12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и наружной стены  $\tau_{в.г.ц} = 14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  и позволяют получить размеры зоны теплового дискомфорта до 1,0 м (см. рис. 6.3). При этих условиях в швейном цехе размером  $24 \times 72\text{ м}$  полезная площадь, занимаемая зоной теплового дискомфорта, составит 10 %.

Таким образом, в пристенном участке помещения все рабочие места на технологическом потоке находятся в зоне теплового комфорта.

На основе проделанного анализа предлагаемое нормирование границы зоны теплового дискомфорта в пристенном участке помещений производилось с учетом общего сопротивления теплопередаче пакета одежды  $R_{о.п} = 0,23\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . При этом необходимо учитывать гигиенически целесообразные температуры и тем-

пературные перепады для окон и наружных стен. Предлагаемое нормирование позволит получить в зимнее время условия теплового комфорта на предприятиях, где люди при выполнении технологических процессов находятся на постоянных рабочих местах.

Достоверность предлагаемых гигиенически целесообразных температур подтверждается результатами гигиенических исследований Д. И. Исмаиловой\*, которая для световых проемов жилых и общественных зданий рекомендует принимать температуру на внутренних поверхностях остекления  $10,5...11,5$  °С. Исмамова считает, что в этом случае для человека в одежде ( $0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ) обеспечивается тепловой комфорт при температуре внутреннего воздуха  $20...22$  °С.

Для получения расчетных гигиенически целесообразной температуры на внутренней поверхности остекления необходимо повысить теплозащиту окон. Это можно достигнуть применением эффективных конструкций окон, имеющих повышенные теплоизоляционные свойства, приводящие к уменьшению до минимума размера зоны теплового дискомфорта в пристенном участке помещения.

### **6.3. Конструктивные мероприятия по созданию тепловых комфортных условий в производственных помещениях**

#### ***6.3.1. Теплозащитные свойства одежды и тепловой комфорт на швейных предприятиях***

В пристенном участке швейного цеха образуются нерегламентированные зоны теплового дискомфорта, захватывающие рабочие места на технологическом потоке. Традиционная одежда работниц швейного цеха, состоящая из белья и халата, с термическим сопротивлением  $0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$  и общим сопротивлением теплопередаче  $0,26 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , зимой не всегда обеспечивает тепловые комфортные условия, в особенности если рабочее место находится в пристенном участке помещения. Организм человека

---

\* Эти исследования приведены в работе Ю. Д. Губернского, Е. И. Корневской «Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий». 1978 г.

получает тепловое излучение от нагретых поверхностей и одновременно подвергается охлаждению со стороны остекленных поверхностей. Значение средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока, теряемое работницей, превышает  $56 \text{ Вт/м}^2$ .

Проведенные исследования [27] показали, что при  $t_b = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_n = -25 \text{ }^\circ\text{C}$  температура на внутренней поверхности посередине окна с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах составляет  $7,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . При средней температуре внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела  $\bar{t}_q = 28,15 \text{ }^\circ\text{C}$  общее сопротивление теплопередаче пакета одежды  $R_{o,n} = 0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ , а ширина зоны теплового дискомфорта в пристенном участке помещения равна  $4,2 \text{ м}$  (рис. 6.4). Таким образом, в швейном цехе размером  $24 \times 72 \text{ м}$  на зону теплового дискомфорта приходится  $35 \%$  полезной площади.

Дополнительное утепление пакета одежды работницы, находящейся в зоне теплового дискомфорта, двумя слоями ватина с тер-

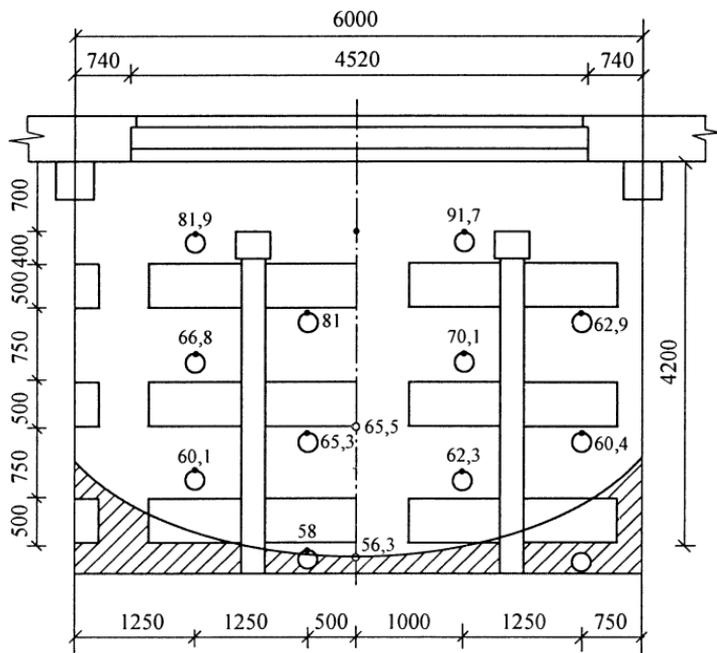


Рис. 6.4. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при  $t_b = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{в,ост} = 7,6 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_q = 28,15 \text{ }^\circ\text{C}$ :

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

мическим сопротивлением  $0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  повысило общее сопротивление теплопередаче пакета одежды с  $0,26$  до  $0,41 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . При этом средняя температура внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела снизилась с  $28,15$  до  $26,4 \text{ °C}$ . Проведенный анализ установил, что благодаря дополнительному утеплению пакета одежды работницы ощущают тепловой комфорт, даже находясь в зоне дискомфорта. Граница между зоной теплового комфорта и дискомфорта показана на рис. 6.5. Максимального значения  $1,15 \text{ м}$  эта зона достигает в центре пристенного участка. Это соответствует нормативным требованиям, допускающим проход от наружных ограждающих конструкций до технологического потока  $1,0...1,2 \text{ м}$ .

Теплоизоляционные свойства одежды можно повысить, используя для ее внешней поверхности материалы с малыми коэффициентами излучения. Составим уравнение теплового баланса и установим взаимосвязи между теплозащитой одежды и коэффициентами излучения ее внешней поверхности. Количество теплоты, проходящей через пакет одежды  $\frac{\tau_k - \tau_{\text{ч}}}{R_n}$ , соответствует

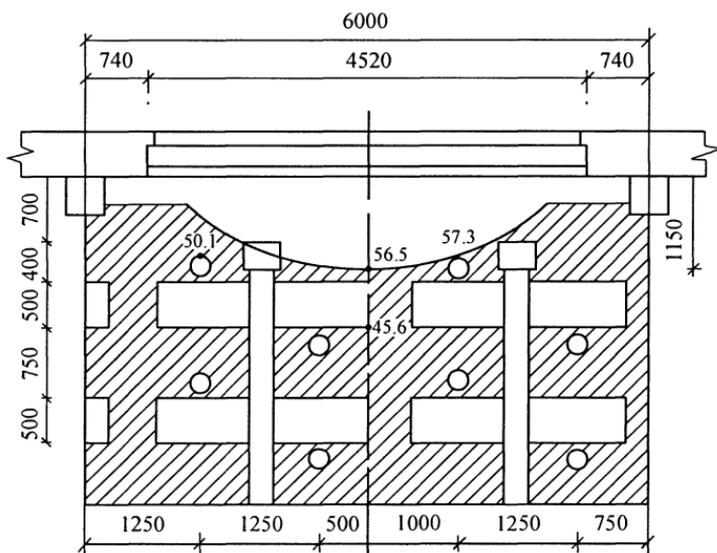


Рис. 6.5. Зоны теплового дискомфорта и комфорта при  $t_{\text{в}} = 22 \text{ °C}$ ,  $t_{\text{н}} = -25 \text{ °C}$ ,  $\tau_{\text{в.ост}} = 7,6 \text{ °C}$  и  $\tau_{\text{ч}} = 26,4 \text{ °C}$ :

□ — зона теплового дискомфорта; ▨ — зона теплового комфорта

количеству конвективной  $\alpha_{ч,к}(\tau_ч - t_b)$  и лучистой теплоотдачи с поверхности одежды человека:

$$\frac{1}{\frac{1}{C_ч} + \frac{F_ч}{F_{в.п}} \left( \frac{1}{C_{в.п}} - \frac{1}{C_o} \right)} \Omega_{ч-в.п} (\tau_ч - \tau_{в.п}).$$

Сопrotивление теплопередаче пакета одежды

$$R_{п} = (\tau_к - \tau_ч) /$$

$$/ \left[ \frac{1}{\frac{1}{C_ч} + \frac{F_ч}{F_{в.п}} \left( \frac{1}{C_{в.п}} - \frac{1}{C_o} \right)} \Omega_{ч-в.п} (\tau_ч - \tau_{в.п}) + \alpha_{ч,к} (\tau_ч - t_b) \right]. \quad (6.17)$$

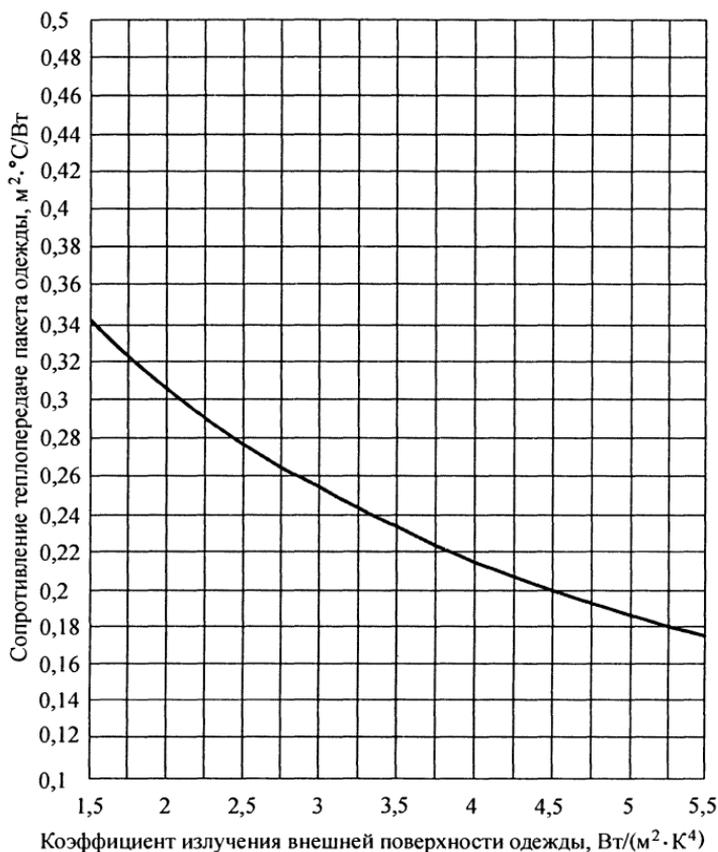
Анализ уравнения (6.17) позволил установить взаимосвязи между сопротивлением теплопередаче пакета одежды и коэффициентом излучения ее внешней поверхности. На графике (рис. 6.6) видно, что по мере уменьшения коэффициента излучения внешней поверхности одежды с 5 до 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) сопротивление теплопередаче возрастает с 0,18 до 0,34 м<sup>2</sup> · °С/Вт и его повышение уменьшает сопротивление теплопередаче. Эта зависимость получена при  $t_b = 22$  °С,  $\tau_ч = 28,15$  °С,  $\tau_к = 33$  °С,  $\tau_{в.п} = 21,1$  °С,  $C_{в.п} = 4,65$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) и  $F_ч = 1,80$  м<sup>2</sup>.

Проанализируем влияние материалов внешней поверхности одежды с различными коэффициентами излучения на средневзвешенный конвективно-лучистый поток  $Q_{ч,к,л}$  по уравнению

$$Q_{ч,к,л} = \alpha_{ч,к} (\tau_ч - t_b) + \frac{1}{\frac{1}{C_ч} + \frac{F_ч}{F_{в.п}} \left( \frac{1}{C_{в.п}} - \frac{1}{C_o} \right)} \Omega_{ч-в.п} (\tau_ч - \tau_{в.п}). \quad (6.18)$$

В уравнении (6.18)  $\tau_{в.п.св.об}$  является средней температурой всех внутренних поверхностей и поэтому  $\varphi_{в.п.св.об} = 1$ .

Результаты анализа уравнения (6.18) с ранее принятыми параметрами приведены на рис. 6.7. Установлена взаимосвязь между средневзвешенным конвективно-лучистым тепловым потоком, теряемым работницей, и величиной коэффициента излучения внешней поверхности одежды. Теплоотдача излучением  $Q_{ч,л}$  с по-



**Рис. 6.6.** Изменение сопротивления теплопередаче пакета одежды в зависимости от коэффициента излучения внешней его поверхности при  $t_{\text{в}} = 22 \text{ }^\circ\text{С}$  и  $\tau_{\text{ч}} = 28,15 \text{ }^\circ\text{С}$

вышением коэффициента излучения увеличивается, а с его уменьшением сопротивление теплопередаче понижается. Значение теплоотдачи конвекцией остается постоянным  $\alpha_{\text{ч,к}} = 3,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$ .

Проведенный теоретический анализ уравнений (6.17) и (6.18) установил, что для внешней поверхности пакета одежды работников швейных цехов рациональным является использование материалов светлых тонов. Их коэффициент излучения колеблется в пределах  $3 \dots 4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ . Материалы светлых тонов повышают теплозащиту пакета одежды без дополнительной теплоизоляции. Уменьшение коэффициента излучения у материала внешней поверхности одежды с  $5,0$  до  $3,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  увеличивает ее

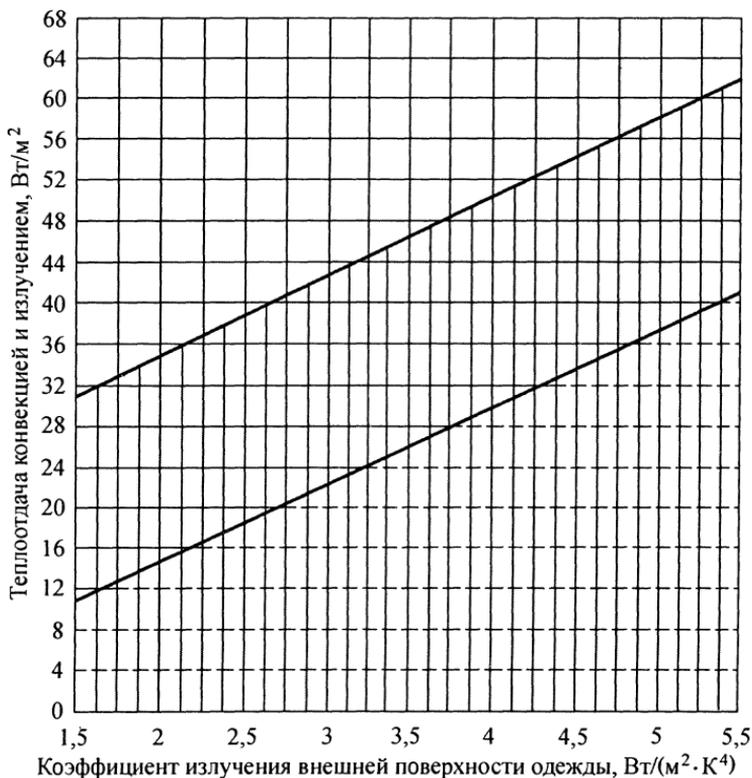


Рис. 6.7. Изменение конвективно-лучистого потока в зависимости от коэффициента излучения внешней поверхности одежды при  $t_b = 22^\circ\text{C}$  и  $\tau_q = 28,15^\circ\text{C}$ :



теплоизоляционные свойства на  $0,07 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , что соответствует термическому сопротивлению одного слоя ватина.

Значение средневзвешенного конвективно-лучистого потока при коэффициенте излучения материала внешней поверхности одежды  $4,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  составляет  $56 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Снижение коэффициента излучения до  $3,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  позволяет получить средневзвешенный конвективно-лучистый тепловой поток  $44 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Таким образом, светлые тона внешней поверхности одежды уменьшают лучистую теплоотдачу человека, повышают теплозащитные свойства одежды и создают условия теплового комфорта на рабочих местах.

### 6.3.2. Эффективная воздухозадача и тепловой комфорт в помещениях предприятий

В средней части помещения тепловой режим определяется эффективностью работы системы вентиляции. Опыт эксплуатации швейных цехов показывает, что приточные струи, поступающие из воздуховодов в рабочую зону, не всегда обеспечивают заданные параметры температуры и скорости движения воздуха. Нормы допускают на постоянных рабочих местах оптимальные скорости движения воздуха в холодный и переходный периоды не более 0,2 м/с и теплый период года от 0,2 до 0,5 м/с.

Средневзвешенный конвективно-лучистый тепловой поток с поверхности тела человека на рабочем месте определим по уравнению

$$Q_{ч.к.л} = \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_{в}) + \frac{1}{\frac{1}{C_{ч}} + \frac{F_{ч}}{F_{в.п.об.св}} \left( \frac{1}{C_{в.п.об.св}} \cdot \frac{1}{C_{о}} \right)} \times \\ \times \left[ \left( \frac{\tau_{ч} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{в.п.об.св} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{в.п.об.св}. \quad (6.19)$$

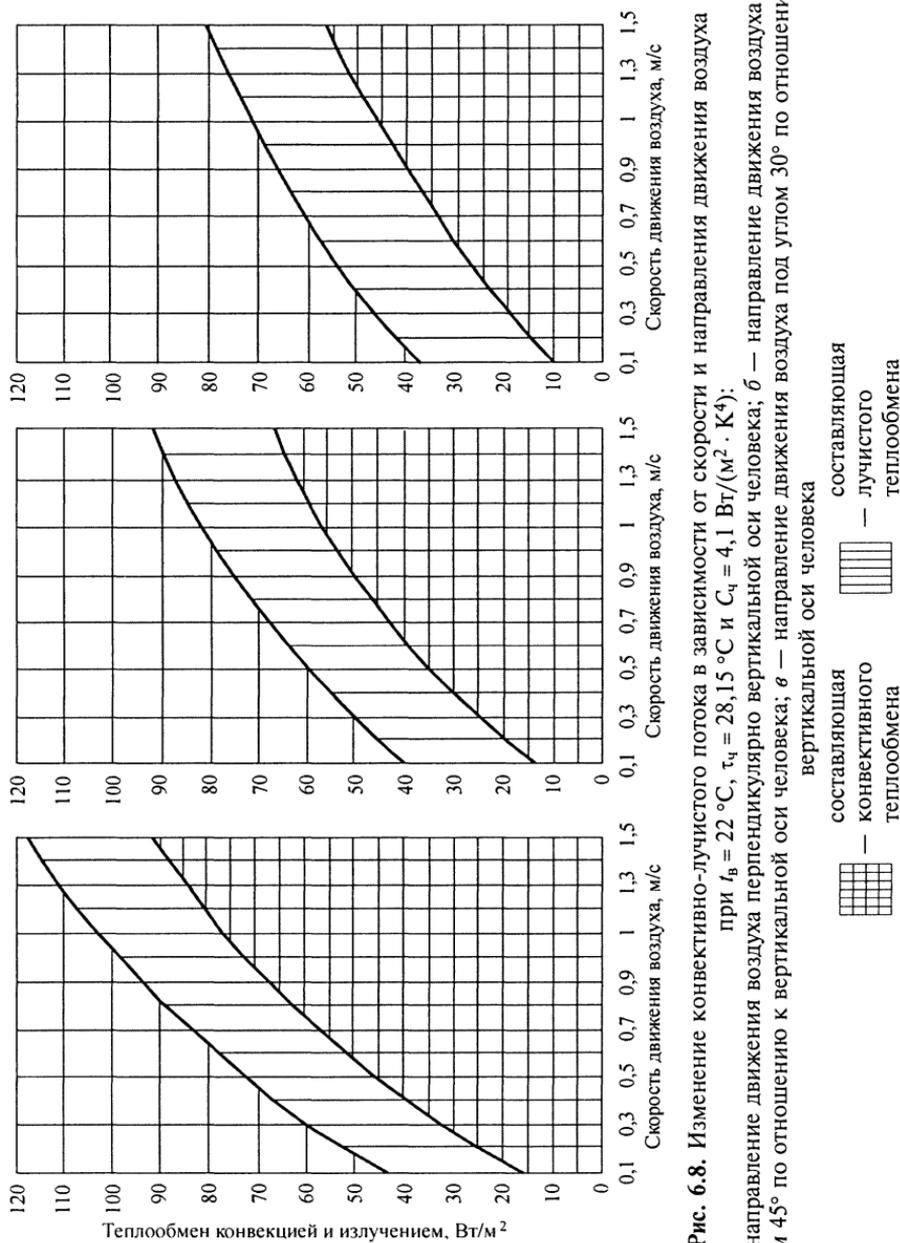
В уравнении (6.19)  $\tau_{в.п.об.св}$  является средней температурой всех внутренних поверхностей и равен 1.

Анализ уравнения (6.19) показывает, что значение средневзвешенного потока, теряемого человеком, зависит от коэффициента теплообмена конвекцией, составляющими которого являются коэффициент теплопроводности и кинематическая вязкость воздуха, и, главным образом, скорость движения воздуха. Взаимосвязи между скоростью движения воздуха и коэффициентом теплоотдачи конвекцией, установленные аналитическим путем, сведены в табл. 6.1. Из этих данных следует, что в зависимости от оси направления и скорости движения воздуха по отношению к вертикальной оси человека коэффициенты теплоотдачи конвекцией могут изменяться в широком диапазоне. Установлено, что коэффициент теплоотдачи конвекцией имеет максимальное значение при направлении движения воздуха под углом 90° к вертикальной оси человека и снижается по мере его уменьшения до 45 и 30°.

Под воздействием приточных воздушных струй с поверхности человека теплоотдача конвекцией может значительно изме-

6. Таблица 6.1. Коэффициент теплоотдачи конвекцией с поверхности человека в зависимости от направления движения воздуха, Вт/(м<sup>2</sup> · °С)

| Направление движения воздуха | Скорость движения воздуха, м/с |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|                              | 0,01                           | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,1  | 0,2  | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0 | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 2,0  |      |
| <p>90°</p>                   | 0,7                            | 1,4  | 1,9  | 2,4  | 2,7  | 2,9  | 4,4  | 5,6 | 6,7 | 7,7 | 8,5 | 9,4  | 10,2 | 11,6 | 13  | 13,6 | 14,2 | 14,8 | 14,8 | 17,6 | 17,6 |
| <p>45°</p>                   | 0,5                            | 1,0  | 1,4  | 1,8  | 2,0  | 2,2  | 3,2  | 4,1 | 4,9 | 5,6 | 6,2 | 6,9  | 7,4  | 8,0  | 8,5 | 9,5  | 9,9  | 10,3 | 10,8 | 12,8 | 12,8 |
| <p>30°</p>                   | 0,4                            | 0,85 | 1,15 | 1,45 | 1,6  | 1,75 | 2,65 | 3,4 | 4,0 | 4,6 | 5,1 | 5,65 | 6,1  | 6,55 | 7,0 | 7,8  | 8,2  | 8,5  | 8,9  | 10,6 | 10,6 |



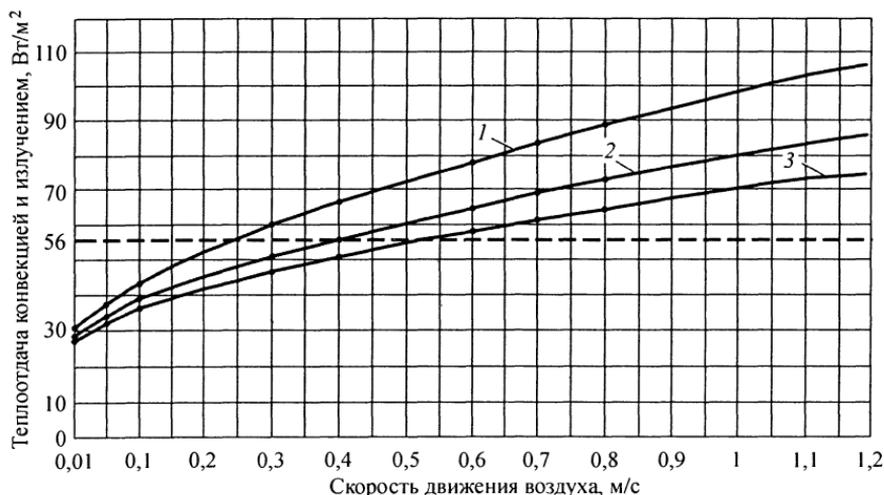
**Рис. 6.8.** Изменение конвективно-лучистого потока в зависимости от скорости и направления движения воздуха

при  $t_b = 22^\circ\text{C}$ ,  $t_q = 28,15^\circ\text{C}$  и  $C_q = 4,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

*а* — направление движения воздуха перпендикулярно вертикальной оси человека; *б* — направление движения воздуха под углом  $45^\circ$  по отношению к вертикальной оси человека; *в* — направление движения воздуха под углом  $30^\circ$  по отношению к

няться по сравнению с теплоотдачей излучением. Получены зависимости, связывающие направления и скорость движения воздуха с теплоотдачей конвекцией и излучением. На графиках (рис. 6.8) видно, что теплоотдача излучением остается постоянной, а теплоотдача конвекцией увеличивается по мере повышения скорости движения воздуха и снижается с изменением угла направления обдува человека от  $90^\circ$  до  $30^\circ$ .

Изменение средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока с поверхности человека в зависимости от скорости и направления движения воздуха показано на рис. 6.9. На рисунке также приведены оптимальные величины средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока  $56 \text{ Вт/м}^2$  и пределы нормативных значений скорости движения воздуха для летнего и зимнего периодов. Из анализа графиков следует, что в зимних условиях постоянные рабочие места могут обдуваться приточными струями под различными углами, что позволяет на них создать условия теплового комфорта. В летнее время такой обдув постоянных рабочих мест приточным воздухом под углом  $90^\circ$  может создать ощущения теплового дискомфорта. Для приточной струи,



**Рис. 6.9.** Теплотери конвективно-лучистого потока с поверхности одежды человека при  $t_b = 22^\circ\text{C}$ ,  $\tau_c = 28,15^\circ\text{C}$  и  $C_q = 4,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ :

1 — направление движения воздуха перпендикулярно вертикальной оси человека; 2 — направление движения воздуха под углом  $45^\circ$  по отношению к вертикальной оси человека; 3 — направление движения воздуха под углом  $30^\circ$  по отношению к вертикальной оси человека

направленной на человека под углом  $45^\circ$ , тепловым комфортным условиям отвечают скорости движения воздуха до  $0,4$  м/с. Оптимальные условия теплового комфорта обеспечиваются при направлении движения воздуха под углом  $30^\circ$  к человеку.

Условий теплового комфорта на рабочих местах в зимнее и летнее время можно добиться путем установки в приточных воздуховодах воздухораспределителей ВЭПШ. Они образуют закручивающиеся струи, в которых наблюдается интенсивное падение скорости. По мере удаления от воздухораспределителя закрученная струя трансформируется в прямооточную и приобретает большую площадь поперечного сечения. Использование этой системы на текстильном комбинате в г. Озеры позволило направить воздушный поток на рабочие места под углом  $30...40^\circ$ , и скорость движения воздуха изменялась от  $0,1$  до  $0,4$  м/с. В летних и зимних условиях на рабочих местах были созданы тепловые комфортные условия, что привело к повышению производительности труда.

Для швейных цехов влажно-тепловой обработки и отделки можно рекомендовать устройство специальных опусков с воздухораспределителями ВЭПШ. В цехе первой ткацкой фабрики на комбинате в г. Егорьевск за счет эффективной системы воздухо-раздачи скорость движения воздуха на рабочих местах в зимний и летний периоды колеблется от  $0,1$  до  $0,3$  м/с. Созданные комфортные условия повысили производительность труда.

На основе проведенных исследований разработан новый метод оценки условий теплового комфорта на постоянных рабочих местах по средневзвешенному конвективно-лучистому тепловому потоку с учетом направления и скорости движения приточных воздушных струй. Это позволило подойти к рациональному выбору приточной раздачи воздуха в рабочей зоне в зимний и летний периоды года.

### ***6.3.3. Повышение уровня теплового комфорта за счет использования перспективных светопрозрачных конструкций***

**Тепловой комфорт и эффективность окон с тройным остеклением.** Для установления уровня влияния теплозащиты заполнений световых проемов на размеры зоны теплового комфорта и дискомфорта были проведены теплотехнические исследования в климатической камере двух световых проемов с тройным остек-

лением в деревянных (спаренный и одинарный) и с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах (см. рис. 2.3—2.6). Они показали, что теплозащитные свойства окна с тройным остеклением намного выше. Переход от двойного на тройное остекление, как установлено экспериментальными исследованиями, обеспечивает повышение температуры внутренней поверхности остекления примерно на  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и снижение теплопотерь на  $1/3$ .

В СНиПе 23-02—2003 «Теплозащита зданий» окна с тройным остеклением рекомендуется применять в административных и бытовых промышленных зданий при градусо-сутках отопительного периода:  $8000\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут} - R_{0,\text{ост}} = 0,48\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}_{\text{сут}} - 0,53\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и  $12\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут} - R_{0,\text{ост}} = 0,58\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Так, для тройного остекления в деревянных или пластмассовых раздельно-спаренных переплетах  $R_{0,\text{ост}} = 0,55\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , тройного остекления в металлических раздельных переплетах  $R_{0,\text{ост}} = 0,46\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , двухслойных стеклопакетов и одинарного остекления в раздельных деревянных переплетах или пластмассовых переплетах  $R_{0,\text{ост}} = 0,53\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , трехслойных стеклопакетов в деревянных или пластмассовых переплетах из обычного стекла  $R_{0,\text{ост}} = 0,52\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Применение окон с тройным остеклением позволяет сократить зону теплового дискомфорта в пристенном участке помещений до  $1,0\text{...}1,2\text{ м}$  и уменьшить теплопотери через заполнение световых проемов по сравнению с двойным остеклением на  $30\%$ .

**Тепловой комфорт и эффективность окна с щелевидной перфорацией в подоконнике.** Одним из конструктивных мероприятий, позволяющих повысить температуру на внутренней поверхности окна и уровень теплового комфорта в помещении, является устройство щелевидной перфорации в подоконнике. Для определения эффективности этого конструктивного решения были поставлены специальные теплотехнические исследования в лабораторных и натуральных условиях.

Для выявления качественной картины движения воздуха в нижней части окна для исследований на интерферометре Маха — Цендера типа ИЗК-54 была разработана установка, позволяющая регулировать ширину щелевой перфорации между подоконником и нижней обвязкой окна. При проведении эксперимента на интерферометре изменяли ширину щелевой перфорации. Подоконник шириной  $20\text{ см}$  оставался постоянным. Исследования позволили получить качественную картину распре-

деления теплового пограничного слоя (рис. 6.10) без щелевой перфорации и при ее ширине 1,2 и 3 см. В подоконнике без щелевой перфорации струя теплового воздуха от нагревателя направлена в сторону помещения (рис. 6.10, *а*). Такая же практически картина наблюдается при ширине щелевой перфорации 1 см (рис. 6.10, *б*). Обогрев нижней поверхности светового проема струей теплового воздуха начинается при ширине щелевой перфорации 2 см (рис. 6.10, *в*) и становится особенно эффективным при ее ширине 3 см (рис. 6.10, *г*).

Исследования на интерферометре установили, что устройство щелевой перфорации шириной 3 см и больше позволяет направить тепловой поток от отопительного прибора на обогрев нижней части светового проема и повысить температуру на его внутренней поверхности.

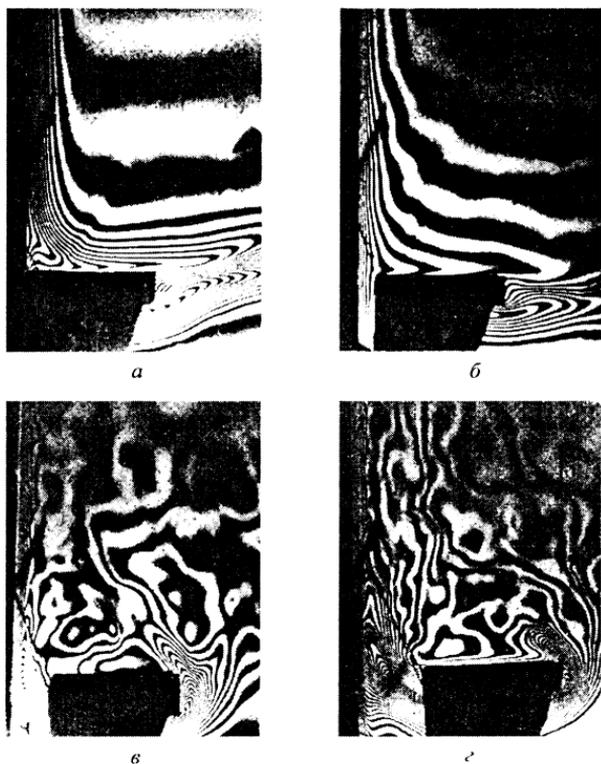


Рис. 6.10. Интерферограммы пограничного слоя нижней части окна:  
*а* — без щелевой перфорации в подоконнике; *б–г* — с щелевой перфорацией в подоконнике

Для количественной оценки эффекта от устройства в подоконнике светового проема щелевой перфорации необходимо было провести натурные теплотехнические исследования. Они были выполнены в передвижном доме из пространственных армоцементных конструкций. В одном варианте световой проем в подоконной доске имел щелевую перфорацию шириной 3 см, в другом варианте ее не было. Оконный блок состоял из тройного остекления, закрепленного четырьмя деревянными брусками размером 20 × 30 см. Места сопряжения остекления с деревянными брусками по всему внутреннему и наружному периметру герметизированы тиоколовой мастикой.

В световом проеме с тройным остеклением термопары были установлены на поверхности остекления, на расстоянии 1 см от внутренней поверхности остекления. Температурные сечения располагались в верхней, средней и нижней частях окна, замеряли также температуру на поверхности отопительного прибора.

Распределение температурных полей при  $t_{\text{в}} = 24,47 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -10,13 \text{ }^\circ\text{C}$  по трем температурным сечениям с щелевой перфорацией шириной 3 см и отопительным прибором в подоконной нише показано на рис. 6.11. На графиках видно, что температуры на поверхности внутреннего остекления по высоте резко изменяются: в нижней части окна температура на поверхности  $31,51 \text{ }^\circ\text{C}$ , в средней части  $25,13 \text{ }^\circ\text{C}$  и верхней части  $24,23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температурный перепад между температурой воздуха на расстоянии 10 см от остекления и температурой на поверхности остекления в нижней части  $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}} = 43,41 - 31,51 = 11,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , в средней части  $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}} = 31,49 - 25,13 = 6,36 \text{ }^\circ\text{C}$  и верхней части  $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}} = 31,35 - 24,3 = 7,12 \text{ }^\circ\text{C}$ . Из анализа полученных данных следует, что температура внутренней поверхности остекления выше, чем температура в центре комнаты. Температура на поверхности в нижней части окна значительно выше, чем в верхней части.

Распределение температурных полей при  $t_{\text{в}} = 24,47 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -10,13 \text{ }^\circ\text{C}$  по трем температурным сечениям без щелевой перфорации с отопительным прибором в подоконной нише показано на рис. 6.11. На рисунке видно, что температура на внутренней поверхности остекления также отличаются: в нижней части окна на внутренней поверхности остекления  $19,62 \text{ }^\circ\text{C}$ , в средней части  $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$  и верхней части  $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температурный перепад между температурой воздуха на расстоянии 10 см от внутренней



Температура в верхней части окна выше по сравнению с температурой в его нижней части. В этом случае такое изменение температуры по горизонтали оконного светового проема объясняется тем, что подоконник не имел щелевой перфорации.

Средние значения температуры воздуха в помещении на расстоянии 10, 100, 300 и 580 см от внутренней поверхности остекления при устройстве щелевой перфорации и без нее в подоконнике приведено в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Температура воздуха в помещении

| Световой проем с тройным остеклением | Температура в середине окна, °С      |  |       |       |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|-------|-------|-------|
|                                      | на внутренней поверхности остекления | на расстоянии от внутренней поверхности остекления, см |       |       |       |
|                                      |                                      | 10   | 100   | 300   | 580   |
| С щелевой перфорацией в подоконнике  | 25,13                                | 31,49  | 25,96 | 24,54 | 24,47 |
| Без щелевой перфорации в подоконнике | 23,8                                 | 24,96  | 25,17 | 24,43 | 24,47 |

Из табл. 6.2 следует, что при  $t_b = 24,47$  °С и  $t_n = -10,13$  °С температура на внутренней поверхности середины высоты остекления при щелевой перфорации и без нее отличается на 1,33 °С, на расстоянии 1,0 см от внутренней поверхности остекления — 6,53 °С и на расстоянии 100 см от внутренней поверхности остекления — на 0,79 °С. На расстоянии 300 см от внутренней поверхности остекления температуры воздуха практически не отличаются между собой.

На основе анализа лабораторных и натурных теплотехнических исследований установлено, что устройство щелевой перфорации в подоконнике обеспечивает повышение температуры внутренней поверхности остекления внизу окна на 7 °С и практически выравнивает температуру внутренней поверхности нижней части окна примерно наполовину его высоты. Техничко-экономические расчеты показывают, что несмотря на некоторое увеличение единовременных затрат, приведенные затраты не возрастают и обеспечивают гигиенически целесообразную температуру на внутренней поверхности остекления и соответственно благоприятные тепловые комфортные условия в пристенном участке помещения.

**Тепловой комфорт и эффективность экранируемых светопрозрачных конструктивных решений.** Особенно эффективно улучшает уровень теплового комфорта в помещении металлизированная полиэтилентерефталатная пленка в конструкции окон. Она имеет низкий коэффициент излучения  $1,4...1,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  и хорошую прозрачность. Использование ее в качестве экрана в воздушной прослойке снижает результирующую теплообмена излучением в 2 раза и увеличивает термическое сопротивление воздушной прослойки. Проведенные экспериментальные теплотехнические исследования в швейном цехе производственного объединения «Мосшвейя» показали, что установка экрана из теплоотражательной металлизированной полиэтилентерефталатной пленки в конструкцию окна из двойного остекления в деревянном спаренном переплете повышает сопротивление теплопередаче с  $0,4$  до  $0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ . По теплозащитным свойствам это равноценно конструкции окна с тройным остеклением в деревянных переплетах (спаренный и одинарный) с сопротивлением теплопередаче  $0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ . Эффект от использования экрана из металлизированной полиэтилентерефталатной пленки особенно ощутим в летних условиях. Экспериментальные теплотехнические исследования проводились при температуре внутреннего воздуха  $27 \text{ °С}$  и температуре наружного воздуха  $23,6 \text{ °С}$ . Результирующая радиационная температура на уровне  $15 \text{ см}$  от пола определялась шаровым термометром Зернона — Йокла и составила  $26,2 \text{ °С}$ .

Замеры температур на внутренней и наружной поверхностях окна с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах с экраном из металлизированной полиэтилентерефталатной пленки и без нее приведены в табл. 6.3.

Проведенный анализ показал, что разность температур между наружной и внутренней поверхностями остекления при экране из металлизированной полиэтилентерефталатной пленки составила  $10 \text{ °С}$  и без него —  $15 \text{ °С}$ .

Замеры температуры в летнее время года на постоянных рабочих местах в пристенном участке помещения показали, что при наличии экрана из этой пленки в окне с двойным остеклением в деревянных спаренных переплетах температура на рабочем столе в 14 ч колеблется от  $26,7$  до  $27,2 \text{ °С}$ . При такой же конструкции окна без экрана температура на рабочем столе достигает  $\tau_{в,р,м} = 33,8 - 34,7 \text{ °С}$ , что становится источником дополни-

Таблица 6.3. Эффект экранирования металлизированной полиэтиленерефталатной пленки

| Средняя температура*              | Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах         |   |
|-----------------------------------|--|---|
|                                   | с экраном из металлизированной полиэтиленерефталатной пленки | без экрана из металлизированной полиэтиленерефталатной пленки |
| Наружной поверхности остекления   | 37   | 36  |
| Внутренней поверхности остекления | 27   | 34,5  |

\* Температура замерялась на поверхности остекления на расстоянии 10 см от верхнего деревянного переплета, посередине окна и на расстоянии 10 см от нижнего деревянного переплета.

тельных теплопоступлений в швейный цех. Эту величину можно определить по формуле

$$\Delta Q_{p,m} = \alpha_k (\tau_{в,р,м} - t_в) + \alpha_l (\tau_{в,р,м} - t_R), \quad (6.20)$$

где  $t_R$  — результирующая радиационная температура, °С.

Коэффициент конвективного и лучистого теплообмена составят  $\alpha_k = 2,6$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С) и  $\alpha_l = 4,0$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С). Дополнительные теплопоступления с 1 м<sup>2</sup> рабочего места составляют 47,5 Вт/м<sup>2</sup>.

Сопоставим полученные данные с тепловыделением от работающей швейной машины класса 885-260 фирмы «Некки» мощностью 0,4 кВт, отнесенным к площади одного рабочего места, равного 5 м<sup>2</sup>. Расчеты показали, что величина теплопоступлений составляет 46,6 Вт/м<sup>2</sup>. Как видно из результатов исследований, тепловыделения от швейной машины и нагретых поверхностей в помещении от солнечной радиации практически одинаковы.

Устройство экрана из металлизированной полиэтиленерефталатной пленки в конструкции двойного остекления в деревянных спаренных переплетах является эффективным конструктивным решением. В этом случае рабочие места имеют температуру 26,7...27,2 °С, равную температуре внутреннего воздуха (27 °С) и дополнительных теплопоступлений от нагретых поверхностей в помещение цеха не наблюдается.

Внедрение в конструкции окон экрана из металлизированной полиэтиленерефталатной пленки на комбинате в г. Егорьевск позволило создать в летние месяцы условия теплового комфорта на рабочих местах и повысить производительность труда.

Тепловой комфорт в помещении можно также улучшить за счет применения в конструкции окон теплоотражающих стекол. Они отличаются от обычного стекла наличием прозрачной пленки из двуокиси олова толщиной 0,4 мм. Эффект от применения теплоотражающих стекол объясняется низким коэффициентом излучения  $1,16...1,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , которое почти в 2 раза ниже коэффициента излучения обычного стекла  $5,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ . При применении в окне теплоотражающих стекол составляющая передачи теплоты излучением в воздушной прослойке уменьшается, что приводит к увеличению термического сопротивления воздушной прослойки.

В институте ЦНИИЭПжилища\* для определения теплотехнических свойств конструкции окон с теплоотражающими свойствами были поставлены специальные исследования в климатической камере. Результаты этих исследований приведены в табл. 6.4. Из таблицы следует, что наилучшими теплозащитными

Таблица 6.4. Температурные характеристики конструкций окон с различным остеклением

| Вид остекления  | Температура воздуха, °С                   |   | Температура в середине фрагмента, °С |                                    | Температурный перепад, °С |
|---|---|---|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
|   | в тепловом отделении климатической камеры | в холодном отделении климатической камеры | на внутренней поверхности остекления | на наружной поверхности остекления |                           |
| Два обычных стекла  | 17,4                                      | — 40                                      | —1,6                                 | —35,1                              | 33,5                      |
| Два стекла: наружное обычное, внутреннее с теплоотражающей пленкой, обращенной в сторону помещения          | 18,7                                      | —41,0                                     | —4,1                                 | —35,9                              | 31,8                      |
| Два стекла: наружное обычное, внутреннее с теплоотражающей пленкой, обращенной в межстекольное пространство | 18,5                                      | —40,6                                     | 2,7                                  | —36,3                              | 39,0                      |

\* Семенова Е. И., Щербakov А. В. Теплотехнический эффект применения отражающего стекла // Жилищное строительство. 1977. № 7. С. 17—21.

свойствами обладает конструкция окна, состоящего с наружной стороны из обычного стекла и внутреннего стекла с теплоотражающей пленкой, обращенной в межстекольное пространство. В такой конструкции окна температура на внутренней поверхности остекления по сравнению с обычным двойным остеклением повысилась на  $4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Теплотехнические свойства окна с теплоотражающей пленкой на стеклах достаточно высоки. Результаты натуральных и лабораторных исследований показали, что сопротивление теплопередаче окна с двойным обычным остеклением составляет  $0,34\dots\dots 0,36\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Замена внутреннего обычного стекла на стекло с теплоотражающей пленкой, обращенной в межстекольное пространство, позволяет получить сопротивление теплопередаче у светового проема  $0,50\dots\dots 0,54\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Таким образом, нанесением теплоотражательного светопрозрачного покрытия на одну из поверхностей двойного остекления достигается повышение уровня тепловой защиты заполнения светового проема до уровня тройного остекления, т. е. повышение тепловой эффективности окон достигается без дополнительного расхода древесины.

Внедрение в практику строительства теплоотражающих пленок в зимнее время позволит повысить температуру на внутренней поверхности окна, и в летнее время значительно уменьшить тепlopоступления в помещение. Эти конструктивные решения позволяют создать в административно-вспомогательных и производственных помещениях условия теплового комфорта.

При этом, как считают Ю. А. Табунщикова, С. М. Гликина, В. А. Углов [28, 29, 30], эффективные светопрозрачные ограждения значительно повысят энергоэффективность зданий и, что особенно важно для гражданских зданий и промышленных предприятий, сократятся расходы на энергопотребление.

Как следует из вышесказанного, одним из материалов, которым можно повысить теплозащитные свойства оконных конструкций, является теплоотражательная пленка. Ее основой являются мельчайшие частицы различных металлов, которые благодаря специальной технологии равномерно размещаются по ее толщине. Металлизируемый слой создает зеркальную поверхность, которая эффективно отражает солнечные лучи и тепловое излучение. Пленки выпускаются различных цветов и обладают разной степенью пропускания видимого света (табл. 6.5). Так,

Таблица 6.5. Технические характеристики солнцезащитных пленок

| Тип                     | Цвет       | Тепло             |                  |                 |
|-------------------------|------------|-------------------|------------------|-----------------|
|                         |            | пропускание,<br>% | поглощение,<br>% | отражение,<br>% |
| XR 15 G SRPS            | Стальной   | 9,00              | 61,00            | 30,00           |
| XR 15 B SRPS            | Бронзовый  | 9,00              | 57,00            | 34,00           |
| XR 15 GO SRPS           | Золотой    | 12,00             | 33,00            | 55,00           |
| XR 15 BL SRPS           | Голубой    | 18,00             | 47,00            | 35,00           |
| XR 15 GN SRPS           | Зеленый    | 14,00             | 48,00            | 38,00           |
| XR 20 SI SRPS           | Серебряный | 12,00             | 33,00            | 55,00           |
| XR 35 SI SRPS           | »          | 22,00             | 35,00            | 43,00           |
| Stainless Steel 150     | Стальной   | 45,00             | 44,00            | 11,00           |
| Stainless Steel 165     | »          | 31,00             | 52,00            | 17,00           |
| Stainless Steel 165 OSW | »          | 33,00             | 54,00            | 13,00           |
| Stainless Steel 175     | »          | 19,70             | 55,50            | 24,80           |
| Stainless Steel 190     | »          | 9,00              | 57,00            | 34,00           |
| SilveR 80 OSW           | Серебряный | 16,00             | 37,90            | 46,10           |
| SolaR BRonze 150        | Бронзовый  | 30,00             | 37,00            | 33,00           |
| SolaR BRonze 165        | »          | 19,20             | 41,30            | 39,50           |
| SolaR BRonze 175        | »          | 11,50             | 44,90            | 43,60           |
| SolaR BRonze 175 OSW    | »          | 13,60             | 44,80            | 41,60           |

например, тонирующие пленки для окон DesiQn Plus™ выпускается бронзового цвета (тип 5B50, 5B30), пропускает соответственно 50 и 30 % видимого света при этом отражает 50 и 68 % солнечной энергии. Пленки серии Heat Mastek™ не выгорают, имеют 10-летнюю гарантию от производителя, выпускаются бронзового цвета (тип JB20, JB30), серебряного (тип JJ-35, JJ-20) и нейтрального цвета (тип DN 35, DN 20). Они пропускают видимый глазом свет — соответственно 20, 31, 37, 22, 38 и 22 % и при этом отражают 68, 75, 58, 74, 53 и 64 % солнечной энергии.

Московская фирма «Соларекс» предлагает теплосберегающие пленки более 130 оттенков, толщиной 56...380 мкм со специальным клеевым покрытием для установки непосредственно на оконные стекла.

Мировым производителем пленки являются такие фирмы, как CouRtauids Pezfozmance Jilnis, Solak Gand, Madico. В табл. 6.5 даны характеристики некоторых типов пленок, выпускаемые этими фирмами.

В работе П. Н. Умняковым введено новое понятие гигиенически целесообразная температура внутренней поверхности посередине окна, обеспечивающая в пристенном участке помещения тепловой комфорт для человека в одежде с теплофизическими свойствами, не превышающими  $0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

В главе рассмотрены вопросы нормирования теплозащиты ограждающих конструкций по гигиенически целесообразной температуре  $\tau_{г.ц}$  и гигиенически целесообразному температурному перепаду  $\Delta t_{г.ц}$  для внутренней поверхности посередине окна и наружной стены, базирующиеся на решении системы уравнений теплового баланса, исходя из условий: все тепlopоступления в помещение от отопительного прибора и человека теряются через наружные ограждения; граница зоны теплового дискомфорта в центре пристенного участка минимальная; теплофизические свойства пакета одежды учитываются средней температурой внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела  $\bar{\tau}_q$ , а теплозащитные свойства окон с учетом инфильтрации — температурой внутренней поверхности посередине окна.

Рассмотрены конструктивные мероприятия, способствующие повышению тепловых условий для человека, находящегося в пристенном участке помещения, за счет:

- повышения гигиенически целесообразной температуры внутренней поверхности посередине высоты окна на  $4 \text{ °C}$ , что приведет практически к исчезновению зоны теплового дискомфорта;
- снижения температуры внутреннего воздуха на  $1 \text{ °C}$  и одновременного увеличения термических свойств пакетов одежды человека.

В заключительной части рассмотрено нормирование гигиенически целесообразного температурного перепада для окон и наружных стен с учетом термических свойств одежды и границ зон теплового дискомфорта в пристенном участке помещений.

Переход от двойного на тройное остекление, как установлено экспериментальными исследованиями, обеспечивает повышение температуры внутренней поверхности остекления примерно на  $4 \text{ °C}$  и снижение тепlopотерь на одну треть.

Теплотехнические исследования, проведенные в климатической камере и натуральных условиях, свидетельствуют, что температуру внутренней поверхности остекления можно повысить также путем интенсификации конвективного теплообмена у этой поверхности восходящей струей от отопительного прибора при устройстве щелевидной перфорации в подоконнике. Исследованиями физических процессов движения воздуха на модели с использованием интерферометра Маха — Цендера типа ИЗК-454 установлено, что подогрев нижней части внутренней поверхности остекления восходящей струей от отопительного прибора наиболее эффективен при ширине щели более 3 см. Устройство щелевидной перфорации в подоконнике шириной 3...5 см обеспечивает повышение температуры внутренней поверхности остекления внизу окна примерно на 5,7 °С и практически выравнивает температуру внутренней поверхности нижней части окна примерно наполовину его высоты. Техничко-экономические расчеты показывают, что несмотря на некоторое увеличение единовременных затрат приведенные затраты не возрастают и обеспечивают более благоприятные тепловые комфорты условия в пристенном участке, кроме того, улучшается коэффициент полезного действия отопительного прибора.

Среди перспективных мер, способов и приемов повышения тепловой защиты окон рассмотрено нанесение покрытия с высокими теплоотражающими и светопропускающими свойствами на тыльную поверхность внутреннего остекления. За счет уменьшения теплопередачи излучением через воздушную полость достигается увеличение сопротивления теплопередачи окна с двойным остеклением примерно в 1,5 раза и уменьшение в зимнее время разности температур внутреннего воздуха и поверхности остекления. Таким образом, нанесение теплоотражательного светопрозрачного покрытия на одну из поверхностей двойного остекления достигает повышения уровня тепловой защиты заполнения светового проема до уровня тройного остекления, т. е. повышение эффективной теплозащиты окон происходит без дополнительного расхода древесины.

## 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

---

### 7.1. Диаграмма $J$ — $d$ влажного воздуха

Параметры внутренней воздушной среды производственных помещений должны не только отвечать требованиям технологического процесса, но и создавать условия теплового комфорта для людей в рабочей зоне. При этом немаловажную роль играет рабочая одежда, обеспечивающая условия комфортности в пододежном слое. Поэтому необходимо учитывать как теплофизические свойства пакетов одежды, так и теплопоступления от технологического оборудования, освещенности, числа работающих, а также теплопоступление от солнечного излучения в летний период года и потери теплоты помещением в зимнее время года. Все эти обстоятельства приводят к тому, что в производственных цехах для поддержания требуемых параметров воздушной среды используются различные системы кондиционирования с приточной и вытяжной вентиляцией.

Для оценки внутренней воздушной среды помещений нельзя ограничиться температурной, относительной влажностью и скоростью движения воздуха в помещении. Необходимо знать теплосодержание и влагосодержание внутреннего воздуха. Эти взаимосвязи между температурой и теплосодержанием (энтальпией), относительной влажностью и влагосодержанием можно определить по диаграмме  $J$ — $d$  влажного воздуха.

Атмосферный воздух представляет собой смесь газов, которую в процентном отношении можно выразить следующим об-

разом: кислород 23; азот 75,6, инертные газы (аргон, неон, гелий, ксеон, криптон) 1,3; углекислота 0,05 %.

В воздухе содержится также незначительное количество водорода, озона и водяных паров. Влагосодержание влажного воздуха ( $d$ ) представляет собой отношение массы пара к массе сухого воздуха в смеси. Если масса пара выражены в граммах (г), то влагосодержание принято обозначать в г/кг сухого воздуха:

$$d = 623 \frac{P_n}{P_a - P_n}, \quad (7.1)$$

где  $P_a$  — общее барометрическое давление воздуха равно сумме парциальных давлений воздуха  $P_b$  и водяного пара  $P_n$ , Па.

Относительной влажностью воздуха называется отношение концентрации водяного пара ненасыщенного воздуха к концентрации водяного пара насыщенного воздуха при одинаковых температурах и давлениях:

$$\varphi \cong \frac{\rho_n}{\rho_{\text{пн}}} 100 \% \cong \frac{P_n}{P_{\text{пн}}} 100 \% = \frac{e}{E} 100 \%, \quad (7.2)$$

где —  $\rho_n$ ,  $\rho_{\text{пн}}$ ,  $P_n$ ,  $P_{\text{пн}}$  — соответственно плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, и парциальное давление водяного пара, ненасыщенного и насыщенного пара, Па;  $e$ ,  $E$  — упругость и максимальная упругость водяного пара, Па.

Количество теплоты, содержащееся во влажном воздухе, сухая часть которого имеет массу 1 кг, называется энтальпией или теплосодержанием воздуха, кДж/кг:

$$i = c_{\text{с.в}} t + (r_0 + c_n t) d, \quad (7.3)$$

где  $c_{\text{с.в}} = 1$  — теплоемкость 1 кг сухого воздуха при нормальном давлении, кДж/ (кг · °С);  $r_0 = 2,5$  — скрытая теплота испарения 1 г воды при  $t = 0$  °С, кДж/г;  $c_n = 0,00184$  — теплоемкость 1 г водяного пара, кДж/(кг · °С).

Первое слагаемое в формуле (7.3) есть энтальпия сухой части воздуха, которую называют также явным теплом, второе — энтальпия водяного пара, являющаяся скрытым теплом. Последнее в свою очередь состоит из двух слагаемых — теплоты испарения воды и теплоты перегрева содержащегося в воздухе водяного пара от 0 °С до его температуры  $t_n$ , °С.

Формула энтальпии воздуха, которой следует пользоваться при технических расчетах, имеет следующий вид:

$$i = t + (2,5 + 0,00184)d, \quad (7.4)$$

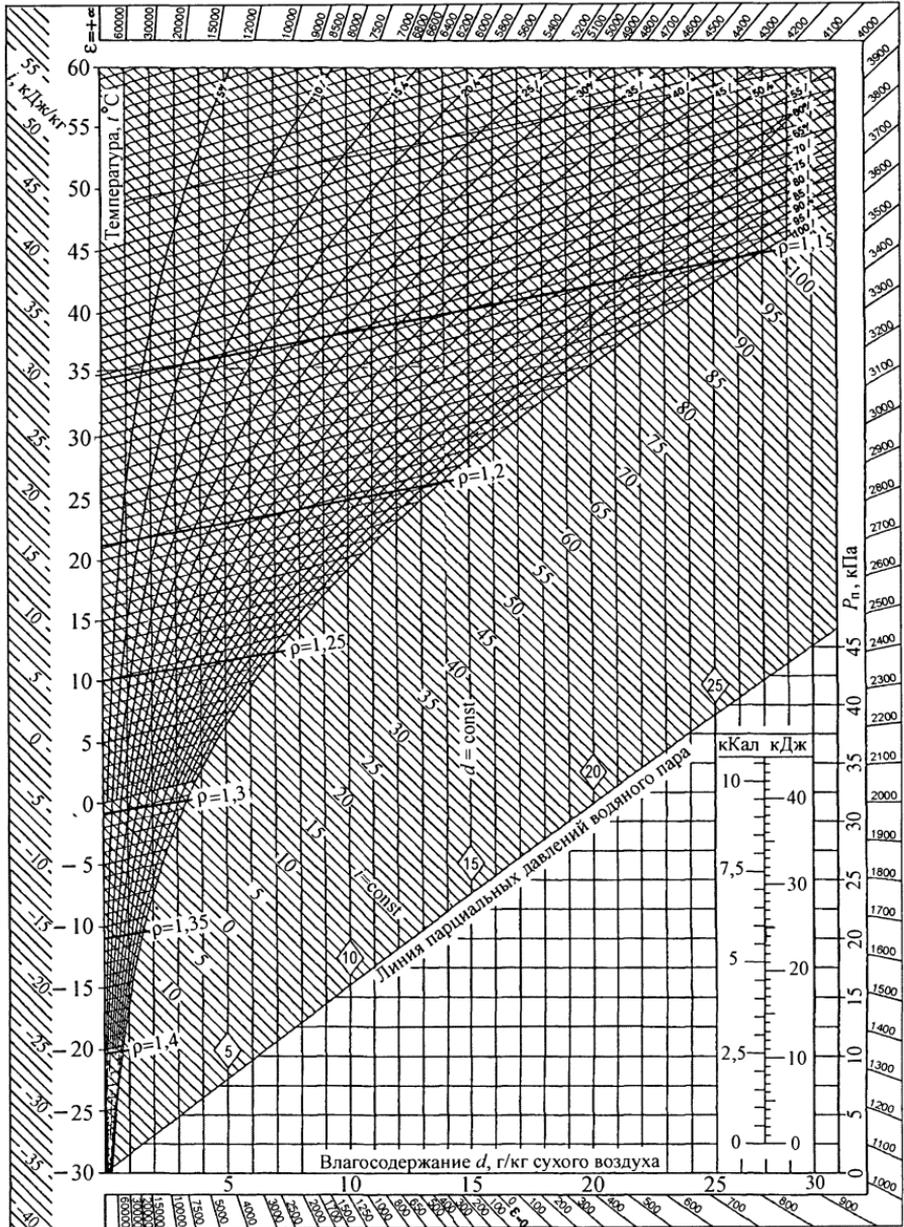
где  $t$  — температура воздуха, °С.

Диаграмма  $J-d$  влажного воздуха нашла широкое применение в расчетах, связанных с определением основных параметров воздуха: температуры ( $t_b$ ) относительной влажности ( $\varphi_b$ ), плотности ( $\rho$ ), влагосодержания ( $d$ ) и теплосодержания ( $i$ ) воздуха при заданном барометрическом давлении. Она была предложена в 1918 г. Л. К. Рамзиным в косоугольной системе координат с углом между осями ( $i$  и  $d$ )  $\alpha = 135^\circ$  (рис. 7.1). На вспомогательной оси в масштабе с интервалом, соответствующим 1 г, откладывается влагосодержание  $d$  и через полученные точки проводятся прямые вертикальные линии.

По оси ординат в масштабе откладывается теплосодержание (энтальпия)  $i$  с интервалом в 1 кДж/кг сухого воздуха, а от точки  $O$  вверх и вниз соответствующая температура воздуха и значение теплосодержания. Через полученные точки на оси ординат под углом  $135^\circ$  проводят линии постоянного теплосодержания. На полученную таким образом сетку наносят линии изотерм и линии постоянной относительной влажности.

В диаграмме  $J-d$  по известным двум параметрам можно определить значения всех остальных параметров. Предположим, что известны параметры воздуха  $t_b = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi_b = 50\%$ . Эта точка на диаграмме  $J-d$  соответствует точке пересечения изотермы  $t = 20^\circ\text{C}$  и кривой относительной влажности  $\varphi_b = 50\%$ . Опускаясь от найденной точки по линии  $d = \text{const}$ , на оси абсцисс соответствующее значение  $d = 7,4$  г/кг сухого воздуха. Рассматриваемая точка лежит между линиями постоянных значений теплосодержания  $i_1 = 35$  и  $i_2 = 40$  кДж/кг сухого воздуха. В точке пересечения линии  $t_b = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi_b = 50\%$  значение теплосодержание составит  $i_b = 39$  кДж/кг сухого воздуха.

Процесс изменения состояния влажного воздуха на диаграмме  $J-d$  изображается прямой линией, проходящей через точки, соответствующие начальному и конечному состоянию влажного воздуха. Если параметры начального состояния воздуха равны  $i_1$  и  $d_1$ , а конечного  $i_2$  и  $d_2$ , то отношение  $(i_1 - i_2)/(d_1 - d_2) = \varepsilon$  называется угловым коэффициентом луча процесса, характеризующим изменение состояния воздуха в косоугольной системе коор-

Рис. 7.1. Диаграмма  $J-d$

динат. Угловой коэффициент  $\epsilon$  имеет размерность кДж/кг влаги. Он показывает, какое количество теплоты получает или отдает воздух на каждые 1 кг отдаваемой им влаги. Для определения луча процесса должны быть известны начальное и конечное состояния воздуха.

## **7.2. Создание системами вентиляции искусственного микроклимата и благоприятных тепловых условий для человека в производственных помещениях**

Для создания благоприятных условий для работающих и нормального протекания технологических процессов на сервисных предприятиях используют системы кондиционирования. Рассмотрим на примерах швейного, трикотажного, ткацкого, прядильного и обувного производств работу этих систем кондиционирования. Эти производства характеризуются в основном выделением теплоты и влаги. Поэтому для обеспечения в рабочей зоне помещения требуемых параметров воздушной среды их следует определить на основе уравнения теплового и влажностного баланса.

В теплый и холодный периоды года наружный приточный воздух обрабатывается в кондиционере. При этом в зависимости от требований понижается или повышается его температура, а также изменяется относительная влажность, снижается или остается постоянным теплосодержание, повышается или понижается влагосодержание. Обработанный в кондиционере воздух поступает в производственное помещение, он поглощает теплоту и устанавливает расчетные параметры внутреннего воздуха, способствующие нормальному протеканию технологического процесса и благоприятному самочувствию работающих.

В соответствии со СНиПом 41–01 «Отопление, вентиляция и кондиционирование для производственных и административно-бытовых помещений» расчетные значения наружного воздуха по температуре и энтальпии (теплосодержанию) для различных городов в теплое и холодное время года принимаются в соответствии с параметрами А и Б по прил. П16.

Значения прямой и рассеянной солнечной радиации в различных широтах, поступающей в июле на вертикальные и горизонтальные поверхности, приведены в прил. П17.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата по температуре, относительной влажности и скорости движения воздуха для производственных помещений в теплый и холодный периоды года приведены в табл. 1.9 и 1.10. Для жилых и административно-бытовых помещений оптимальные и допустимые параметры микроклимата приведены в табл. 1.13 и 1.14.

Параметры микроклимата в помещениях жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданий следует рассчитывать для районов в соответствии с расчетными параметрами наружного воздуха по СНиПу 23-01—99 «Строительная климатология»:

- параметры А — для систем вентиляции и воздушного душирования для теплого периода года;
- параметры Б — для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования для холодного периода года и для систем кондиционирования для теплого и холодного периодов года.

Для швейных и обувных предприятий в теплый период года принимаются параметры А, а в холодный период года — параметры Б; для трикотажных, ткацких и прядильных предприятий в теплый и холодный периоды года принимается параметр Б.

В теплый период года для помещений с теплоизбытками принимают температуру воздуха в пределах допустимых температур, но не более чем на 3 °С в помещениях административных предприятий и не более чем на 4 °С для производственных помещений выше расчетной температуры наружного воздуха (параметр А), но не более максимальных допустимых температур.

При отсутствии теплоизбытков принимают температуру воздуха в пределах допустимых температур, равную температуре наружного воздуха (по параметрам А).

На постоянных рабочих местах максимальные температуры для работ категории Ia и Ib составляют 28/31 °С, для категории IIa и IIб — 27/30 °С\*.

На непостоянных рабочих местах максимальные температуры для категории Ia и Ib составляют 30/32 °С и для категории IIa и IIб — 29/31 °С.

---

\* Допустимые нормы внутреннего воздуха предствалены в виде дроби: в числителе — для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметр А) ниже 25 °С и в знаменателе — 25 °С и выше.

Параметры микроклимата при кондиционировании помещений в теплый период года, если по параметру Б расчетная температура наружного воздуха составляет  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более, то температуру воздуха в помещениях следует принимать на  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше указанной в ГОСТе 12.1.005 на каждый градус превышения температуры наружного воздуха сверх температуры  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом на каждый градус превышения температуры наружного воздуха увеличивается скорость движения воздуха на  $0,1\text{ м/с}$ , но она не должна превышать  $0,5\text{ м/с}$ .

В холодный период года в административно-бытовых и производственных помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются, можно принимать температуру воздуха ниже нормируемой, но не ниже  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  в административно-бытовых помещениях и не ниже  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  — в производственных помещениях.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает следующие кондиционеры производительностью в тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ .\*

- Московское предприятие «ВЕЗА» — КЦКП-10; КЦКП-20; КЦКП-31,5; КЦКП-40; КЦКП-50; КЦКП-63; КЦКП-80; КЦКП-100 И КЦКП-125 (к — кондиционер, ц — центральный, к — каркасный, п — панельный);
- Московский вентиляторный завод «МОВЕН» — КЦМ-1,5; КЦМ-2,5; КЦМ-4,5; КЦМ-6,5; КЦМ-9; КЦМ-13,5; КЦМ-18; КЦМ-22,5; КЦМ-27; КЦМ-30; КЦМ-40; КЦМ-50; КЦМ-60; КЦМ-70; КЦМ-90; (к — кондиционер, ц — центральный, м — МОВЕН);
- Домодедовский завод кондиционеров — КДЦ-3; КДЦ-7; КДЦ-10; КДЦ-30; КДЦ-40; КДЦ-50; КДЦ-60; КДЦ-80; КДЦ-100; КДЦ-120 (к — кондиционер, д — домодедовский, ц — центральный).

В данной главе влагосодержание и теплосодержание (энтальпия) воздуха в цехе обозначается как  $d_{\text{ц}}$  и  $i_{\text{ц}}$ ; площадь и объем цеха —  $F_{\text{ц}}$  и  $V_{\text{ц}}$ .

Процесс кондиционирования воздуха на диаграмме  $J-d$  обозначается следующими индексами: Ц — параметр, характеризующий воздух в цехе; О — параметр воздуха после обработки в оросительной камере кондиционера; К — параметры воздуха, поступающего из кондиционера в цех; Н — параметры наружного воздуха; С — параметры смешанного воздуха.

\* Цифры соответствуют производительности кондиционера в тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

### 7.2.1. Прядильное производство

**Пример 7.1.** Рассмотрим процессы обработки наружного воздуха системами кондиционирования для создания требуемых расчетных параметров воздушной среды в рабочей зоне на примере прядильного цеха в г. Астрахань. Этот цех расположен в одноэтажном здании закрытого типа, без окон, с техническим чердаком, с сеткой колонн  $12 \times 18$  м.

Размеры прядильного цеха: длина  $12 \times 8 = 96$  м, ширина  $18 \times 4 = 72$  м, высота  $H = 6$  м, площадь  $F_{ц} = 96 \times 72 = 6912$  м<sup>2</sup>, объем  $V_{ц} = 96 \times 726 = 41\,472$  м<sup>3</sup>.

По периметру наружной кирпичной стены располагается административно-бытовое здание, а также помещения, в которых размещены системы кондиционирования, технические службы и др.

В цехе расположены прядильные машины марки П-76-ШГ-2.

Установленная мощность электродвигателя на машину П-76-ШГ-2  $N_{уст} = 24$  кВт.

Общая установленная мощность в цехе  $N_{общ} = N_{уст} \cdot n = 24 \cdot 84 = 2016$  кВт.

Общее число работающих в одну смену  $n_{раб} = 101$  чел.

Конструкция покрытия технического чердака, расположенная по верхнему поясу фермы, состоит из следующих элементов:

- железобетонная ребристая плита [ $\gamma = 2400$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 2,04$  Вт/(м · °С) и  $S = 18,95$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С)] толщиной 5 см;
- пароизоляция из пергамина на битумной мастике [ $\gamma = 600$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,17$  Вт/(м · °С),  $S = 3,53$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С)] толщиной 0,15 см;
- теплоизоляция из пенобетона [ $\gamma = 600$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,22$  Вт/(м · °С),  $S = 3,36$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С)] толщиной 20 см;
- цементно-песчаной стяжки [ $\gamma = 1800$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,93$  Вт/(м · °С),  $S = 9,6$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С)] толщиной 2 см.
- кровля из двух слоев флизолола на битумной мастике [ $\gamma = 600$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,17$  Вт/(м · °С),  $S = 3,53$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С)] толщиной 0,3 см с коэффициентом поглощения солнечной радиации  $\rho_{рад} = 0,9$ .

Сопrotивление теплопередаче конструкции покрытия будет складываться из следующих составляющих:

- у внутренней поверхности  $R_{н} = 0,115$  м<sup>2</sup> · °С/Вт;

- железобетонной плиты  $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,05}{2,04} = 0,024 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;
- пароизоляции из пергамина  $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,0015}{0,17} = 0,008 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;
- теплоизоляции из пенобетона  $R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,2}{0,22} = 0,909 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;
- цементно-песчанной стяжки  $R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,93} = 0,021 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;
- кровли из флиззола  $R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,003}{0,17} = 0,017 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;
- сопротивление теплоотдачи у наружной поверхности  $R_n = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Итого  $R_{\text{покр}} = 1,142 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . В техническом чердаке по нижнему поясу фермы установлен подвесной акустический потолок с звукопоглощающим перфорированным покрытием, имеющий следующие слои:

минераловатные плиты [ $\gamma = 100 \text{ кг/м}^3$  и  $\lambda = 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 5 см;

перфорированные твердые прессованные древесно-волоконистые плиты [ $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,29 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 2 см.

Определим сопротивление теплопередаче акустического подвесного потолка.

Сопротивление теплоотдачи у поверхности, обращенной на технический чердак

$$R_{\text{чср}} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Минераловатная плита

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,05}{0,06} = 0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Перфорированные твердые древесно-волоконистые плиты

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,02}{0,29} = 0,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Сопротивление теплоотдаче у внутренней поверхности чердака, обращенной в помещение

$$R_b = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Сопротивление теплопередачи чердачного перекрытия составит

$$R_{\text{чер.пер}} = 1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

### Уравнение теплового баланса для теплого периода года

Источником выделения теплоты является оборудование, люди, искусственное освещение и теплопоступления от чердака в летний период года.

Теплопоступление от оборудования, Вт,

$$Q_m = N_{\text{общ}} \cdot 1000 \cdot K_{\text{исп}} \cdot K_b,$$

где  $N_{\text{общ}}$  — мощность установленных машин, Вт;  $K_{\text{исп}}$  — коэффициент использования электроэнергии (для прядильных машин  $K_{\text{исп}} = 0,88$ );  $K_b$  — коэффициент выделения тепла в помещение  $K_b = 1$  при отсутствии местной вентиляции

$$Q_m = 2016 \cdot 1000 \cdot 0,88 \cdot 1 = 1\,774\,080 \text{ Вт}.$$

Теплопоступление от работающих людей в цехе

$$Q_{\text{люд}} = 176 \cdot n_{\text{люд}} = 176 \cdot 101 = 17\,716 \text{ Вт},$$

где 176 — количество теплоты, выделяемое одним человеком, Вт.

Теплопоступление от освещения при подвесных светильниках

$$Q_{\text{осв}} = n_{\text{осв}} F_{\text{ц}} = 30 \cdot 6912 = 207\,360 \text{ Вт},$$

где  $n_{\text{осв}}$  — норма расхода электроэнергии на освещение для отделов прядильного производства (в среднем примем  $30 \text{ Вт/м}^2$ ).

Поступление теплоты с технического чердака происходит через чердачное перекрытие в теплый период года, поскольку температура воздуха на чердаке выше температуры воздуха в расположенном ниже производственном помещении.

Для технического чердака принимаем следующие размеры: ширина 72 м, длина 96 м, высота 3 м, площадь  $6912 \text{ м}^2$ , объем  $20\,736 \text{ м}^3$ .

Найдем количество теплоты, которое поступает в летнее время в помещение прядильного производства с технического чердака. Для г. Астрахань, расположенного на  $46^\circ$  с. ш., количество солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность покрытия, дано в прил. П17.

Разность максимального  $Q_{\max}$  и среднего  $Q_{\text{ср}}$  значений суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) будет

$$Q_{\max} - Q_{\text{ср}} = 880 - 329 = 551 \text{ Вт.}$$

Коэффициент теплоотдачи у поверхности покрытия при скорости ветра  $v = 3,3$  м/с [38] составит

$$\alpha_{\text{н}} = 1,116(5 + 10\sqrt{v}) = 1,116(5 + 10\sqrt{3,3}) = 25,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Расчетная амплитуда колебания температуры наружного воздуха определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} A_{t_{\text{н}}}^{\text{расч}} &= 0,5A_{t_{\text{н}}} + \frac{\rho_{\text{рад}}(Q_{\max} - Q_{\min})}{\alpha_{\text{н}}} = \\ &= 0,5 \cdot 18,5 + \frac{0,9 \cdot 551}{25,85} = 28,43 \text{ } ^\circ\text{С}, \end{aligned} \quad (7.6)$$

где  $A_{t_{\text{н}}}$  — максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле  $18,5$   $^\circ\text{С}$  [72];  $\rho_{\text{рад}}$  — коэффициент поглощения солнечной радиации кровлей из рубероида  $0,9$ .

Найдем тепловую инерцию покрытия:

$$\text{железобетонная плита } D_1 = R_1 S_1 = 0,024 \cdot 18,95 = 0,454;$$

$$\text{пароизоляция из пергамента } D_2 = R_2 S_2 = 0,008 \cdot 3,53 = 0,028;$$

$$\text{теплоизоляция из пенобетона } D_3 = R_3 S_3 = 0,909 \cdot 3,36 = 3,054;$$

$$\text{цементно-песчаная стяжка } D_4 = R_4 S_4 = 0,021 \cdot 9,6 = 0,206;$$

$$\text{кровля из филозола } D_5 = R_5 S_5 = 0,017 \cdot 3,53 = 0,06.$$

$$\text{Итого } \sum D = 3,8.$$

Определим коэффициент теплоусвоения поверхности покрытия  $Y$ , начиная с внутреннего железобетонного слоя:

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_{\text{в}}}{I + R_1 \cdot \alpha_{\text{в}}} = \frac{0,024 \cdot 18,95^2 + 8,7}{I + 0,024 \cdot 8,7} = 14,43 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + S_1}{I + R_1 S_1} = \frac{0,0015 \cdot 3,53^2 + 18,95}{I + 0,0015 \cdot 18,95} = \frac{18,96}{0,028} = 677,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + S_2}{I + R_3 S_2} = \frac{0,909 \cdot 3,36^2 + 3,53}{I + 0,909 \cdot 3,53} = \frac{13,79}{4,208} = 3,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + S_3}{I + R_4 S_3} = \frac{0,021 \cdot 9,6^2 + 3,36}{I + 0,021 \cdot 3,36} = \frac{5,29}{1,07} = 4,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + S_4}{I + R_5 S_4} = \frac{0,017 \cdot 3,53^2 + 9,6}{I + 0,017 \cdot 9,6} = \frac{9,81}{1,16} = 8,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Значение затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в покрытии определим по формуле

$$\begin{aligned} \nu &= 0,9e^{\sum \frac{d}{\sqrt{2}}} \times \\ &\times \frac{(S_1 + \alpha_n)(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)(S_3 + Y_2)(S_4 + Y_3)(S_5 + Y_4)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)(S_5 + Y_5)} \times \\ &\frac{(\alpha_n + Y_s)}{\alpha_n} = 0,9e^{2,69} \times \\ &\times \frac{(18,95 + 8,7)(3,53 + 14,43)(3,36 + 677,45)(9,6 + 3,27)(3,53 + 4,94)}{(18,95 + 14,43)(3,53 + 677,45)(3,36 + 3,27)(9,6 + 4,94)(3,53 + 845)} \times \\ &\times \frac{25,85 + 8,45}{25,85} = 17,36. \end{aligned}$$

На внутренней поверхности колебания температуры будут в 17,36 раза меньше, чем колебания температуры наружного воздуха.

Амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности покрытия определяем по формуле

$$A_{\tau_n} = \frac{A_{\tau_{\text{расч}}}}{\alpha_n} = \frac{28,43}{17,36} = 1,63 \text{ °C};$$

$$Q_{\text{рад}} = \alpha_{\text{в.чер}} A_{\tau_n} F_{\text{покр}} = 8,3 \cdot 1,63 \cdot 6912 = 93\,512,4 \text{ Вт},$$

где  $\alpha_{\text{в.чер}}$  — коэффициент теплообмена у внутренней поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  $F_{\text{покр}}$  — площадь покрытия, м<sup>2</sup>.

Составим уравнение теплового баланса для теплого периода года из условий, что к помещению технического чердака поступает тепло от солнечной радиации  $Q_{\text{рад}}$  и дежурного освещения

$Q_{\text{осв.чер}}$  и уходит за счет изменения температуры воздуха путем естественной вентиляции  $Q_{\text{вен.чер}}$ , а также через чердачное перекрытие с акустическим потолком  $Q_{\text{пер}}$ :

$$Q_{\text{рад}} + Q_{\text{осв.чер}} = Q_{\text{вен.чер}} + Q_{\text{пер}}$$

Составляющие уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{рад}} = \alpha_{\text{в.чер}} A_{\tau_{\text{в}}} \cdot F_{\text{покр}};$$

$$Q_{\text{осв.чер}} = n_{\text{осв}} F_{\text{пер}};$$

$$Q_{\text{вен.чер}} = 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho (t_{\text{чер}}^{\text{T}} - t_{\text{н}});$$

$$Q_{\text{пер}}^{\text{T}} = \frac{t_{\text{чер}}^{\text{T}} - t_{\text{в}}}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}},$$

где  $\alpha_{\text{в.чер}}$  — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $F_{\text{покр}}$  — площадь внутренней поверхности покрытия, м<sup>2</sup>;  $F_{\text{пер}}$  — площадь пола перекрытия, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{осв}}$  — расход энергии на освещение чердака (10—15 Вт/м<sup>2</sup>);  $\text{Кр}_{\text{чер}}$  — кратность воздухообмена на техническом чердаке, 1/ч;  $V_{\text{чер}}$  — объем чердачного помещения, м<sup>3</sup>;  $t_{\text{чер}}^{\text{T}}$  — температура воздуха в помещении чердака, °С;  $t_{\text{н}}$  — температура наружного воздуха, °С;  $t_{\text{в}}$  — температура внутреннего воздуха в цехе, °С.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\alpha_{\text{в.чер}} A_{\tau_{\text{в}}} F_{\text{покр}} + n_{\text{осв}} F_{\text{пер}} = 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho (t_{\text{чер}}^{\text{T}} - t_{\text{н}}) + \frac{t_{\text{чер}}^{\text{T}} - t_{\text{в}}}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}}.$$

Из этого уравнения найдем температуру воздуха в помещении технического чердака для теплого периода года:

$$t_{\text{чер}}^{\text{T}} = \alpha_{\text{в.чер}} A_{\tau_{\text{в}}} F_{\text{покр}} + n_{\text{осв}} F_{\text{пер}} + \frac{F_{\text{пер}}}{R_{\text{о.пер}}} t_{\text{в}} + 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho t_{\text{н}} /$$

$$/ \frac{F_{\text{пер}}}{R_{\text{о.пер}}} + 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho.$$

Это уравнение позволяет определить расчетную температуру воздуха в помещении технического чердака с учетом различной кратности воздухообмена 0,1; 1,0; 3,0; 5,0 и 10 (1/ч). Полученные значения сведем в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Изменение температуры внутреннего воздуха в помещении технического чердака в зависимости от кратности воздухообмена в теплое время года при  $t_b = 24$  °С и  $t_n = 29,7$  °С

|                        |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| $t_{\text{чер}},$ °С   | 43,7 | 36,2 | 32,6 | 31,6 | 30,7 |
| $Kp_{\text{чер}},$ 1/ч | 0,1  | 1,0  | 3,0  | 5,0  | 10,0 |

Остановимся на расчетной температуре воздуха в помещении технического чердака при  $t_{\text{чер}}^T = 36,2$  °С и  $Kp_{\text{ч}} = 1,0$  1/ч.

Количество теплоты, которое поступает в помещения прядильного цеха через перекрытие с подвесным акустическим потолком, составит

$$Q_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{чер}}^T - t_b}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}} = \frac{36,2 - 24}{1,16} 6912 = 72\,695 \text{ Вт.}$$

Общее теплоступление в прядильное отделение для теплового периода года

$$\begin{aligned} Q_{\text{ТВ}}^T &= Q_m + Q_{\text{ч}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{пер}} = \\ &= 1\,774\,080 + 17\,710 + 207\,360 + 72\,695 = 2\,071\,845 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Удельная тепловая нагрузка в прядильном цехе

$$q_{\text{т.нагр}} = \frac{Q_{\text{ТВ}}^T}{V_{\text{ц}}} = \frac{2071845}{41472} = 49,9 \text{ Вт/м}^3.$$

Построение на диаграмме  $J-d$  процессов кондиционирования в теплое время года с доувлажнением произведем по следующим исходным данным:

- параметры наружного воздуха

$$t_n = 33 \text{ °С}; i_n = 64,5 \text{ кДж/кг}; d_n = 12,2 \text{ г/кг};$$

- параметры внутреннего воздуха

$$t_b = 24 \text{ °С}; \varphi_b = 65 \%; \text{ доувлажнение в цехе } \Delta d_{\text{ду}} = 1,5 \text{ г/кг}.$$

Для построения процесса кондиционирования (рис. 7.2) воспользуемся диаграммой  $J-d$ .

Положение точки  $O$ , характеризующей состояние воздуха за камерой орошения, определяется из условия  $\varphi_o = 95 \%$ :

$$d_o = d_{\text{ц}} - \Delta d_{\text{ду}} = 12,2 - 1,5 = 10,7 \text{ г/кг.}$$

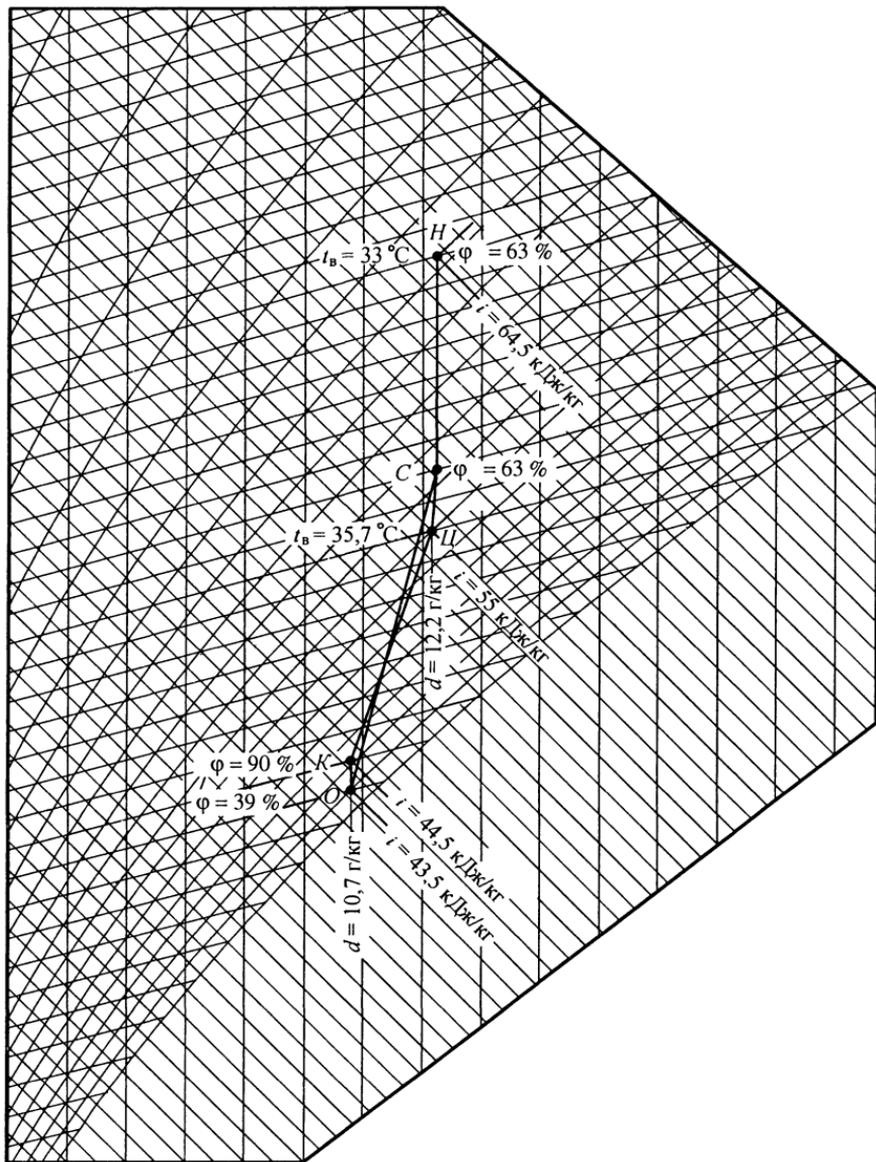


Рис. 7.2. Процесс обработки воздуха в теплое время года для прядильного цеха

Положение точки  $K$ , характеризующей состояние приточно-го воздуха, определяется из условия  $d_k = d_o = 10,7$  г/кг:

$$i_k = i_o + 1 = 43,5 + 1 = 44,5 \text{ кДж/кг.}$$

Линия  $OK$  — процесс нагрева воздуха в вентиляторе.

Поскольку  $i_n > i_u$ , то применяется смешивание воздуха с целью сокращения расходов на охлаждение. Необходимо найти точку смеси  $C$ , где  $n_{\text{нар}} = 20$  % (процент рециркуляционного воздуха).

Для этого необходимо определить энтальпию точки смеси по формуле

$$i_c = i_v - \frac{n_{\text{нар}}}{100} (i_u - i_n) = 55 - \frac{20}{100} (55 - 64,5) = 56,9.$$

На пересечении линии смеси  $HC$  и энтальпии  $i_c = 56,9$  найдем точку смеси  $C_c$ ;  $CO$  — процесс охлаждения смеси наружного и рециркуляционного воздуха в оросительной камере кондиционера.

Расход холода на охлаждение 1 кг воздуха рассчитаем по формуле

$$\Delta i_{\text{охл}} = i_c - i_o = 56,9 - 43,5 = 13,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Вентилятором воздух подается в цех. Линия  $KЦ$  — процесс поглощения теплоты, выделяющейся в помещении.

Параметры всех точек воздуха, участвующих в процессе кондиционирования, приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Процесс кондиционирования в теплый период года в прядильном цехе

| Точка | Температура $t$ , °С | Влажность $\varphi$ , % | Энтальпия $i$ , кДж/кг | Влагосодержание $d$ , г/кг |
|-------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Ц     | 24                   | 65                      | 55                     | 12,2                       |
| О     | 16                   | 95                      | 43,5                   | 10,7                       |
| К     | 17                   | 89                      | 44,5                   | 10,7                       |
| Н     | 33                   | 39                      | 64,5                   | 12,2                       |
| С     | 26                   | 58                      | 56,9                   | 12,2                       |

Связующий эффект по теплоте в цехе определяется по разности энтальпий цехового воздуха и поступающего из кондиционера:

$$\Delta i_u = i_u - i_k = 55 - 44,5 = 10,5 \text{ кДж/кг.}$$

Количество воздуха, подаваемого в цех для поглощения теплоты, выделяющейся в помещении в теплое время года:

$$G^T = \frac{Q_{\text{ТВ}}^T}{(i_{\text{ц}} - i_{\text{к}}) \cdot 0,278} = \frac{2071845}{(55 - 44,5) \cdot 0,278} = 709\,779 \text{ кг/ч.}$$

Объемное количество приточного воздуха

$$L^T = \frac{G^T}{\rho} = \frac{709\,779}{1,2} = 591\,482,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Кратность воздухообмена в прядильном цехе

$$K_p = \frac{L^T}{V_{\text{цех}}} = \frac{591\,482,5}{41\,472} = 14,2 \text{ 1/ч.}$$

Количество воды, разбрызгиваемой системой доувлажнения внутри прядильного цеха,

$$W_{\text{ду}} = G^T \left( \frac{\Delta d_{\text{в}}}{1000} \right) = 709\,779 \cdot \left( \frac{1,5}{1000} \right) = 1064,6 \text{ кг/ч.}$$

### Уравнение теплового баланса для холодного периода года

В холодный период года в прядильный цех теплота поступает от оборудования  $Q_{\text{м}}$ , освещения  $Q_{\text{осв}}$  и людей  $Q_{\text{л}}$ . Часть теплоты теряется через чердачное перекрытие  $Q_{\text{пер}}$ .

Определим для холодного периода года температуру воздуха в техническом чердаке исходя из условий, что приток теплоты происходит через чердачное перекрытие  $Q_{\text{пер}}^x$ , от дежурного освещения  $Q_{\text{осв.чер}}$  и теряется за счет естественной вентиляции  $Q_{\text{вен.чер}}$  и через чердачное покрытие  $Q_{\text{покp}}$ . Общее уравнение теплового баланса технического чердака имеет следующий вид:

$$Q_{\text{пер}}^x + Q_{\text{осв.чер}} = Q_{\text{покp}} + Q_{\text{вен.чер}}$$

Составляющие уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{пер}}^x = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{чер}}^x}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}};$$

$$Q_{\text{осв.чер}}^1 = n_{\text{осв}} F_{\text{пер}};$$

$$Q_{\text{всн}} = 0,278 \text{ Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho (t_{\text{чер}}^x - t_{\text{н}});$$

$$Q_{\text{покр}} = \frac{t_{\text{чер}}^x - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.покр}}} F_{\text{покр}},$$

где  $t_{\text{чер}}^x$  — температура воздуха в помещении чердака в холодный период года.

Общее уравнение теплового баланса примет следующий вид:

$$\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{чер}}^x}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}} + n_{\text{осв}}^1 F_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{чер}}^x - t_{\text{н}}}{R_{\text{о.покр}}} F_{\text{покр}} + 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho (t_{\text{чер}}^x - t_{\text{н}}).$$

Из уравнения теплового баланса определим значение температуры воздуха на техническом чердаке для холодного времени года

$$t_{\text{ч}}^x = \frac{n_{\text{осв}} F_{\text{пер}} + \frac{F_{\text{пер}}}{R_{\text{о.пер}}} t_{\text{в}} + 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho t_{\text{н}} + \frac{F_{\text{покр}}}{R_{\text{о.покр}}} t_{\text{н}}}{\frac{F_{\text{пер}}}{R_{\text{о.пер}}} + 0,278 \text{Кр}_{\text{чер}} V_{\text{чер}} \rho + \frac{F_{\text{покр}}}{R_{\text{о.покр}}}}.$$

Определим температуру воздуха в помещении технического чердака при кратности воздухообмена 0,1; 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 и результаты сведем в табл. 7.3.

*Таблица 7.3. Изменение температуры внутреннего воздуха в помещении технического чердака в зависимости от кратности воздухообмена в холодный период года при  $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -27 \text{ }^\circ\text{C}$*

|  |     |      |      |       |       |
|--|-----|------|------|-------|-------|
| $t_{\text{чер}}, \text{ }^\circ\text{C}$ | 5,1 | -0,6 | -5,4 | -14,5 | -18,2 |
| $\text{Кр}_{\text{чер}}, 1/\text{ч}$     | 0,1 | 0,5  | 1,0  | 3,0   | 5,0   |

Как следует из табл. 7.3, кратность воздухообмена существенно влияет на температуру внутреннего воздуха. Целесообразно в холодный период года при низких температурах наружного воздуха кратность воздухообмена свести к минимуму. С другой стороны, на технический чердак в зимнее время из прядильного цеха поступают пары влаги, которые должны удаляться из чердачного помещения. Примем в качестве расчетной температуры воздуха  $t_{\text{чер}} = -5,4 \text{ }^\circ\text{C}$  и кратность воздухообмена  $\text{Кр}_{\text{чер}} = 1,0 1/\text{ч}$ . При этом сантехнические коммуникации должны быть теплоизолированы.

Количество теплоты, которое теряется через чердачное перекрытие:

$$Q_{\text{пер}}^x = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{чер}}^x}{R_{\text{о,пер}}} F_{\text{пер}} = \frac{24 - (-0,54)}{1,16} 6912 = 175\,183,5 \text{ Вт.}$$

Теплоизбытки в помещении прядильного цеха в холодный период года составят

$$Q_{\text{изб}}^x = Q_{\text{м}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} - Q_{\text{пер}} = 1\,774\,080 + 17\,710 + \\ + 207\,360 - 175\,183,5 = 1\,806\,266,5 \text{ Вт.}$$

Построение на диаграмме  $J-d$  процесса кондиционирования в холодное время года с рециркуляцией и с доувлажнением:

- параметры наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -23 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $i_{\text{н}} = -21,9 \text{ кДж/кг}$ ;
- параметры внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{\text{в}} = 65 \%$ ;
- минимальный процент наружного воздуха в смеси  $n_{\text{нар}}^{\text{min}} = 15 \%$ ;
- распыление воды в цехе  $1,5 \text{ г/кг}$ .

Параметры точки  $Ц$  остаются неизменными, также не меняются параметры точки  $О$  и точки  $К$  (рис. 7.3).

Для экономии расходов на подогрев наружного воздуха произведем смешивание наружного воздуха с цеховым (рециркуляция). Находим точку смеси на пересечении линии смеси  $НЦ$  и энтальпии  $i_{\text{с}}$ . Отрезок  $СО$  соответствует процессу обработки смеси воздуха в камере орошения рециркуляционной водой.

Определим процент наружного воздуха в смеси:

$$n_{\text{нар}} = \frac{i_{\text{ц}} - i_{\text{с}}}{i_{\text{ц}} - i_{\text{н}}} \cdot 100 \% = \frac{55 - 43,5}{55 - (-21,9)} \cdot 100 = 14,5 \%$$

Полученный результат меньше требуемого на  $15 \%$ .

Определим теплосодержание смеси, которое обеспечит минимальный необходимый процент наружного воздуха в смеси:

$$i_{\text{с1}} = i_{\text{в}} - \frac{n_{\text{нар}}^{\text{min}}}{100} (i_{\text{ц}} - i_{\text{н}}) = 55 - \frac{15}{100} [55 - (-21,9)] = 42,5 \text{ кДж/кг.}$$

На пересечении линии смеси  $НЦ$  и энтальпии  $i_{\text{с}}$ , найдем новую точку смеси  $С_1$  с требуемым процентом наружного воздуха. Поскольку  $i_{\text{с1}} < i_{\text{с}}$ , воздух должен быть подогрет в калорифере до точки  $П$ , процесс нагрева изображается от точки  $С_1$  по  $d_{\text{с1}} = \text{const}$  до пересечения с линией теплосодержания  $i_{\text{о}}$  — отрезок  $СП$ .

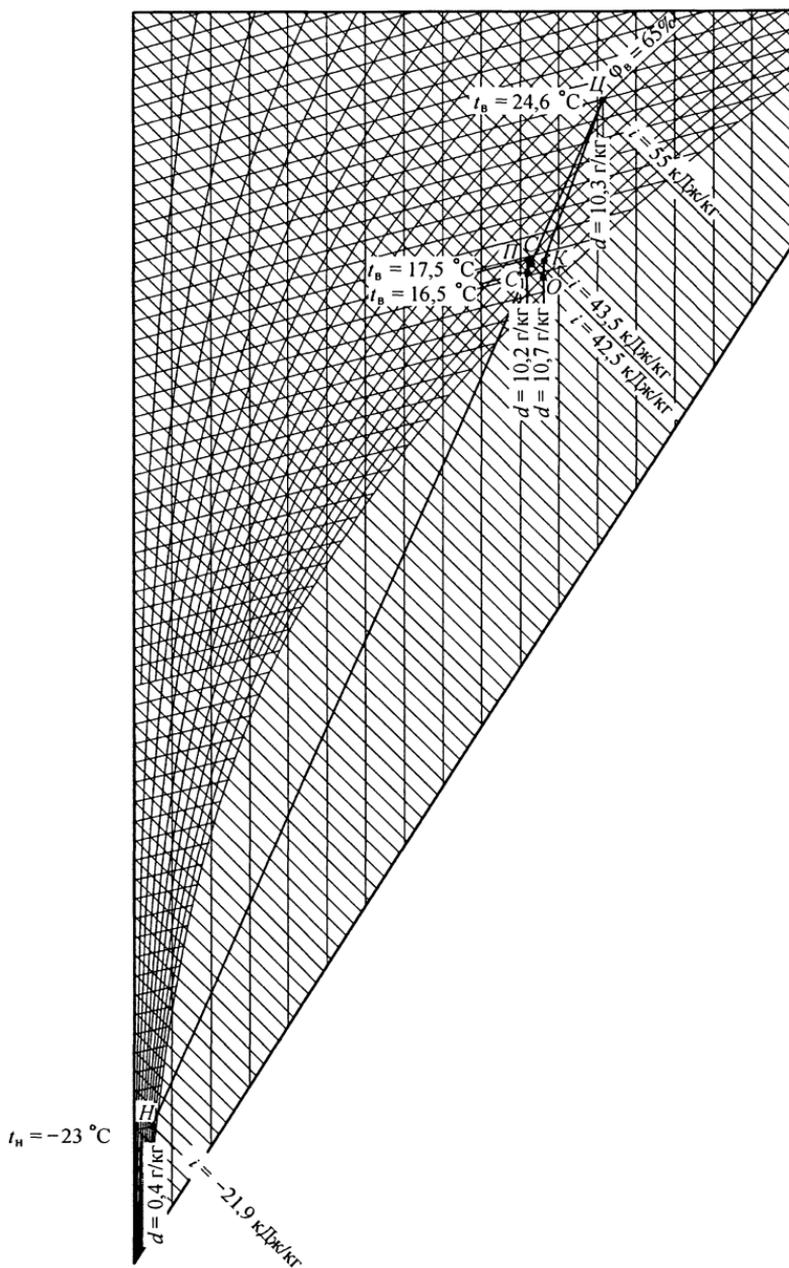


Рис. 7.3. Процесс обработки воздуха в холодное время года для прядильного цеха

Тогда, расход теплоты на подогрев 1 кг приточного воздуха:

$$\Delta i_{\text{под}} = i_o - i_{c1} = 43,5 - 42,5 = 1,0 \text{ кДж/кг.}$$

Количество воздуха, подаваемого в цех,

$$G^x = \frac{Q_{\text{изб}}^x}{(i_{\text{ц}} - i_k) \cdot 0,278} = \frac{1806\ 266,5}{(55 - 44,5) \cdot 0,278} = 618\ 796,3 \text{ кг/ч.}$$

Объем приточного воздуха

$$L^x = \frac{G^x}{\rho} = \frac{618\ 796,3}{1,2} = 515\ 663 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Кратность воздухообмена в прядильном цехе составит

$$K_p = \frac{L^x}{V_{\text{ц}}} = \frac{515\ 663,6}{41\ 472} = 12,4 \text{ 1/ч.}$$

Параметры воздушной среды сведены в табл. 7.3.

Процесс кондиционирования воздуха в холодное время года с доувлажнением приведены на рис. 7.3 и табл. 7.4.

**Таблица 7.4. Процесс кондиционирования воздуха в холодное время года в прядильном цехе**

| Точка на рис. 7.3 | Температура $t$ , °С | Влажность $\phi$ , % | Энтальпия $i$ , кДж/кг | Влажность $d$ , г/кг |
|-------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Ц                 | 24                   | 65                   | 55                     | 12,2                 |
| О                 | 16                   | 95                   | 43,5                   | 10,7                 |
| К                 | 17                   | 89                   | 44,5                   | 10,7                 |
| Н                 | -23                  | 70                   | -21,9                  | 0,4                  |
| С                 | 17,2                 | 87,5                 | 43,5                   | 10,3                 |
| С <sub>1</sub>    | 16,5                 | 85                   | 42,5                   | 10,2                 |
| П                 | 17,5                 | 81                   | 43,5                   | 10,2                 |

Определим общее количество требуемого воздуха. Согласно построенному в диаграмме  $J-d$  процессу кондиционирования воздуха в холодное время года обработка воздуха осуществляется следующим образом: наружный воздух смешивается с цеховым в

смесительной камере кондиционера (точка  $C_1$ ), затем смешанный воздух подогревается в калориферах кондиционера (процесс  $C_1P$ ), подогретый воздух направляется в оросительную камеру (процесс  $PO$ ) для адиабатического увлажнения. После оросительной камеры кондиционера воздух попадает в вентилятор, где нагревается за счет трения рабочего колеса вентилятора и в воздуховодах (процесс  $OK$ ) и с параметрами точки  $K$  подается в цех, где поглощает избыточную теплоту, поступающую в помещение (процесс  $KЦ$ ).

Выберем кондиционер для теплого периода года по количеству необходимого приточного воздуха с увеличением на 10 % с учетом возможного роста производства или возможности наращивания установочной мощности технологического оборудования:

$$L_{\text{конд}} = L^m + 0,1 L^m = 618\,796,3 + 0,1 \cdot 618\,796,3 = 689\,675,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для поддержания заданных параметров воздушной среды в прядильном производстве необходимо установить семь кондиционеров КЦКП-100 производства Московского предприятия «ВЕЗА».

**Пример 7.2.** Определим у работницы прядильного цеха, одетой в комплект рабочей одежды, тепловое состояние с учетом средней температуры внешней поверхности одежды и открытых участков тела, теплозащитных свойств пакета одежды, коэффициентов излучения одежды и ограждающих конструкций и коэффициента теплоотдачи конвекции и излучения. Примем температуру внутреннего воздуха  $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ , кинематическую вязкость воздуха  $\nu = 15,58 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Воздух в прядильный цех поступает из воздухораздаточных отверстий. Работницы цеха на технологическом потоке обдуваются воздухом, направленным под углом  $30...45^\circ$ . Коэффициент теплообмена конвекцией определяем по циркульной номограмме (см. рис. 2.7) с учетом обдува воздухом под углом  $30^\circ \alpha_{\text{ч,к}} = 3,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$  и под углом  $45^\circ \alpha_{\text{ч,к}} = 3,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ .

При определении коэффициента лучистого теплообмена примем коэффициент излучения поверхности одежды  $C_{\text{и}} = 3,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ , у внутренних поверхностей ограждающих конструкций и технологического оборудования  $C_{\text{орп}} = 4,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$

Температурный коэффициент взаимно облучаемых поверхностей в соответствии с графиком рис. 1.9 равен 1,1.

В прядильном цехе площадь внутренних ограждающих конструкций, поверхности светильников и воздухораздаточных коробов составляет 15 842 м<sup>2</sup>.

Коэффициент теплоотдачи излучением поверхности одежды

$$\alpha_{\text{ч.л.}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{ч}}} + \frac{F_{\text{ч}}}{F_{\text{в-орг}}} \left( \frac{1}{C_{\text{в.орг}}} - \frac{1}{C_{\text{о}}} \right)} \Omega =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{4,07} + \frac{1,85}{15842} \left( \frac{1}{4,0} - \frac{1}{5,76} \right)} \cdot 1,1 = 4,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением у поверхности одежды работницы:

- угол обдува 30°

$$\alpha_{30} = \alpha_{\text{ч.к}} + \alpha_{\text{ч.л}} = 3,18 + 4,48 = 7,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

- угол обдува 45°

$$\alpha_{45} = \alpha_{\text{ч.к}} + \alpha_{\text{ч.л}} = 3,67 + 4,48 = 8,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

- угол обдува 90°

$$\alpha_{90} = \alpha_{\text{ч.к}} + \alpha_{\text{ч.л}} = 4,62 + 4,48 = 9,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Общее сопротивление теплопередаче пакета женской одежды и среднее значение температуры поверхности одежды работницы составят:

- в платье

$$R_{\text{п.од}} = 0,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad \text{и} \quad \tau_{\text{ч}} = 30,28 \text{ °C};$$

- в жакете и юбке

$$R_{\text{п.од}} = 0,218 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad \tau_{\text{ч}} = 30,45 \text{ °C}.$$

Примем, что в помещении прядильного цеха в летнее время года  $\tau_{\text{в.п}} = t_{\text{в}}$  и зимнее  $\tau_{\text{в.п}} = t_{\text{в}} - 1$ .

Определим для теплого периода года потери теплоты с поверхности одежды прядильщицы конвекцией и излучением с

учетом ее теплотехнических свойств ( $R_{п.од} = 0,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  и  $\tau_{ч} = 30,28 \text{ °C}$ ):

- при обдуве потоком воздуха под углом  $30^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = \alpha_{ч.к}(\tau_{ч} - t_{в}) + \alpha_{ч.л}(\tau_{ч} - \tau_{в.п}) = \\ = 3,18(30,28 - 24) + 4,48(30,28 - 24) = 48,1 \text{ Вт/м}^2;$$

- при обдуве потоком воздуха под углом  $45^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = 3,67(30,28 - 24) + 4,48(30,28 - 24) = 51,17 \text{ Вт/м}^2;$$

- при обдуве потоком воздуха под углом  $90^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = 4,62(30,28 - 24) + 4,48(30,28 - 24) = 57,33 \text{ Вт/м}^2.$$

Найдем для холодного времени года потери теплоты конвекцией и излученным прядильщицей с учетом теплозащитных свойств одежды ( $R_{п.од} = 0,218 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  и  $\tau_{ч} = 30,45 \text{ °C}$ ):

- при обдуве потоком воздуха под углом  $30^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = \alpha_{ч.к}(\tau_{ч} - t_{в}) + \alpha_{ч.л}(\tau_{ч} - \tau_{в.п}) = \\ = 3,18(30,45 - 24) + 4,48(30,45 - 23) = 53,84 \text{ Вт/м}^2;$$

- при обдуве потока воздуха под углом  $45^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = 3,67(30,45 - 24) + 4,48(30,45 - 23) = 57,04 \text{ Вт/м}^2;$$

- при обдуве потоком воздуха под углом  $90^\circ$

$$Q_{ч.к.л} = 4,62(30,45 - 24) + 4,48(30,45 - 23) = 63,16 \text{ Вт/м}^2.$$

Из проведенных расчетов по конвективно-лучистому теплообмену с учетом теплозащитных свойств одежды ( $0,211... ..0,218 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ) следует, что в зависимости от угла обдува потоком воздуха человека соответствующая  $Q_{ч.к.л}$  изменяется от 48,1 до 57,3 Вт/м<sup>2</sup> и от 53,9 до 63,1 Вт/м<sup>2</sup>. Отнесем эти значения к площади поверхности человека и соответственно получим изменение энергозатрат от 88,9 до 106 Вт и от 99,7 до 116,7 Вт. Работа прядильщицы относится к категории IIa с уровнем энергозатрат 175 Вт (см. табл. 1.9 и 1.10). В зависимости от вида работ на составляющую конвективно-лучистого теплообмена приходится до 65 % [20]. Следовательно, допустимый конвективно-лучистый уровень энергозатрат для категории работ IIa составляет 115 Вт. Это практически согласуется с полученными значениями конвективно-лучистого теплообмена для летних и зимних условий, в особенности при обдуве потоком воздуха под углом  $90^\circ$ .

Параметры воздушной среды при температуре внутреннего воздуха  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средней температуре внутренних поверхностей помещения  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха  $65\%$  и скорости движения воздуха  $0,15\text{ м/с}$  отвечают требованиям допустимых условий микроклимата на рабочих местах производственных помещений (см. табл. 1.10).

Таким образом, параметры воздушной среды в закрытом типе здания прядильного производства в рабочей зоне обеспечивают комфортные тепловые условия в летний и зимний периоды года и создают благоприятные условия для технологического процесса.

### 7.2.2. Швейное производство

**Пример 7.3.** Рассмотрим процессы обработки в системах кондиционирования воздуха для создания требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне на швейной фабрике, расположен в г. Москва на  $56^{\circ}$  с. ш. Рассматриваемый цех расположен на третьем этаже пяти этажного здания. Его ширина  $24\text{ м}$ , длина  $48\text{ м}$ , высота  $4,2\text{ м}$ , площадь пола  $1152\text{ м}^2$  и объем помещений этажа  $4838,4\text{ м}^3$ .

Наружные стены толщиной  $51\text{ см}$  состоят из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе  $\gamma = 1800\text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,70\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ .

Световые проемы выполнены в деревянных отдельных переплетах размером  $2,5 \times 4,5\text{ м}$ , с сопротивлением теплопередаче  $0,42\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ . На юг ориентированы остекленные поверхности площадью  $78,75\text{ м}^2$ , на север —  $78,75\text{ м}^2$ . Общая площадь застроек световых проемов составляет  $157,5\text{ м}^2$ .

Характеристика технологического оборудования приведена в табл. 7.5.

Таблица 7.5. Технологическое оборудование швейного цеха

| Наименование оборудования | Марка или серия             | Количество установленное в цехе | Мощность, кВт |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
| Универсальное             | 212-115105/Е 112 «Дюркопп»  | 56                              | 0,27          |
|                           | МО-816-ДФ4/ТОО1 «Джуки»     | 14                              | 0,27          |
|                           | 570-2 ПО «Подольск-швеймаш» | 6                               | 0,27          |

Окончание табл. 7.5

| Наименование оборудования                                | Марка или серия                | Количество установленное в цехе | Мощность, кВт |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Специальное  | 397-М ПО «Подольск-швеймаш»    | 2                               | 0,27          |
|  | ЛН-115 2 SN-413/ МО 16 «Джуки» | 4                               | 0,27          |
|  | 2001 «Некки»                   | 4                               | 0,27          |
|  | IAN 1405 «Некки»               | 8                               | 0,27          |
|  | IAN 1611 «Некки»               | 8                               | 0,27          |
|  | IAN 1441 «Некки»               | 12                              | 0,27          |
|  | 51-А ПО «Подольск-швеймаш»     | 1                               | 0,27          |
| Вывертывание и приутоживание (пресс для клапана кармана) | ПВ-1 «Легмаш»                  | 6                               | 1,6           |
|  | ПМ-1 «Легмаш»                  | 6                               | 1,0           |
| Утюг   | УТП-1, 5Э «Легмаш»             | 10                              | 1,0           |
| Фальцпресс   | 7-96 MOM3 ЦНИИШП               | 3                               | 1,0           |
| <i>Отделочные секции</i>                                 |                                |                                 |               |
| Пресс  | КССУ «Паннония»                | 2                               | 1,6           |
|  | КДФВ «Паннония»                | 2                               | 1,6           |

Общее число одновременно занятых рабочих  $\Pi_{л} = 151$  человек.

### Уравнение теплового баланса для теплового времени года

Тепловыделения от электродвигателей швейных машин (позиции 1—10 табл. 7.5):

$$Q_{м} = N_{уст} K_{исп} K_{в} \cdot 1000 = 31,05 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1000 = 21\,735 \text{ Вт.}$$

Коэффициент использования энергии  $K_{исп} = 0,7$  и коэффициент выделения теплоты  $K_{в} = 1$ .

Выделение теплоты от оборудования влажностно-тепловой обработки:

- прессы —  $Q_{прес} = Q_{прес} n_{пр} K_{од}$ ;

- утюги —  $Q_{ут} = Q_{ут} n_{ут} K_{од}$ ,

где  $Q_{прес}$ ,  $Q_{ут}$  — количество теплоты от единицы оборудования, Вт;  $n_{пр}$ ,  $n_{ут}$  — число оборудования влажностно-тепловой обработ-

ки;  $K_{\text{од}}$  — коэффициент одновременности работы оборудования ( $K_{\text{од}} = 0,8$ ).

Тепловыделения:

- от прессов (позиция 11, 15, 16 табл. 7.5)

$$Q_{\text{прес}} = Q_{\text{прес}} n_{\text{пр}} K_{\text{од}} \cdot 0,278 = 1600 \cdot 10 \cdot 0,8 = 12\,800 \text{ Вт};$$

- от прессов (позиция 12, 14 табл. 7.5)

$$Q_{\text{прес}} = 1000 \cdot 9 \cdot 0,8 = 7200 \text{ Вт};$$

- от утюгов (позиция 13 табл. 7.5)

$$Q_{\text{ут}} = N_{\text{ут}} n_{\text{ут}} K_{\text{од}} \cdot 0,278 = 1000 \cdot 10 \cdot 0,8 = 8000 \text{ Вт}.$$

Общие тепловыделения от оборудования

$$Q_{\text{об}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{ут}} = 21\,735 + 12\,800 + 7200 + 8000 = 49\,735 \text{ Вт}.$$

Тепловыделения от искусственного освещения

$$Q_{\text{осв}} = N_{\text{уд}} F_{\text{пол}} \cdot 1000 = 0,04 \cdot 1152 \cdot 1000 = 46\,080 \text{ Вт},$$

где  $N_{\text{уд}} = 0,03 \dots 0,04 \text{ кВт/м}^2$ .

Теплопоступление от солнечной радиации в помещение швейного цеха, расположенного на третьем этаже пятиэтажного здания, происходит через заполнения светового проема. На остекленную поверхность поступает прямая и рассеянная солнечная радиация:

$$Q_{\text{ост}}^{\text{рад}} = [(Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}}) K_1 K_2 \beta_{\text{сз}} + (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) / R_{\text{ост}}] F_{\text{ост}} n_{\text{кол.ок}},$$

где  $Q_{\text{пр}}$  и  $Q_{\text{рас}}$  — поступление теплоты соответственно от прямой и рассеянной солнечной энергии (прил. П17);  $n_{\text{кол.ок}}$  — число окон.

В нашем случае здание расположено длинными сторонами на север и юг. При таком расположении солнечная радиация поступает в помещение во второй половине дня с 13 до 14 часов через окна, ориентированные на юг и север. Для с. ш.  $56^\circ$  наибольшее солнечное прямое излучение составляет  $479 \text{ Вт/м}^2$  и рассеянное —  $124 \text{ Вт/м}^2$ .

Поступление тепловой энергии через остекление в деревянных раздельных переплетах с учетом коэффициента теплопропускания  $\beta_{\text{сз}}$  (принимается для одинарного остекления равным 1, двойного — 0,9 и тройного — 0,8) составляет

$$Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}} = 479 \cdot 0,9 + 124 \cdot 0,9 = 547,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Затемнение остекления световых проемов белыми шторами и загрязнение атмосферы учитываются коэффициентом  $K_1 = 0,45$ , снижение поступлений теплоты в помещение за счет загрязнения остекления световых проемов учитывается коэффициентом  $K_2$  при содержании в воздушной среде помещений частиц пыли, дыма или копоти соответственно  $10 \text{ мг/м}^3$  ( $K_2 = 0,85$ ),  $5 \dots 10 \text{ мг/м}^3$  ( $K_2 = 0,9$ ) и не более  $5 \text{ мг/м}^3$  ( $K_2 = 0,95$ ). В швейных цехах обычно загрязняющих веществ содержится менее  $5 \text{ мг/м}^3$ , поэтому принимаем  $K_2 = 0,95$ .

Поступление тепловой энергии через двойное остекление в деревянных раздельных переплетах:

через южную сторону

$$Q_{\text{ост}}^{\text{юж}} = [547,2 \cdot 0,95 \cdot 0,45 + (22,3 - 27)/0,42] \cdot 2,5 \cdot 4,5 \cdot 7 = \\ = 19\,301,6 \text{ Вт};$$

через северную сторону

$$Q_{\text{рас}}^{\text{сеv}} = [124 \cdot 0,95 \cdot 0,45 + (22,3 - 27)/0,42] \cdot 2,5 \cdot 4,5 \cdot 7 = 5056,5 \text{ Вт}.$$

Общее поступление теплоты от солнечного излучения через окна с двойным остеклением в деревянных раздельных переплетах составит

$$Q_{\text{ост}}^{\text{рад}} = Q_{\text{ост}}^{\text{юж}} + Q_{\text{ост}}^{\text{сеv}} = 19\,301,6 + 5056,5 = 24\,358,1 \text{ Вт}.$$

Тепловыделения от людей (для категории работ Ia примем  $120 \text{ Вт}$ ), составит

$$Q_{\text{л}} = Q_{\text{ч}} n_{\text{л}} = 120 \cdot 151 = 18\,120 \text{ Вт}.$$

Общие тепlopоступления для теплого периода года

$$Q_{\text{тп}}^{\text{T}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{ост}}^{\text{рад}} = 49\,735 + 18\,120 + 46\,080 + \\ + 24\,358,1 = 138\,293,1 \text{ Вт}.$$

Удельная тепловая нагрузка в швейном цехе

$$q_{\text{т.нагр}} = \frac{Q_{\text{тп}}^{\text{T}}}{V_{\text{ц}}} = \frac{138\,293,1}{4838,4} = 28,5 \text{ Вт/м}^3.$$

Влаговыведения от людей согласно табл. 1.12 составят  $102 \text{ г/ч}$  или  $0,102 \text{ кг/ч}$

$$W_{\text{л}} = 0,102 \cdot 151 = 15,4 \text{ кг/ч}.$$

Влаговыведения от оборудования ВТО-прессов и утюгов вычисляются по зависимости:

$$W_{об} = W_{пр} + W_{ут} = W_{пр.1} n_{пр} K_{од} + W_{ут.1} n_{ут} K_{од},$$

где  $W_{пр.1}$  — количество влаги, выделяемой одним прессом (позиции 11, 15, 16. табл. 7.5), равняется 1,4 кг/ч и 0,2 кг/ч (позиции 12, 14);  $W_{ут.1}$  — количество влаги, выделяемой одним утюгом, 0,5 кг/ч;  $n_{пр}$  и  $n_{ут}$  — число прессов и утюгов.

Влаговыведения оборудованием

$$W_{об} = 1,4 \cdot 10 \cdot 0,8 + 0,2 \cdot 9 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,8 = 16,64 \text{ кг/ч.}$$

Суммарные влаговыведения в швейном цехе

$$W = W_{л} + W_{об} = 15,4 + 16,64 = 32,44 \text{ кг/ч.}$$

Определим угловой масштаб вентиляционного процесса как отношение тепловыделения  $Q$  к влаговыведению  $W$ . Построим на диаграмме  $J-d$  луч процесса изменения тепловлажностного состояния воздуха:

$$\epsilon_T = \frac{Q_{ТВ}^T \cdot 3,6}{W} = \frac{138\,293,1 \cdot 3,6}{32,44} = 15\,374,9 \text{ кДж/кг.}$$

Для теплого времени года примем следующие параметры:

- наружный воздух  $t_n = 22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $i_n = 49,4 \text{ кДж/кг}$ ;
- внутренний воздух  $t_b = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\phi_b = 50 \text{ \%}$ ;
- тепловыделения  $Q_{тп}^T = 138\,293,1 \text{ Вт}$ .

Из точки наружного воздуха  $H$  (рис. 7.4) проводим линию, параллельную лучу углового масштаба  $\epsilon_T = 15\,374,9$  до пересечения с температурой цехового воздуха  $t_b = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Полученная точка  $Ц$  характеризует параметры воздуха в швейном цехе.

Схема процесса кондиционирования воздуха дана на рис. 7.4, а параметры воздуха приведены в табл. 7.6.

Таблица 7.6. Параметры воздуха для теплого периода года

| Точка на рис. 7.4 | $t$ , $^\circ\text{C}$ | $\phi$ , % | $i$ , кДж/кг | $d$ , г/кг |
|-------------------|------------------------|------------|--------------|------------|
| $H$               | 22,3                   | 62         | 49,4         | 10,6       |
| $Ц$               | 27                     | 50         | 55           | 10,95      |
| $Ц_1$             | 27                     | 58         | 59,7         | 12,8       |
| $K$               | 18,6                   | 90         | 49,4         | 12,2       |



В расчетах примем бóльшую величину и определим объемное количество воздуха:

$$L^m = \frac{G_2^T}{V_{\text{ц}}} = 92\,685,7 / 1,2 = 77\,298 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена по теплоте

$$K_p = \frac{L^T}{V_{\text{ц}}} = 77\,298 / 4838,4 = 15,9 \text{ 1/ч}.$$

Поскольку кратность воздухообмена велика, 15,9 1/ч, то перед подачей в цех воздух необходимо охлаждать путем адиабатического увлажнения в оросительной камере кондиционера (процесс *HK*, см. рис. 7.4). Точку *K* получим на пересечении адиабаты  $i_n = \text{const}$  и относительной влажности  $\varphi_k = 90\%$ . С параметрами точки *K* приточный воздух поступает в цех, где поглощает тепло и влагу цеха (процесс *KЦ<sub>1</sub>*).

$$\Delta i_{\text{ц1}} = i_{\text{ц1}} - i_k = 59,7 - 49,4 = 10,3 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta d_{\text{ц2}} = d_{\text{ц2}} - d_k = 12,8 - 12,2 = 0,6 \text{ г/кг}.$$

Количество воздуха необходимое для воздухообмена:

- по теплу

$$G_1^T = \frac{Q_{\text{тп}}^T}{(i_{\text{ц1}} - i_k) \cdot 0,278} = \frac{138\,283,1}{10,3 \cdot 0,278} = 48\,296,8 \text{ кг/ч};$$

- по влаге

$$G_2^T = \frac{W \cdot 1000}{d_{\text{ц1}} - d_k} = \frac{32,44 \cdot 1000}{0,6} = 54\,066,6 \text{ кг/ч}.$$

Объемное количество воздуха

$$L_T = G_2^T / \rho = 54\,066,6 / 1,2 = 45\,055,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена в швейном цехе

$$K_p = L_T / V_{\text{ц}} = 45\,055,5 / 4838,4 = 9,3 \text{ 1/ч},$$

что отвечает требованиям, предъявляемым к швейным цехам.

Таким образом, принимаем в теплое время года подачу воздуха в цех с предварительным охлаждением в оросительной камере.

### Уравнение теплового баланса для холодного периода года

Тепловыделения в холодное время года

$$Q_{т.в}^x = Q_m + Q_l + Q_{осв} = 49\,735 + 15\,100 + 46\,080 = 110\,915 \text{ Вт.}$$

Суммарные тепловые потери в швейном цехе определяют с учетом удельной тепловой характеристики здания. В типовых многоэтажных швейных и обувных предприятиях удельная тепловая характеристика  $q_{y.t.x}$  для цехов, расположенных на последнем этаже, составляет  $0,24...0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  и для цехов, находящихся между первым и последним этажом, —  $0,14...0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})^*$ .

Для швейного цеха на третьем этаже пятиэтажного здания примем  $q_{y.t.x} = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ . Следовательно

$$Q_{т.п}^x = Q_{y.t.x} (t_v - t_n) V_{ц} = 0,17 \cdot (22 + 26) \cdot 4838,4 = 39\,577,7 \text{ Вт.}$$

Производственный цех в холодный период характеризуется избыточным количеством теплоты:

$$Q_{изб}^x = Q_{т.в}^x - Q_{т.п}^x = 110\,915 - 39\,577,7 = 71\,337 \text{ Вт.}$$

Для холодного времени года принимаем следующие параметры:

- наружный воздух  $t_n = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $i_n = -25,3 \text{ кДж/кг}$ ;
- внутренний воздух  $t_v = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_v = 60 \%$ ;
- теплоизбытки  $Q_{изб}^x = 71\,337 \text{ Вт}$ ;
- влаговыведения  $W = 32,44 \text{ кг/ч}$ .

Луч процесса изменения тепловлажностного состояния воздуха в цехе:

$$\epsilon_x = Q_{изб}^x \cdot 3,6/W = 71\,337 \cdot 3,6/32,44 = 7916 \text{ кДж/кг.}$$

Производительность вентиляционной системы принимаем, как для теплого времени года:

$$L^x = L^r = 45\,055,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Вентиляция осуществляется наружным, предварительно обработанным воздухом (процесс происходит без рециркуляции). Процесс кондиционирования воздуха изображен на рис. 7.5, параметры воздуха приведены в табл. 7.7.

\* По данным кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности» Российского заочного института текстильной и легкой промышленности.



Таблица 7.7. Параметры воздуха для холодного периода года

| Точка    | $t$ , °C | $\phi$ , % | $i$ , кДж/кг | $d$ , г/кг |
|----------|----------|------------|--------------|------------|
| <i>H</i> | -26      | 60         | -25,3        | 0,3        |
| <i>П</i> | 42       | —          | 43           | 0,3        |
| <i>Ц</i> | 22       | 60         | 47           | 9,8        |
| <i>К</i> | 19,5     | 65         | 43           | 9,2        |

Определим влагосодержание воздуха, выходящего из кондиционера и поступающего в цех (рис. 7.5). Для этого из уравнения

$$G = \frac{W \cdot 1000}{d_{\text{ц}} - d_{\text{к}}}$$

находим связующий эффект по влаге:

$$\Delta d_{\text{ц}} = d_{\text{ц}} - d_{\text{к}} = \frac{W \cdot 1000}{G_2^T} = \frac{32,44 \cdot 1000}{54066,6} = 0,6 \text{ г/кг.}$$

Точку *K*, которая характеризует состояние воздуха, выходящего из кондиционера и поступающего в цех, находим на пересечении влагосодержания этой точки  $d_{\text{к}} = d_{\text{ц}} - \Delta d_{\text{ц}}$  и процесса изменения состояния воздуха в цехе, проведенного из точки *Ц* параллельно лучу изменения тепловлажностного состояния *K — Ц II*

$$d_{\text{к}} = d_{\text{ц}} - \Delta d_{\text{ц}} = 9,8 - 0,6 = 9,2 \text{ г/кг.}$$

Сравнивая теплосодержание и влагосодержание точек *H* и *K*, замечаем необходимость подогрева и увлажнения наружного воздуха для достижения им параметров точки *K*. Положение конечной точки подогрева наружного воздуха определяется пересечением линии процесса нагрева *H—П* при  $d_{\text{н}} = d_{\text{п}} - \text{const}$  и изотальпического увлажнения *П—К* при  $i_{\text{к}} = i_{\text{п}} - \text{const}$ .

Расход теплоты на подогрев:

$$Q_{\text{под}} = G_2^T \Delta i_{\text{под}} \cdot 0,278 = 54\,066,6 \cdot 68,3 \cdot 0,278 = 1\,026\,584,2 \text{ Вт,}$$

где  $\Delta i_{\text{под}} = i_{\text{под}} - i_{\text{н}} = 43 - (-25,3) = 68,3 \text{ кДж/ч.}$

Полученную производительность системы вентиляции по теплоту времени года  $L^T$ , м<sup>3</sup>/ч, для выбора кондиционера следует увеличить на 10 % с учетом расширения производства или воз-

можно наращивания установленной мощности технологического оборудования:

$$L_{\text{конд}} = L^r + 0,1 \cdot L^r = 45\,055,5 + 0,1 \cdot 45\,055,5 = 49\,561,05 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $L_{\text{конд}}$  — производительность, по которой будет выбираться кондиционер,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

По полученной производительности  $49\,561,05 \text{ м}^3/\text{ч}$  подбираем кондиционер. Принимаем кондиционер КДЦ-50 производства Домодедовского завода кондиционеров.

**Пример 7.4.** Оценим тепловое состояние работницы, одетой в комплект рабочей одежды. Коэффициент теплоотдачи конвекцией у поверхности одежды определим по циркульной номограмме (см. рис. 2.7). При скорости движения воздуха в помещении  $0,15 \text{ м/с}$ , коэффициенте теплопроводности воздуха  $0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  и кинематической вязкости воздуха  $15,168 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  составит  $4,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Коэффициент излучения поверхности одежды  $C_{\text{ч}} = 4,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ . По графику, приведенному на рис. 1.9, находим температурный коэффициент  $1,06$ .

По формуле (1.3) вычислим коэффициент теплообмена излучением  $\alpha_{\text{ч,л}}$ , он равен  $4,34 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Коэффициент теплоотдачи у поверхности одежды работницы:

$$\alpha_{\text{ч}} = \alpha_{\text{ч,к}} + \alpha_{\text{ч,л}} = 4,62 + 4,34 = 8,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Термическое сопротивление одежды  $R_{\text{п}} = 0,092 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .  
Общее сопротивление теплопередаче одежды работницы

$$R_{\text{п.од}} = 0,092 + \frac{1}{8,95} = 0,203 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Температура на внешней поверхности одежды для теплого периода года равняется  $30,23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для теплого периода года примем  $t_{\text{в}} = \tau_{\text{в,п}}$  и найдем конвективно-лучистую составляющую потока тепла с поверхности одежды человека:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ч,к.л}} &= \alpha_{\text{ч,к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) + \alpha_{\text{ч,л}} (\tau_{\text{ч}} - \tau_{\text{в,п}}) = \\ &= 4,62(30,23 - 27) + 4,34(30,23 - 27) = 28,93 \text{ Вт}/\text{м}^2. \end{aligned}$$

Температура на внешней поверхности одежды для холодного периода года равна 27,92 °С.

Для холодного периода года при определении составляющей конвективно-лучистого потока с поверхности одежды человека примем  $\tau_{в.п} = t_b - 1 = 21$  °С:

$$Q_{ч.к.л} = \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_b) + \alpha_{ч.л} (\tau_{ч} - \tau_{в.п}) =$$

$$4,62(27,92 - 22) + 4,34(27,92 - 21) = 57,59 \text{ Вт/м}^2.$$

Работа швей-мотористки относится к категории работ Ia с уровнем энергозатрат до 139 Вт. Проведенные расчеты установили, что составляющая конвективно-лучистого потока с поверхности одежды швей-мотористки в теплое время года равна 28,93 Вт/м<sup>2</sup>, а в холодное — 57,59 Вт/м<sup>2</sup>. Если эти величины отнести к ее поверхности, то получим соответственно 53,5 и 106,5 Вт. У работниц, выполняющих технологические процессы в швейном цехе, в холодное время года при  $t_b = 22$  °С на конвективно-лучистый теплообмен приходится 70 %. Следовательно, уровень энергозатрат для категории работ Ia с учетом конвективно-лучистого теплообмена составит 97,3 Вт, что для зимних условий укладывается в уровень оптимальных энергозатрат.

В теплое время года при  $t_b = 24$  °С на конвективно-лучистые теплообмен приходится 66 %. Поэтому от уровня энергозатрат 139 Вт величина конвективно-лучистого теплообмена не должна превышать 91,7 Вт. Расчетное значение конвективно-лучистого теплообмена составляет 53,5 Вт.

В теплое время года на окнах рекомендуется устанавливать эффективную светопрозрачную отражательную пленку (гл. 4), которая снижает поступление солнечного излучения в цех и уменьшает нагрев поверхностей производственного помещения. Скорость движения воздуха по сравнению с холодным временем года 0,1 м/с для теплого времени года должна увеличиться до 0,2 м/с. Для верхней одежды работниц швейных цехов в теплое время года следует использовать хлопчатобумажные материалы с низким коэффициентом излучения.

Проведенный анализ параметров воздушной среды на рабочих местах показывает, что удовлетворяются как комфортные тепловые условия для работниц, так и технологические требования, предъявляемые для изготовления швейных изделий на производственных предприятиях.

### 7.2.3. Трикотажное производство

**Пример 7.5.** Проанализируем работу систем кондиционирования на фабрике верхнего трикотажа для поддержания заданных параметров воздушной среды. Предприятие расположено в г. Ташкент в одноэтажном здании закрытого типа, без окон, с техническим чердаком. Длина вязального цеха 54 м, ширина 72 м, высота 4,8 м. Площадь цеха составляет 3888 м<sup>2</sup>, объем 18 662,4 м<sup>3</sup>.

По верхнему поясу фермы уложены ребристые железобетонные плиты [ $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 2,04 \text{ Вт/м}^2$ ,  $S = 18,95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 5 см и утеплителем из керамзитового гравия [ $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ ,  $S = 1,99 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 20 см и цементно-песчаной стяжкой [ $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,93 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $S = 1,99 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 2 см. Кровлей служит экранированный фольгоизол, поверхность которого имеет коэффициент поглощения солнечной радиации от 0,58 до 0,64.

Сопротивление теплопередачи конструкции покрытия будет  $1,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

По нижнему поясу фермы установлен подвесной акустический потолок из асбестоцементных перфорированных плит [ $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  и  $S = 8,12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 2,0 см с минераловатными плитами [ $\gamma = 350 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,11 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  и  $S = 1,72 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ] толщиной 5 см.

Сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия с акустическим потоком составит  $0,69 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Определим теплоступления в помещении цеха от трикотажного технологического оборудования, которое приведено в табл. 7.8.

В соответствии с данными табл. 7.8 определим теплоступления в цех от различных машин:

$$\begin{aligned} Q_m &= N_{\text{уст}} \cdot 1000 \cdot K_{\text{спр}} \cdot K_{\text{в}} = 255,45 \cdot 1000 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = \\ &= 217\,132,5 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Теплоступления от 145 человек рассчитываем из условий, что в цехе работает 31 вязальщица и 78 швей мотористок. С учетом вспомогательных служб в цехе занято 145 человек. Работа вязальщиц с уровнем энергозатрат 180 Вт относится к категории Па и швей-мотористок и других рабочих с уровнем энергозатрат 130 Вт относится к категории Ia.

Таблица 7.8. Технологическое оборудование вязального цеха

| № п/п            | Оборудование             | Число | Мощность электродвигателя, кВт | Общая мощность всех машин, кВт |
|------------------|--------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1                | Текстима 5020            | 23    | 7,5                            | 172,5                          |
| 2                | Диамант карс 5487        | 34    | 0,6                            | 20,4                           |
| 3                | Римальди кл 155          | 20    | 0,25                           | 5                              |
| 4                | Краеобметочная 208-А     | 13    | 0,25                           | 3,25                           |
| 5                | Стиральные машины        | 3     | 0,6                            | 1,8                            |
| 6                | Пресс П-1                | 5     | 0,75                           | 3,75                           |
| 7                | Формирующая М «Трикосем» | 4     | 7                              | 28                             |
| 8                | Кетельная                | 27    | 0,25                           | 6,75                           |
| 9                | Центрифуга               | 2     | 7                              | 14                             |
| Итого 255,45 кВт |                          |       |                                |                                |

Общее теплоступление от людей составляет

$$Q_{\text{л}} = 31 \cdot 180 + 114 \cdot 130 = 20\,400 \text{ Вт.}$$

Определим теплоступления от искусственного освещения, встроенного в акустический потолок:

$$Q_{\text{осв}} = F_{\text{ц}} q_{\text{осв}} \cdot 1000 = 3888 \cdot 0,06 \cdot 0,4 \cdot 1000 = 93\,312 \text{ Вт,}$$

где  $F_{\text{ц}}$  — площадь цеха,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{осв}}$  — затраты энергии на  $1 \text{ м}^2$  площади (0,06 кВт); 0,4 — коэффициент, учитывающий поступление теплоты в цех.

**Теплоступления от технического чердака.** Определим для летнего времени года количество теплоты, которое поступает через покрытие в технический чердак. Ташкент расположен на  $41^\circ$  с. ш. Количество солнечной энергии максимальной  $Q_{\text{max}}$  и средней суммарной  $Q_{\text{ср}}$  (прямой и рассеянной), поступающей на горизонтальную поверхность покрытия, находим по прил. П17:

$$Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}} = 922 - 333 = 589 \text{ Вт.}$$

Коэффициент теплоотдачи при скорости ветра  $v = 1,6 \text{ м/с}$

$$\alpha_{\text{н}} = 1,116 (5 + 10\sqrt{v}) = 1,116 (5 + 10\sqrt{v}) = 19,64 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С).}$$

Расчетная амплитуда колебания температуры наружного воздуха

$$A_{t_n}^{\text{расч}} = 0,5A_{t_n} + \rho_{\text{рад}} \frac{(Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}})}{\alpha_n} =$$

$$= 0,5 \cdot 23,7 + \frac{0,61 \cdot 589}{19,64} = 11,85 + 18,24 = 36,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $\rho_{\text{рад}}$  — коэффициент поглощения солнечной радиации экранированной кровли из фольгоизола, примем 0,61;  $A_{t_n}$  — максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле 23,7 °С.

Тепловая инерция отдельных слоев покрытия, уложенного по верхнему поясу фермы:

- железобетонной плиты  $D_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 = \frac{0,05}{20,4} \cdot 18,95 = 0,46$ ;
- керамзитового гравия  $D_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} S_2 = \frac{0,2}{0,14} \cdot 1,99 = 1,42$ ;
- цементно-песчаной стяжки  $D_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} S_3 = \frac{0,02}{0,93} \cdot 11,09 = 0,23$ .

Итого:  $D = 2,37$ .

Начиная с внутреннего железобетонного слоя, определим коэффициенты теплоусвоения:

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_v}{I + R_1 \alpha_v} = \frac{0,024 \cdot 18,95^2 + 8,7}{I + 0,024 \cdot 8,7} = \frac{17,31}{1,2} = 14,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + S_1}{I + R_2 S_1} = \frac{0,71 \cdot 1,99^2 + 18,95}{I + 0,71 \cdot 18,95} = \frac{21,76}{14,45} = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + S_2}{I + R_3 S_2} = \frac{0,02 \cdot 11,09^2 + 1,99}{I + 0,02 \cdot 1,99} = \frac{4,44}{1,04} = 4,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Определим значение затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в покрытии по следующей формуле:

$$v = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_v)(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)} \cdot \frac{\alpha_n + Y_3}{\alpha_n} =$$

$$0,9e^{\frac{2,37}{\sqrt{2}}} \frac{(18,95 + 8,7)(1,99 + 14,42)(11,09 + 1,5)}{(18,95 + 14,42)(1,99 + 1,5)(11,09 + 4,27)} \cdot \frac{19,64 + 4,27}{19,64} = 18,62.$$

Таким образом, на внутренней поверхности покрытия колебания температуры будут в 18,6 раза меньше, чем колебания температуры наружного воздуха.

Амплитуда колебания температуры внутренней поверхности покрытия:

$$A_{t_n} = \frac{A_{t_n}^{\text{расч}}}{\nu} = \frac{36,5}{18,6} = 1,96 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Максимальное количество радиационной теплоты, поступающей от поверхности покрытия в помещение технического чердака, будет

$$Q_{\text{рад}} = \alpha_{\text{в.чер}} A_{t_n} \cdot F_{\text{в.чер}} = 8,3 \cdot 1,96 \cdot 3888 = 63\,249,9 \text{ Вт}.$$

В соответствии с полученным уравнением температуры внутреннего воздуха для помещения технического чердака в теплое время года (см.  $t_{\text{в.чер}}^T$ , подраздел 7.2.1) определим температуру воздуха в помещении технического чердака в зависимости от кратности воздухообмена  $K_{\text{р.чер}}$ . Задавая кратностью воздухообмена 0,1; 1,0; 3,0; 5,0 и 10, сведем полученные результаты в табл. 7.9.

**Таблица 7.9. Изменение температуры внутреннего воздуха в помещении технического чердака в зависимости от кратности воздухообмена при температуре воздуха в цехе  $t_{\text{в}} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = 35,7 \text{ } ^\circ\text{C}$**

|   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| $t_{\text{чер}}, \text{ } ^\circ\text{C}$ | 50,4 | 40,2 | 36,2 | 35,1 | 34,2 |
| $K_{\text{р.чер}}, \text{ 1/ч}$           | 0,1  | 1,0  | 3,0  | 5,0  | 10   |

В качестве расчетной температуры воздуха в помещении технического чердака примем  $t_{\text{в.чер}}^T = 40,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $K_{\text{р.чер}} = 1,0 \text{ 1/ч}$ .

Количество теплоты, поступающее через чердачные перекрытия в помещение трикотажного цеха

$$Q_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{в.чер}}^T - t_{\text{в}}}{R_{\text{пер}}} \cdot F_{\text{пер}} = \frac{40,2 - 24}{0,69} \cdot 3888 = 91283,4 \text{ Вт}.$$

Суммарные теплопоступления в цех для теплого периода года

$$Q_{\text{ТВ}}^T = Q_{\text{м}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{чер}} = 217\,132,5 + 20\,400 + \\ + 93\,312 + 91\,283,4 = 422\,127,9 \text{ Вт}.$$

Удельная тепловая нагрузка составит

$$q_{\text{т.нагр}} = \frac{Q_{\text{ТВ}}^{\text{T}}}{V_{\text{ц}}} = \frac{422127,9}{18662,4} = 22,6 \text{ Вт/м}^3.$$

### Уравнение теплового баланса для теплого периода года

Параметры наружного воздуха:

$$t_{\text{н}} = 35,7 \text{ }^{\circ}\text{C}, i_{\text{н}} = 62,5 \text{ кДж/кг.}$$

Параметры внутреннего воздуха:

$$t_{\text{в}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}, \varphi_{\text{в}} = 65 \% \text{ и } \Delta d_{\text{ду}} = 1,5 \text{ г/кг.}$$

Построим на  $J-d$  диаграмме схему процесса кондиционирования помещений цеха для теплого периода года с доувлажнением (рис. 7.6).

По параметрам наружного воздуха  $t_{\text{н}} = 35,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $i_{\text{н}} = 62,5 \text{ кДж/кг}$  построим точку  $H$ , характеризующую состояние наружного воздуха. В цехе происходит распыление воды. Строим точку  $O$  на пересечении прямой  $d_{\text{ц}} - \Delta d_{\text{уд}} = d_{\text{о}} = 12,2 - 1,5 = 10,7 \text{ г/кг}$  и линией относительной влажности  $\varphi = 95 \%$ .

Точку  $Ц$  строим по параметрам воздуха в цехе ( $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\varphi_{\text{в}} = 65 \%$ ). Подача воздуха в цехе осуществляется вентилятором, который нагревает его на  $\Delta i_{\text{вент}} = 1 \text{ кДж/кг}$ .

Строим точку  $K$  после нагрева в вентиляторе по данным  $d_{\text{к}} = d_{\text{о}}$ , а  $i_{\text{к}} = i_{\text{о}} + 1,0 \text{ кДж/кг}$ . Линия  $OK$  — нагрев воздуха в вентиляторе и линия  $KЦ$  — цеховой процесс.

Поскольку  $i_{\text{н}} > i_{\text{ц}}$ , то принимаем смешивание воздуха с целью сокращения расходов на охлаждение.

Необходимо найти точку смеси  $C$ , где  $n_{\text{нар}} = 20 \%$  (процент использования наружного воздуха на рециркуляцию), найдем

$$i_{\text{с}} = i_{\text{ц}} - \frac{n_{\text{нар}}}{100} (i_{\text{ц}} - i_{\text{н}}) = 55 - \frac{20}{100} (55 - 62,5) = 56,5 \text{ кДж/кг}$$

на пересечении линии  $HC$  и линии  $i_{\text{с}}$ .

В оросительной камере процесс определяется линией  $CO$ . Необходимо охлаждение воды.

Расход холода на 1 кг подаваемого воздуха определяется по формуле

$$\Delta i_{\text{охл}} = i_{\text{с}} - i_{\text{о}} = 56,5 - 43 = 13,5 \text{ кДж/кг.}$$

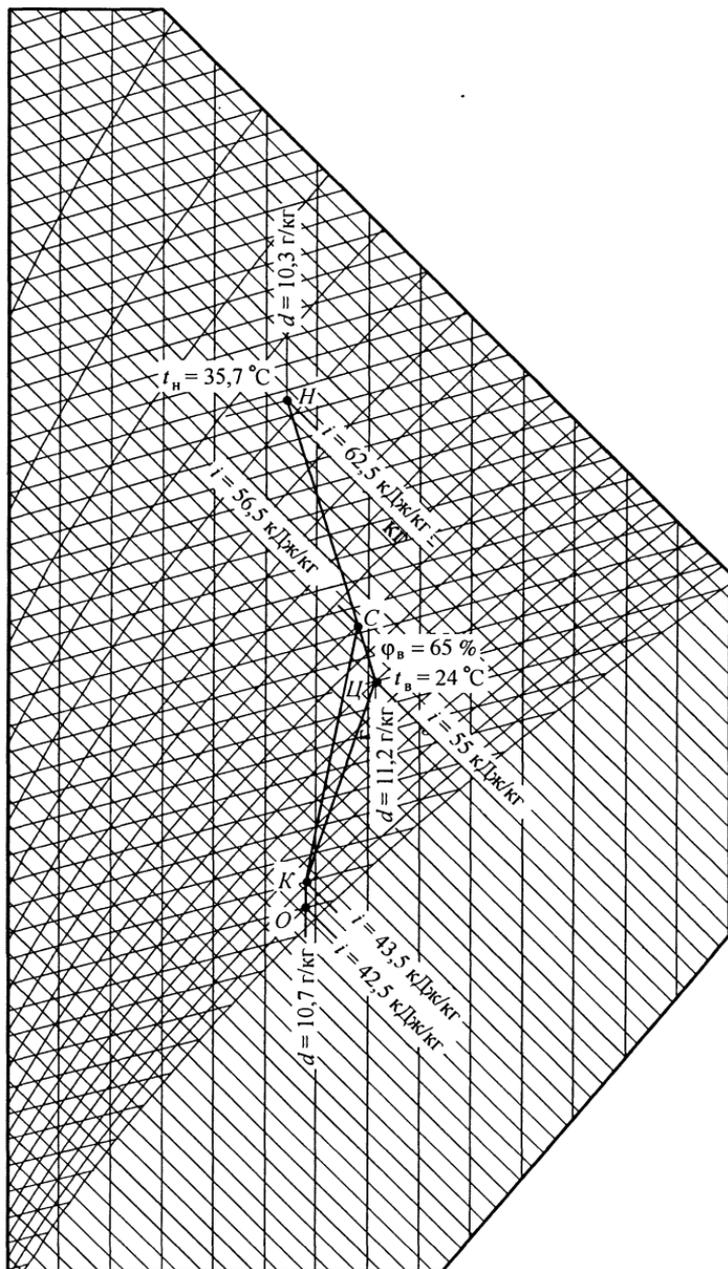


Рис. 7.6. Процесс обработки воздуха в теплое время года для трикотажного цеха

Определим связующий эффект по теплу в цехе

$$\Delta i_{ц} = i_{ц} - i_{к} = 55 - 44,5 = 10,5 \text{ кДж/кг.}$$

Количество воздуха, подаваемого в цех для поглощения теплоты, выделяющейся в помещение в теплый период года, составит

$$G^T = \frac{Q_{ТВ}^T}{\Delta i_{ц} \cdot 0,278} = \frac{422\,127,9}{10,5 \cdot 0,278} = 144614 \text{ кг/ч.}$$

Объемное количество приточного воздуха

$$L^m = \frac{G^T}{\rho} = \frac{144614}{1,2} = 120\,511 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Кратность воздухообмена в цехе

$$Kp = \frac{L^T}{V_{ц}} = \frac{120\,511}{18\,662,4} = 6,45 \text{ 1/ч.}$$

Полученные параметры воздуха, участвующие в процессе кондиционирования (см. рис. 7.6), приведены в табл. 7.10.

Таблица 7.10. Параметры процесса кондиционирования воздуха в теплый период года

| Точка на рис. 7.6 | Параметры воздуха       |                   |                    |                  |
|-------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|------------------|
|                   | $t_{в}, ^\circ\text{C}$ | $\varphi_{в}, \%$ | $i, \text{кДж/кг}$ | $d, \text{г/кг}$ |
| <i>H</i>          | 35,7                    | —                 | 62,5               | 10,3             |
| <i>Ц</i>          | 24                      | 65                | 55                 | 12,2             |
| <i>O</i>          | 16                      | 95                | 43,5               | 10,7             |
| <i>K</i>          | 17                      | 89                | 44,5               | 10,7             |
| <i>C</i>          | 26,2                    | 44                | 56,5               | 11,8             |

### Уравнение теплового баланса для холодного периода года

Построим процесс кондиционирования воздуха в холодный период года по следующим параметрам:

$$t_{н} = -15 ^\circ\text{C}, i_{н} = -13,4 \text{ кДж/кг и } \Delta d_{д\у} = 0,5 \text{ г/кг,}$$

$$t_{в} = 24 ^\circ\text{C}; \varphi_{в} = 65 \%.$$

Теплопоступления от оборудования вязального цеха составляют 217 132,5 Вт, от людей 20 400 Вт, от освещения 93 312 Вт. Потери тепла происходят через перекрытие с акустическим подвесным потолком  $Q_{\text{пер}}$ .

Температуру воздуха в помещении технического чердака в холодный период года  $t_{\text{в}}^x$  определим по уравнению, приведенному в разд. 7.2.1. Как следует из формулы, температура воздуха в помещении технического чердака зависит от различных параметров воздушной среды и, в частности от кратности воздухообмена. Результаты расчета температуры воздуха в техническом чердаке в зависимости от кратности воздухообмена приведены в табл. 7.11.

Таблица 7.11. Изменение температуры внутреннего воздуха в помещении технического чердака в зависимости от кратности воздухообмена при  $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

|  |      |      |     |       |      |      |
|--|------|------|-----|-------|------|------|
| $t_{\text{чер}}, \text{ }^\circ\text{C}$ | 16,4 | 7,13 | 3,3 | -2,13 | -8,9 | -9,7 |
| $K_{\text{кр.чер}}, 1/\text{ч}$          | 0,1  | 1,0  | 2,0 | 3,0   | 5,0  | 10,0 |

Из приведенных данных следует, что по мере увеличения кратности воздухообмена происходит понижение температуры. Целесообразно остановиться на кратности воздухообмена  $K_{\text{кр.чер}} = 1,5 \text{ } 1/\text{ч}$  и  $t_{\text{чер}} = 5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . В этом случае сантехнические системы будут эксплуатироваться при положительных температурах, а пары влаги, диффундирующие через перекрытие из производственных помещений в технический чердак, будут удаляться наружу через вентиляционные отверстия.

Количество теплоты, теряемой через перекрытие,

$$Q_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{чер}}^x}{R_{\text{о.пер}}} F_{\text{пер}} = \frac{24 - 5,2}{0,69} \cdot 3888 = 105\,934 \text{ Вт.}$$

Тепловой баланс в холодный период года

$$Q_{\text{изб}}^x = Q_{\text{м}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} - Q_{\text{пер}} = 217\,132,5 + 20\,400 + 93\,312 - 105\,934 = 224\,915,5 \text{ Вт.}$$

Для определения точек  $H$ ,  $Ц$ ,  $O$ ,  $K$ ,  $C$  воспользуемся диаграммой  $J-d$  (рис. 7.7).

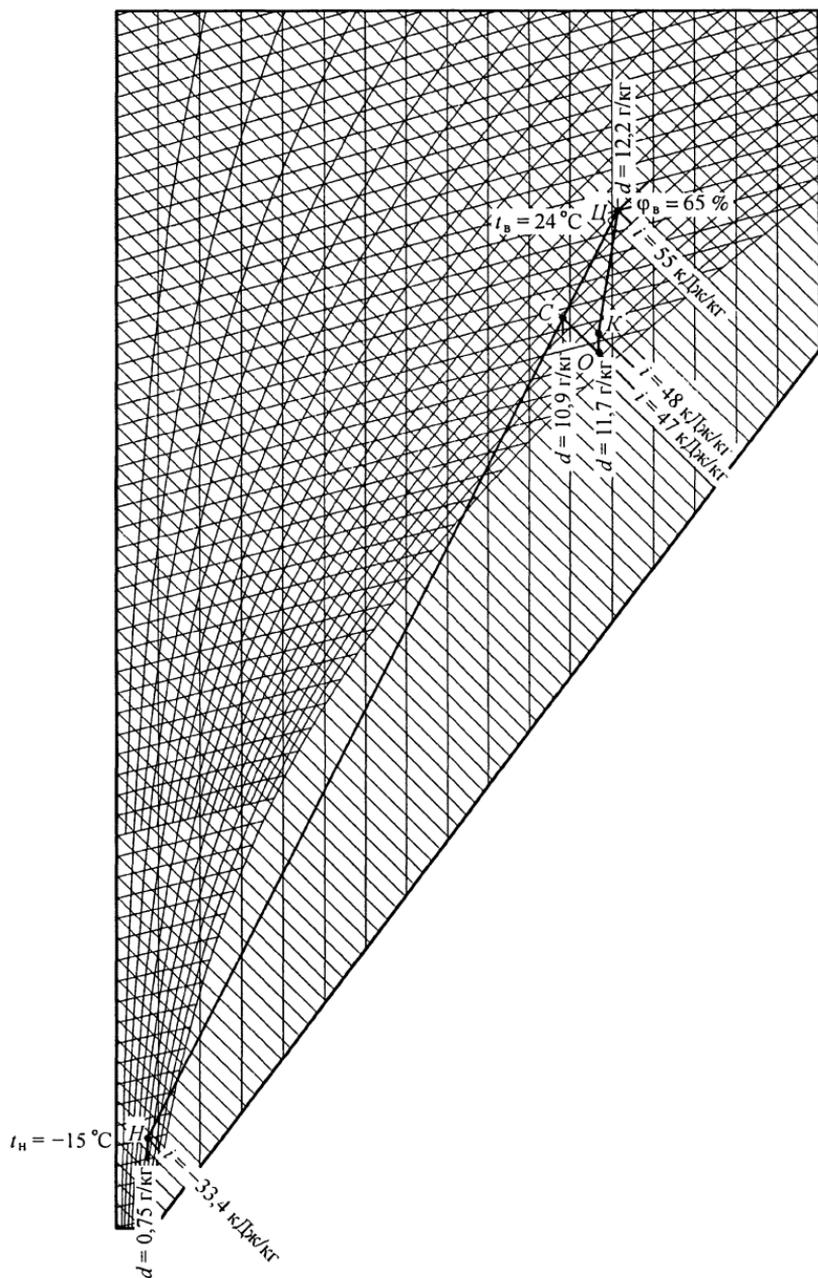


Рис. 7.7. Процесс обработки воздуха в холодное время года для трикотажного цеха

Находим точку  $O$  на пересечении линии влагосодержания  $d_o = \text{const}$ ,  $d_o = d_{ц} - d_{ду} = 12,2 - 0,5 = 11,7$  г/кг и линии относительной влажности 95 %.

Определим энтальпию воздуха после кондиционера

$$i_k = 47 + 1 = 48 \text{ кДж/кг.}$$

Для нагрева наружного воздуха применяем смешивание его с цеховым (рециркуляцию).

Найдем точку смеси  $C$  на пересечении  $i_o = \text{const}$  и линии смеси  $HC$ . Определим процент наружного воздуха в смеси, требуемый по санитарным нормам:

$$n_{нар} = \frac{i_{ц} - i_c}{i_{ц} - i_n} \cdot 100 = \frac{55 - 47}{55 - (-13,4)} = 11,6 \% > 10 \%$$

Следовательно, дополнительного подогрева не требуется. Связующий эффект по теплоте

$$\Delta i_{ц} = i_{ц} - i_k = 55 - 48 = 7 \text{ кДж/кг.}$$

Определим количество воздуха, подаваемое в цех для поглощения теплоты, выделяющейся в помещении в холодный период года:

$$G^x = \frac{Q_{изб}^x}{0,278 \Delta i_{ц}} = \frac{224915,5}{0,278 \cdot 7} = 115\,578,3 \text{ кг/ч.}$$

Объем приточного воздуха

$$L^x = \frac{G^x}{\rho} = \frac{115\,578,3}{1,2} = 96\,315,2 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определим кратность воздухообмена

$$Kp = \frac{L^x}{V_{ц}} = \frac{96\,315,2}{18\,662,4} = 5,1 \text{ } 1/\text{ч.}$$

Параметры всех точек, участвующих в процессе кондиционирования воздуха (рис. 7.7), приведены в табл. 7.12.

Выбор кондиционера произведем по полученному воздухообмену по теплому времени года с увеличением на 10 % с учетом возможности роста производства или возможности наращивания установочной мощности технического оборудования:

$$L_{конд} = L^m + 0,1 L^m = 120\,511 + 0,1 \cdot 120\,511 = 132\,562 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Таблица 7.12. Параметры процесса кондиционирования воздуха в холодное время года

| Точка на рис. 7.7 | $t$ , °С | $\varphi$ , % | $i$ , кДж/кг | $d$ , г/кг |
|-------------------|----------|---------------|--------------|------------|
| <i>H</i>          | -15,0    | —             | -13,4        | 0,75       |
| <i>Ц</i>          | 24       | 65            | 55           | 12,2       |
| <i>O</i>          | 17       | 95            | 47           | 11,7       |
| <i>K</i>          | 18,2     | 90            | 48           | 11,7       |
| <i>C</i>          | 19,5     | 85            | 47           | 10,9       |

Выберем два кондиционера КЦМ-70 производства Московского вентиляторного завода «МОВЕН», обеспечивающие в трикотажном производстве поддержание заданных параметров воздушной среды.

**Пример 7.6.** В трикотажном цехе значительная часть работы выполняется на фиксированных рабочих местах швеями-мотоциклистами. Их одежда имеет сопротивление теплопередаче  $R_{п.од} = 0,175 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}$ .

Коэффициент теплоотдачи конвекцией у поверхности одежды человека с учетом скорости движения воздуха в помещении 0,25 м/с, коэффициента теплопроводности воздуха 0,029 Вт/(м° · С) и кинематической вязкости воздуха  $15,42 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при угле обдува воздушным потоком 90° равняется 5,0 Вт/(м<sup>2</sup> · °С) (см. рис. 2.6).

Коэффициент теплообмена излучением у поверхности одежды человека рассчитывается по формуле (1.12). При этом примем, что коэффициент излучения у хлопчатобумажного халата 3,4 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>), средняя величина коэффициента излучения поверхностей помещения 5,23 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>). Температурный коэффициент взаимно облучаемых поверхностей находим по графику на рис. 1.9, который равняется 1,11. Коэффициент теплоотдачи излучением поверхности одежды составляет 3,82 Вт/(м<sup>2</sup> · С).

Температура на внешней поверхности одежды работницы  $\tau_{\text{ч}} = 30,1 \text{ °С}$ . В теплое и холодное время года температура воздуха в цехе составляет 24 °С.

При определении конвективно-лучистого теплообмена для теплого времени года принимаем, что температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций закрытого здания равна температуре внутреннего воздуха:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ч.к.л}} &= \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) + \alpha_{\text{ч.л}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в.п}}) = \\ &= 5(30,1 - 24) + 3,82(30,1 - 24) = 53,86 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned}$$

Для холодного времени года температура внутренних поверхностей на 1 °С ниже температуры внутреннего воздуха:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ч.к.л}} &= \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) + \alpha_{\text{ч.л}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в.п}}) = \\ &= 5(30,1 - 24) + 3,82(30,1 - 23) = 57,62 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned}$$

Полученные величины конвективно-лучистого потока разделим на площадь поверхности тела человека и получим, что в теплое время года энергозатраты равняются 99,6 Вт, а в холодное — 106,6 Вт.

Если учесть, что уровень энергозатрат в летнее время по конвективно-лучистому потоку для швей-мотористок при категории работ Ia составляет 70 % уровня энергозатрат до 139 Вт и для вязальщиц при категории работ IIa — 68 % от уровня энергозатрат 175 Вт, то получим величину конвективно-лучистой составляющей соответственно 97,3 и 119 Вт.

Для теплого и холодного времени года доля теряемого конвективно-лучистого потока для швей-мотористок и для вязальщиц по уровню энергозатрат практически находятся в нормативных пределах.

В летнее и зимнее время года температура воздуха в цехе поддерживается системами кондиционирования на уровне  $t_{\text{в}} = 24$  °С, скорость движения воздуха для швей-мотористок 0,2 м/с, для вязальщиц — 0,2...0,3 м/с, относительная влажность 65 %. Эти значения по уровню энергозатрат и температуре можно отнести к оптимальным условиям и по относительной влажности и скорости движения воздуха — к допустимым условиям.

Таким образом, рассмотренный анализ уровня энергозатрат на постоянных рабочих местах и параметры воздушной среды помещений трикотажного производства показали, что они удовлетворяют санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям.

### 7.2.4. Обувное производство

**Пример 7.7.** Для создания требуемых параметров воздушной среды в обувном производстве рассмотрим процессы работы системы кондиционирования, обеспечивающей расчетные параметры температурно-влажного режима в рабочей зоне цеха.

Обувная фабрика изготавливает мужские ботинки рантового и рангово-клеевого метода крепления. Она находится в г. Барнаул на 53° с. ш. Производственный цех размещается на пятом этаже, имеет ширину 24 м, длину 60 м, высоту 4,8 м, площадь пола 1440 м<sup>2</sup>.

Наружные стены выполнены из керамзитабетона  $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,52 \text{ Вт/м}^2$ , толщиной 40 см.

Световые проемы оформлены деревянными спаренными переплетами размером 3,0 × 4,5 м, сопротивление теплопередаче 0,39 м<sup>2</sup> · °С/Вт. Остекленные поверхности ориентированы на восток и на запад 121,5 м<sup>2</sup>.

Конструкция покрытия бесчердачная и состоит из:

- железобетонной ребристой плиты [ $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_1 = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  и  $S_1 = 18,95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ ] толщиной 5 см;
- пароизоляции из макрофлекс [ $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  и  $S_2 = 3,53 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ ] толщиной 0,15 см;
- теплоизоляции из керамзитового гравия [ $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  и  $S_3 = 1,99 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ ] толщиной 15 см;
- цементно-песчаной стяжки [ $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,93 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  и  $S_4 = 9,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ ] толщиной 2 см;
- кровли из филозола [ $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  и  $S_5 = 3,53 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ , коэффициент поглощения солнечной радиацией  $\rho_{\text{рад}} = 0,9$ ] толщиной 0,3 см.

Сопротивление теплопередаче конструкции бесчердачного покрытия складывается из термических сопротивлений ее элементов:

- сопротивление теплоотдаче у внутренней поверхности  $R_n = 0,115$ ;
- железобетонная плита  $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,05}{2,04} = 0,024$ ;
- пароизоляция из макрофлекса  $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,0015}{0,17} = 0,009$ ;

- теплоизоляция из керамзитового гравия  $R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,15}{0,14} = 1,07$ ;
- цементно-песчаная стяжка  $R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,93} = 0,021$ ;
- кровля из филозола  $R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,003}{0,17} = 0,017$ ;
- сопротивление теплоотдачи у наружной поверхности  $R_n = 0,042$ .

Итого:  $R_{\text{покр}} = 1,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ .

Характеристики технологического оборудования приведены в табл. 7.13.

Таблица 7.13. Технологическое оборудование обувного цеха

| № п/п | Операция   | Тип оборудования               | Число ра-<br>бочих | Количес-<br>тво оборудо-<br>вания | Мощность<br>электродви-<br>гателя, кВт |
|-------|--|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| 1     | Запуск кроя на поток   | Корзина, мар-<br>шрутная карта | 1                  | 1                                 | Конвейер<br>КЗААО —<br>2,0 кВт         |
| 2     | Спускание краев<br>деталей   | «АСГ-13»                       | 1                  | 1                                 | 0,6                                    |
| 3     | Дублирование верха<br>с межподкладкой  | 460 кл.<br>ф. «Вагенр»         | 3                  | 3                                 | 0,95                                   |
| 4     | Сострачивание берца<br>по заднему шву строч-<br>кой зиг-заг                      | 116 кл.<br>ф. «Пфафф»          | 2                  | 2                                 | 0,4                                    |
| 5     | Настрачивание берца<br>на верхний кант берца<br>двумя параллельными<br>строчками | 244 кл.<br>ф. «Пфафф»          | 2                  | 2                                 | 0,4                                    |
| 6     | Стачивание вытачки на<br>задинке тугим тачным<br>швом                            | 441 кл.<br>ф. «Пфафф»          | 2                  | 2                                 | 0                                      |
| 7     | Разглаживание тугого<br>тачного шва  | РЗШ-1-О                        | 1                  | 1                                 | 0,37                                   |
| 8     | Настрачивание задника<br>на берцы двумя парал-<br>лельными строчками             | 244 кл.<br>ф. «Пфафф»          | 3                  | 3                                 | 0,4                                    |

Продолжение табл. 7.13

| № п/п | Операция  | Тип оборудования      | Число рабочих | Количество оборудования | Мощность электродвигателя, кВт |
|-------|---|-----------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| 9     | Намазка берца и подблочника клеем. Сушка                                | Стол с вытяжкой       | 3             | 3                       |                                |
| 10    | Наклеивание подблочника на берцы  | Стол для ручных работ | 9             | —                       |                                |
| 11    | Настрачивание ЗВР на подкладку под берцы одной строчкой                 | 441 кл. ф. «Пфафф»    | 1             | 1                       |                                |
| 12    | Сострачивание по верхнему канту подкладки                               | 441 кл. ф. «Пфафф»    | 2             | 2                       | 0,4                            |
| 13    | Намазка поролона и верхнего канта. Сушка                                | Стол с вытяжкой       | 3             | 3                       |                                |
| 14    | Склеивание поролона и верхнего канта                                    | Стол для ручных работ | —             | —                       |                                |
| 15    | Ажурная строчка   | 441 кл. ф. «Пфафф»    | 2             | 2                       | 0,4                            |
| 16    | Пристрачивание подкладки к берцам с обстрачиванием подблочника          | 441 кл. ф. «Пфафф»    | 1             | 1                       | 0,4                            |
| 17    | Намазка клеем кожподкладки и язычка. Сушка                              | Стол с вытяжкой       | 3             | 3                       |                                |
| 18    | Наклеивание кожподкладки на язык  | Стол для ручных работ | —             | —                       |                                |
| 19    | Настрачивание союзки на язычок двумя параллельными строчками            | 244 кл. ф. «Пфафф»    | 2             | 2                       | 0,4                            |
| 20    | Вставка блочек  | 01356/P1              | 2             | 2                       | 1,2                            |
| 21    | Намазка клеем союзки и подкладки. Сушка                                 | Стол с вытяжкой       | 1             | 1                       |                                |
| 22    | Дублирование подкладки с союзкой с одновременным дублированием подноски | 460 кл. ф. «Вагенр»   | 2             | 2                       | 0,05                           |

Окончание табл. 7.13

| № п/п | Операция  | Тип оборудования         | Число рабочих | Количество оборудования | Мощность электродвигателя, кВт |
|-------|---|--------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| 23    | Настрачивание узла берцев на союзкой с П-образной закрепкой | 244 кл. ф. «Пфафф»       | 2             | 2                       | 0,4                            |
| 24    | Пробивка отверстий и вставка хольнитенов                    | 01209/P5                 | 1             | 1                       | 0,37                           |
| 25    | Сострачивание подкладки с верхом по тяжелой кромке          | 441 кл. ф. «Пфафф» (ФРГ) | 2             | 2                       | 0,4                            |
| 26    | Чистка заготовок  | Стол для ручных работ    | 1             | 1                       |                                |
| 27    | Транспортировка заготовок в цех                             |                          | —             | —                       |                                |

Итого: 19,49 кВт.

Объем воздуха, м<sup>3</sup>/ч, отсасываемого местным отсосом от столов для намазки клеем (операции 9, 13, 17 и 21) определяем по формуле

$$L_{\text{отс}} = v_{\text{м.отс}} F_{\text{отс}} \cdot 3600 = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 3600 = 1000 \text{ м}^3,$$

где  $v_{\text{м.отс}}$  — скорость движения воздуха в местном отсосе 0,5 м/с;  $F_{\text{отс}}$  — площадь сечения местного отсоса,  $F_{\text{отс}} = 0,55 \text{ м}^2$ .

В цехе установлено четыре стола для намазки клеем, снабженных местной вытяжной вентиляцией; общий объем местной вытяжки составляет

$$L_{\text{отс}} = 4 \cdot 1000 = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

### Уравнение теплового баланса для теплого времени года

Тепловая энергия поступает в цех от оборудования, людей, освещения, окон и бесчердачного покрытия.

Теплопоступления от установленного оборудования (см. табл. 7.13):

$$\begin{aligned} Q_{\text{об}} &= \sum N_{\text{об}} K_{\text{спр}} K_{\text{в}} \cdot 1000 = \\ &= 19,49 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1000 = 14\,602,5 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Работа в заготовительном цехе относится к категории легких физических работ Ib и в соответствии с табл. 1.9 уровень энергозатрат на одного человека составляет 145 Вт:

$$Q_n = 145 \cdot 43 = 6235 \text{ Вт.}$$

Поступление от искусственного освещения

$$Q_{\text{осв}} = N_{\text{уд}} F_{\text{пол}} \cdot 1000 = 0,04 \cdot 1295 \cdot 1000 = 51\,840 \text{ Вт.}$$

Мощность, расходуемая на освещение, находится по удельному значению ( $N_{\text{уд}}$ ), и принимается из расчета 0,03—0,04 кВт/м<sup>2</sup> от площади поверхности пола. Площадь пола  $F_{\text{пол}} = 1295 \text{ м}^2$ .

Определим теплопоступления от солнечной радиации через бесчердачное покрытие для г.Барнаула на широте 53° с. ш. в соответствии с прил. П17. Они будут состоять из максимальной и средней суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), поступающей на горизонтальную поверхность покрытия:

$$Q_{\text{max}} - Q_{\text{cp}} = 715,5 - 329 = 386,5 \text{ Вт.}$$

Коэффициент теплоотдачи у поверхности покрытия при минимальной скорости ветра  $v = 2,3 \text{ м/с}$  [73] составит:

$$\alpha_n = 1,116 (5 + 10\sqrt{v}) = 1,116 (5 + 10\sqrt{2,3}) = 20,68 \text{ м/с.}$$

Расчетная амплитуда колебания температуры наружного воздуха

$$\begin{aligned} A_{t_n}^{\text{расч}} &= 0,5A_{t_n} + \frac{\rho_{\text{рад}}(Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}})}{\alpha_n} = \\ &= 0,5 \cdot 22,1 + \frac{0,9 \cdot 386,5}{20,68} = 27,87 \text{ }^\circ\text{C,} \end{aligned}$$

где  $A_{t_n}$  — максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле 22,1 °C [29].;  $\rho_{\text{рад}}$  — коэффициент поглощения солнечной радиации кровлей из филоизола,  $\rho_{\text{рад}} = 0,9$ .

Найдем тепловую инерцию бесчердачного покрытия:

- железобетонная плита  $D_1 = R_1 S_1 = 0,024 \cdot 18,95 = 0,454$ ;
- пароизоляция из макорфлекса  $D_2 = R_2 S_2 = 0,008 \cdot 3,53 = 0,028$ ;
- теплоизоляция из керамзитового гравия  $D_3 = R_3 S_3 = 1,07 \times 1,66 = 2,139$ ;

- цементно-песчаная стяжка  $D_4 = R_4 S_4 = 0,021 \cdot 9,6 = 0,206$ ;
- кровля из флизолола  $D_5 = R_5 S_5 = 0,017 \cdot 3,53 = 0,06$ .

Итого:  $D = 2,88$ .

Начиная от внутреннего железобетонного слоя, определим коэффициент теплоусвоения, Вт/(м<sup>2</sup> · °С):

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 \alpha_{\text{в}}}{1 + R_1 \alpha_{\text{в}}} = \frac{0,024 \cdot 18,95^2 + 8,7}{1 + 0,024 \cdot 8,7} = 14,43;$$

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + S_1}{1 + R_2 S_1} = \frac{0,009 \cdot 3,53^2 + 18,95}{1 + 0,009 \cdot 18,95} = 16,29;$$

$$Y_3 = \frac{R_3 S_3^2 + S_2}{1 + R_3 S_2} = \frac{1,07 \cdot 3,96^2 + 3,52}{1 + 1,07 \cdot 3,52} = 1,62;$$

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + S_3}{1 + R_4 S_3} = \frac{0,021 \cdot 9,6^2 + 1,99}{1 + 0,021 \cdot 1,99} = 3,76;$$

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + S_4}{1 + R_5 S_4} = \frac{0,017 \cdot 12,46^2 + 9,6}{1 + 0,163 \cdot 9,6} = 8,43.$$

Значение затухания расчетной амплитуды колебания температуры наружного воздуха в покрытии определим по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \nu &= 0,9 \frac{\sum D}{\sqrt{2}} \frac{(S_1 + \alpha_{\text{в}})(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)(S_4 + Y_3)(S_5 + Y_4)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)(S_5 + Y_5)} \cdot \frac{\alpha_{\text{н}} + Y_5}{\alpha_{\text{н}}} = \\ &= 0,9 \cdot 2,71 \frac{2,05}{\sqrt{2}} \times \\ &\times \frac{(18,95 + 8,7)(3,53 + 14,43)(1,99 + 16,29)(9,6 + 1,62)(3,53 + 3,76)}{(18,95 + 14,43)(3,53 + 16,29)(1,99 + 1,62)(9,6 + 3,76)(3,53 + 8,43)} \times \\ &\times \frac{20,68 + 8,43}{20,68} = 18,57. \end{aligned}$$

На внутренней поверхности колебания температуры будут в 18,57 раза меньше, чем колебания температуры наружного воздуха.

Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности составит

$$A_{\tau_{\text{н}}} = \frac{A_{\tau_{\text{в}}}}{\nu} = \frac{27,87}{18,57} = 1,50.$$

Количество теплоты, которое поступает в помещение цеха от солнечной радиации через бесчердачное покрытие,

$$Q_{\text{покр}} = \alpha_{\text{в}} A_{\text{т.в}} F_{\text{покр}} = 8,7 \cdot 1,50 \cdot 1440 = 18\,792 \text{ Вт.}$$

Определим теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы. На остекленную поверхность поступает прямая и рассеянная солнечная радиация:

$$Q_{\text{ост}}^{\text{рад}} = [(Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}}) K_1 K_2 \beta_{\text{сз}} + (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) / R_{\text{ост}}] F_{\text{ост}} n_{\text{кол.ок}},$$

где  $Q_{\text{пр}}$  и  $Q_{\text{рас}}$  — поступление теплоты соответственно от прямой и рассеянной солнечной радиации (прил. П17). Обувная фабрика расположена одной длинной стороной на восток и другой — запад. Для широты  $53^\circ$  прямая солнечная радиация составит  $610,5 \text{ Вт/м}^2$ , а рассеянная —  $174 \text{ Вт/м}^2$  от 7—8 часов для восточной ориентации и от 16—17 часов для западной ориентации. Значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$  и  $\beta_{\text{св}}$  приведены в подразд. 7.2.2:

$$Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}} = 610,5 \cdot 0,9 + 174 \cdot 0,9 = 706 \text{ Вт.}$$

Количество теплоты, поступающее через двойное остекление, расположенное на восточной стороне, составляет

$$\begin{aligned} Q_{\text{ост}}^{\text{вост}} &= [706 \cdot 0,95 \cdot 0,45 + (23,9 - 28,0) / 0,39] 3,0 \cdot 4,5 \cdot 9 = \\ &= 35\,780,7 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Поступление теплоты через двойное остекление, расположенное на западной стороне, составит

$$Q_{\text{ост}}^{\text{зап}} = [174 \cdot 0,95 \cdot 0,45 + (23,9 - 28,0) / 0,39] 3,0 \cdot 4,5 \cdot 9 = 7762 \text{ Вт.}$$

Общее теплопоступление от солнечной радиации через окна с двойным остеклением

$$Q_{\text{ост}}^{\text{рад}} = Q_{\text{ост}}^{\text{вост}} + Q_{\text{ост}}^{\text{зап}} = 35\,780,7 + 7762 = 43\,542,7 \text{ Вт.}$$

Общее количество теплопоступления в помещение цеха в теплый период года находим по уравнению

$$\begin{aligned} Q_{\text{тв}}^{\text{T}} &= Q_{\text{об}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{покр}} + Q_{\text{ост}} = \\ &= 14\,602,5 + 6235 + 51\,840 + 18\,416 + 43\,542,7 = 134\,636,2 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Определим расход приточного воздуха в теплый период года. Параметры наружного воздуха:

$$t_{\text{н}} = 23,9 \text{ }^\circ\text{C} \text{ и } i_{\text{н}} = 51,9 \text{ кДж/кг.}$$

Параметры внутреннего воздуха:

$$t_b = 28 \text{ }^\circ\text{C и } \varphi_b = 55 \text{ } \%$$

По параметрам наружного и внутреннего воздуха, общими тепlopоступлениями ( $Q_{\text{TB}}^{\text{T}}$ ) и количеством воздуха, удаляемого местными отсосами ( $L_{\text{отс}}$ ) используем адиабатический процесс для увлажнения наружного воздуха, поступающего в помещение цеха.

Для этого на диаграмме  $J-d$  (рис. 7.8) строим процесс увлажнения наружного воздуха при постоянном теплосодержании от наружных расчетных параметров (точка  $H$ ) до относительной влажности  $\varphi_k = 95 \text{ } \%$  (точка  $O$ ). После увлажнения воздух приобретает влагосодержание, требуемое в цехе  $d_{\text{ц}} = d_k = \text{const}$ . Воздух после оросительной камеры с параметрами, характеризуемыми точкой  $O$ , проходит через вентилятор, где нагревается  $i_k = i_n + 1 = 51,9 + 1 = 52,9 \text{ кДж/кг}$ . Затем он поступает в цех для ассимиляции (поглощения) тепловыделений и нагревается до требуемой температуры  $t_b$ . Процесс кондиционирования воздуха приведен в табл. 7.14.

Таблица 7.14. Параметры воздуха для теплого периода года

| Точка на рис. 7.8 | $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | $\varphi, \text{ } \%$ | $i, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ | $d, \frac{\text{г}}{\text{кг}}$ |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| $H$               | 23,9                        | 60                     | 51,9                              | 11,0                            |
| $K$               | 20                          | 90                     | 52,9                              | 13,0                            |
| $Ц$               | 28                          | 55                     | 61,2                              | 13,0                            |
| $O$               | 19                          | 95                     | 51,9                              | 13,0                            |

Согласно построенному в диаграмме  $J-d$  процессу, связующий эффект приточного воздуха по теплу в цехе  $\Delta i_{\text{ц}} = i_{\text{ц}} - i_k$ .

Расчет потребного воздухообмена, кг/ч, для ассимиляции тепловыделений определяется по формуле

$$G^m = \frac{Q_{\text{TB}}^{\text{T}} \cdot 3,6}{i_{\text{ц}} - i_k} = \frac{134636 \cdot 3,6}{61,2 - 52,9} = 58\,396,4 \text{ кг/ч.}$$

Объемное количество воздуха

$$L^m = G^m / \rho = 58\,396,4 / 1,2 = 48\,663,6 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

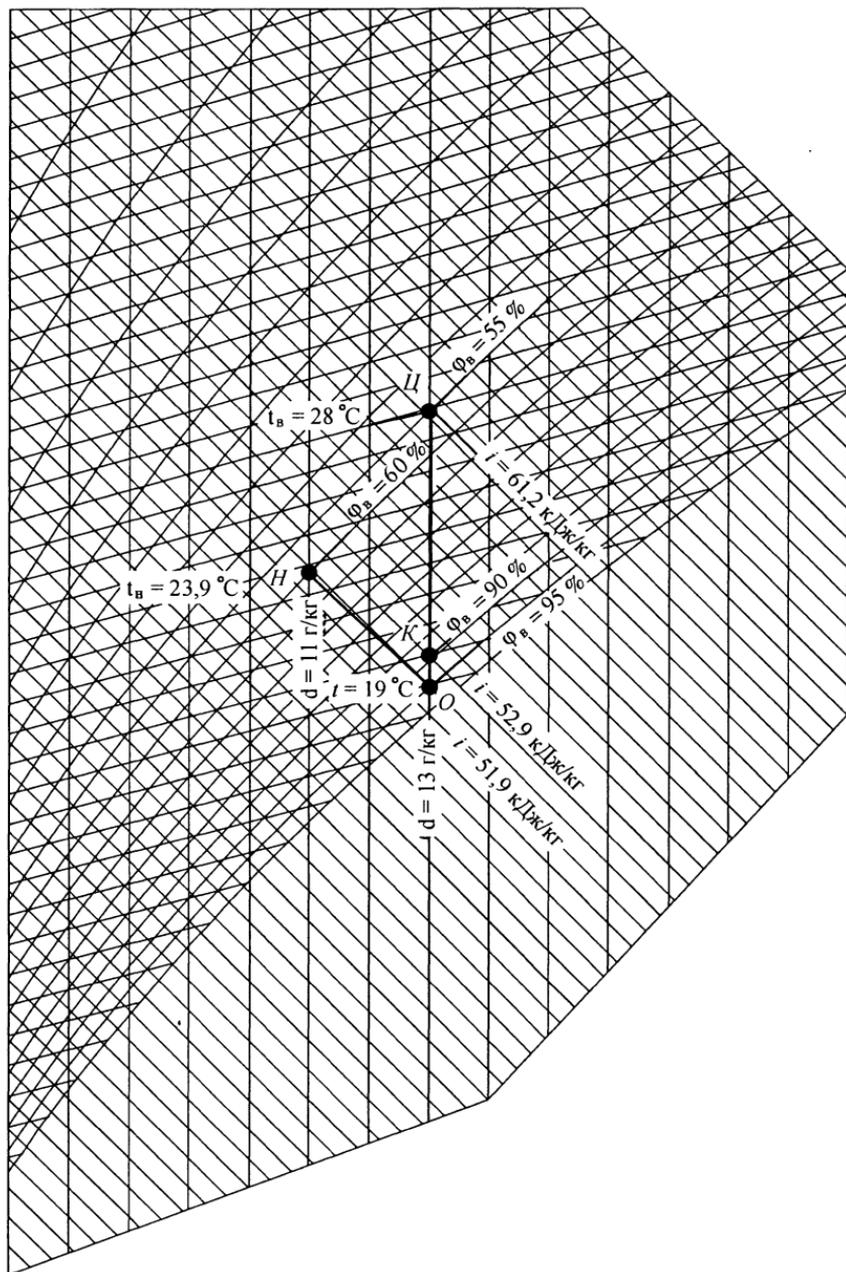


Рис. 7.8. Процесс обработки воздуха в теплое время года для обувного цеха

Кратность воздухообмена в помещении

$$K_p = L^m / V_{\text{цех}} = 48\,663,6 / 6912 = 7,0 \text{ 1/ч.}$$

**Расчет приточного воздуха в холодное время года.** Исходные данные:  $L_{\text{отс}} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч} = 4800 \text{ кг/ч}$ . Параметры наружного воздуха:  $t_n = -39 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $i_n = -38,9 \text{ кДж/кг}$ . Параметры воздуха в цехе:  $t_v = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_v = 55 \%$ .

Тепловыделения в холодное время года составляют

$$Q_{\text{тв.}}^x = 72\,677,5 \text{ Вт.}$$

Суммарные теплотери определим с учетом удельной тепловой характеристики верхнего пятого этажа, где расположен рассматриваемый цех:

$$Q_{\text{т.п}}^x = q_{\text{у.т.х}}(t_v - t_n) V_{\text{ц}} = 0,24 \cdot (21 + 39) \cdot 6912 = 99\,532,8 \text{ Вт.}$$

Работа вентилятора кондиционера должна обеспечить расход приточного воздуха в холодное время года не менее 50 % от подачи воздуха в теплый период года:

$$G_{\text{пр}}^x = 0,5 G_{\text{пр}}^{\text{т}};$$

$$G_{\text{пр}}^x = 0,5 \cdot 58\,396,4 = 29\,198,2 \text{ кг/ч.}$$

Кратность воздухообмена

$$K_p = G_{\text{пр}}^x / \rho V_{\text{ц}} = 29\,198,2 / 1,2 \cdot 6912 = 3,5 \text{ 1/ч.}$$

Поскольку  $L_{\text{отс}} < G_{\text{пр}}^x$ , то общий объем местной вытяжной вентиляции не учитываем.

В связи с тем, что в цехах обувных предприятий поступает значительное количество вредных веществ, для подачи в цех используется наружный воздух, предварительно обработанный в кондиционере (нагретый и увлажненный).

Построение процесса обработки воздуха в холодный период года приводится на диаграмме  $J-d$  (рис. 7.9). Определим положение точки  $Ц$  по принятым параметрам цехового воздуха. В цехе влаговыведение практически отсутствует, поэтому положение точки  $О$ , обозначающей параметры воздуха после обработки в оросительной камере, находим на пересечении влагосодержания  $d_{\text{ц}}$  и относительной влажности  $\phi_k = 95 \%$ .

Учитывая нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах вследствие трения на  $1 \text{ кДж/кг}$ , определим параметры воздуха, поступающие из кондиционера в цех (точка  $К$ )  $i_k = i_o + 1 \text{ кДж/кг}$ .

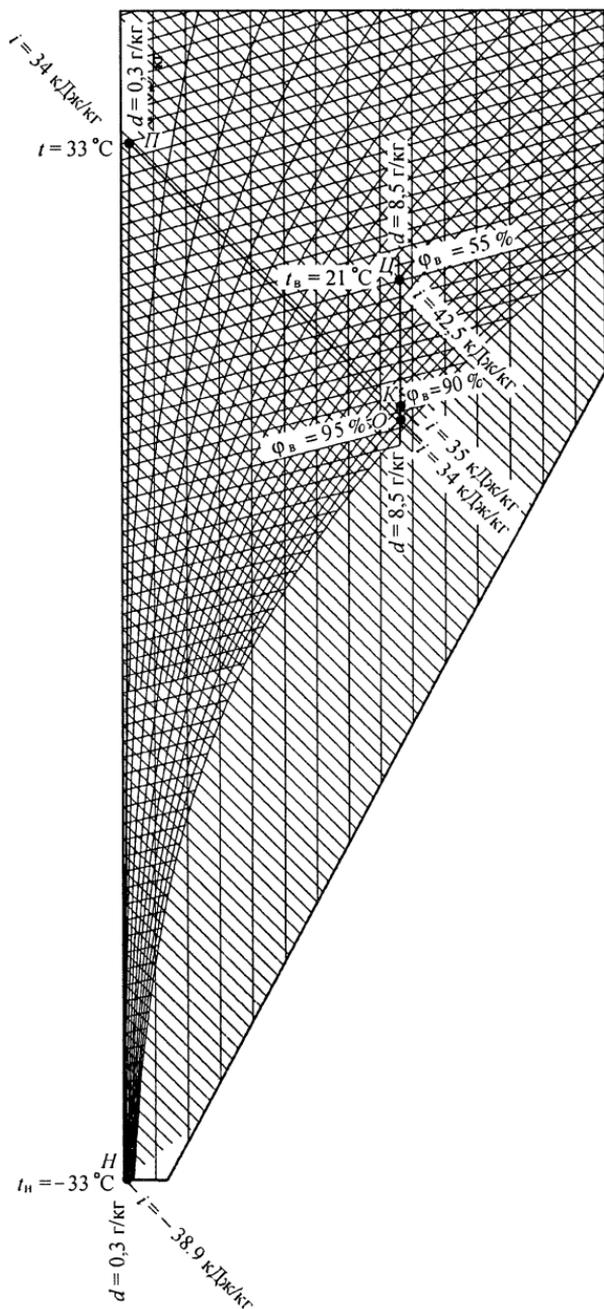


Рис. 7.9. Процесс обработки воздуха в холодное время для обувного цеха

Обозначим по диаграмме  $J-d$  точку  $H$ , характеризующую наружный воздух по  $t_n$  и  $i_n$ . Из сравнения параметров наружного воздуха точки  $H$  и воздуха, выходящего из оросительной камеры кондиционера точки  $O$ , следует необходимость нагрева и увлажнения наружного воздуха.

Нагрев наружного воздуха производится в калориферах первого подогрева от энтальпии  $i_n$  до  $i_{II}$  при постоянном влагосодержании  $d_n$ . Точка  $II$  характеризует параметры воздуха после первого подогрева. Подогретый воздух направляется в камеру орошения для увлажнения до  $d_{II}$  — процесса  $PO$ .

Схема процесса кондиционирования воздуха приведена на рис. 7.9, параметры воздуха в табл. 7.15.

Таблица 7.15. Параметры воздуха для холодного периода года

| Точка на рис. 7.9 | $t, ^\circ\text{C}$ | $\varphi, \%$ | $i, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ | $d, \frac{\text{г}}{\text{кг}}$ |
|-------------------|---------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| $H$               | -39                 | 80            | -38,9                             | 0,3                             |
| $Ц$               | 21                  | 55            | 42,5                              | 8,5                             |
| $П$               | 33                  | —             | 34, 0,3                           |                                 |
| $K$               | 13,5                | 90            | 35                                | 8,5                             |
| $O$               | 12,5                | 95            | 34                                | 8,5                             |

Расход теплоты на первый подогрев

$$Q_1 = Q_{\text{пр}}^x (i_n - i_{II}) \cdot 0,278 = 29\,198,2(34 + 38,9) \cdot 0,278 = 591\,736,5 \text{ Вт.}$$

Определим по диаграмме  $J-d$  количество теплоты, необходимой на нагрев 1 кг подаваемого в цех воздуха, из процесса  $K-Ц$ .

Связующий эффект по теплоте  $\Delta i_{II} = i_{II} - i_K$ :

$$\Delta i_{II} = 42,5 - 35 = 7,5 \text{ кДж/кг.}$$

Количество теплоты, необходимое на нагрев всего подаваемого в цех воздуха, составит

$$Q_{\text{необх}}^x = G_{\text{пр}}^x (i_{II} - i_K) \cdot 0,278 = 29\,198,2 (42,5 - 35) \cdot 0,278 = 60\,878,2 \text{ Вт.}$$

По результатам теплового баланса потери теплоты преобладают над тепловыделениями:

$$Q_{\text{изб}}^x = Q_{\text{ТВ}}^x - Q_{\text{ТП}}^x = 72\,677,5 - 99\,532,8 = -26\,855,5 \text{ Вт.}$$

Общий необходимый расход теплоты

$$Q_{\text{общ}}^x = Q_{\text{необх}}^x - Q_{\text{изб}}^x = 60\,878,2 + 26\,855,5 = 87\,733,5 \text{ Вт.}$$

Затраты теплоты оказались больше тепловыделений  $Q_{\text{ТВ}}^x = 72\,677,5$  Вт. Следовательно, для того чтобы получить в цехе требуемые параметры, надо ввести второй подогрев после оросительной камеры. Расход теплоты на второй подогрев составит

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{общ}}^x - Q_{\text{ТВ}}^x = 87\,733,5 - 72\,677,5 = 15\,056 \text{ Вт.}$$

В связи с тем, что недостаток теплоты незначительный, можно отказаться от второго подогрева, что приводит к понижению температуры в цехе. Определим снижение энтальпии:

$$\Delta i = \frac{Q_{\text{п}}}{G_{\text{пр}}^x \cdot 0,278} = \frac{15056}{29\,198,2 \cdot 0,278} = 1,85 \text{ кДж/кг.}$$

Это соответствует снижению температуры на  $3^\circ\text{C}$ . Таким образом, в цехе будет поддерживаться температура  $18^\circ\text{C}$  и относительная влажность  $63\%$ , что удовлетворяет нормам (см. табл. 1.9 и 1.10).

Для требуемого воздухообмена в цехе, исходя из летнего времени, необходимо установить кондиционер КДЦ-50 производства Домодедовского завода кондиционеров.

**Пример 7.8.** На обувной фабрике изготавливают мужские ботинки рантовым и рангово-клеевым методами крепления. В заготовленном цехе работа выполняется на постоянных рабочих местах. По аналогии с предыдущим примером, что сопротивление теплопередаче женской одежды  $R_{\text{п.од}} = 0,193 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

По циркульной номограмме (см. рис. 2.6) при скорости воздуха в помещении  $0,1 \text{ м/с}$ , коэффициенте теплопроводности воздуха  $0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  и кинематической вязкости воздуха  $16,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  коэффициент теплоотдачи конвекции у поверхности одежды человека равен  $2,60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Коэффициент теплоотдачи излучением поверхности одежды человека составляет  $\alpha_{\text{ч.л}} = 5,29 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  при  $C_{\text{ч}} = 4,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}^4)$ ,

$C_{в.пр} = 5,23 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4)$  и температурный коэффициент взаимооблучаемых поверхностей 1,1 (см. рис. 1.9).

Температура на внешней поверхности одежды работницы в теплое время года при  $t_b = 28 \text{ }^\circ\text{C}$  составит  $31,42 \text{ }^\circ\text{C}$  и в холодный период года при  $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  —  $28,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определим значение конвективно-лучистого теплового потока с поверхности одежды человека. При этом примем, что в теплое время года  $t_b = \tau_{в.п}$ :

$$\begin{aligned} Q_{ч.к.л} &= \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_b) + \alpha_{ч.л} (\tau_{ч} - \tau_{в.п}) = \\ &= 2,6(31,42 - 28) + 5,28(31,42 - 28) = 25,94 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned}$$

В холодное время года ( $t_b = \tau_{в.п}$ ) с учетом первого подогрева в системе кондиционирования определим значение конвективно-лучистого потока с поверхностью одежды человека:

$$\begin{aligned} Q_{ч.к.л} &= \alpha_{ч.к} (\tau_{ч} - t_b) + \alpha_{ч.л} (\tau_{ч} - \tau_{в.п}) = \\ &= 2,6(28,2 - 18) + 5,28(28,2 - 18) = 80,3 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned}$$

Отнесем эти величины конвективно-лучистого потока к площади поверхности тела человека и соответственно получим 46,6 и 144 Вт.

В цехе при работе заготовщиков, намазчиков клея, которая относятся к категории Ib с уровнем энергозатрат 140...174 Вт, на величину конвективно-лучистого потока в холодное время года приходится 77 % и в теплое время года 68 % общих энергозатрат. Они будут изменяться в холодное время года от 107,8 до 134 Вт и в теплый период года — от 95 до 118,3 Вт.

Полученные расчетные значения конвективно-лучистого теплового потока, теряемого с поверхности одежды человека, для теплого периода года оказались ниже уровня оптимальных и допустимых энергозатрат для работ категории Ib, в холодное время года — практически соответствуют требуемому уровню энергозатрат.

Для создания благоприятных условий в помещении цеха в теплое время года увеличим скорость движение воздуха до 0,3 м/с, а направление движение воздуха будет происходить под углом  $90^\circ$  к человеку (см. табл. 6.1). На окнах рекомендуется установить эффективную светопрозрачную отражательную пленку. Кровлю из филозола с коэффициентом поглощения солнечной радиации  $\rho_{рад} = 0,9$  следует заменить на кровлю из фольгоизола с

коэффициентом поглощения солнечной радиации  $\rho_{\text{рад}} = 0,61$ . Для верха одежды следует использовать материал с низким коэффициентом излучения. Коэффициент теплообмена конвекцией у поверхности одежды человека составит  $5,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

При таких конструктивных решениях температура воздуха в цехе составит  $26 \text{ °C}$ ,  $\tau_{\text{ч}} = 31 \text{ °C}$ ,  $\tau_{\text{в.п}} = 24,5 \text{ °C}$ .

Значение конвективно-лучистого теплового потока

$$\begin{aligned} Q_{\text{ч.к.л}} &= \alpha_{\text{ч.к}} (\tau_{\text{ч}} - t_{\text{в}}) + \alpha_{\text{ч.л}} (\tau_{\text{ч}} - \tau_{\text{в.п}}) = \\ &= 5,6(31,0 - 26,0) + 5,28(31,0 - 24,5) = 66,14 \text{ Вт}/\text{м}^2. \end{aligned}$$

Полученное значение для теплого времени года конвективно-лучистого потока, отнесенное к площади поверхности тела человека, составит  $119 \text{ Вт}$ , что практически приближается к уровню допустимых энергозатрат для категории работ Ib.

Таким образом, принятые параметры по температуре воздуха и поверхностей помещения, относительной влажности, скорости движения воздуха и энергозатратам в теплое время года создают допустимые условия ( $t_{\text{в}} = 28 \text{ °C}$ ,  $\varphi_{\text{в}} = 55 \%$ ,  $v_{\text{в}} = 0,3 \text{ м}/\text{с}$  и  $Q_{\text{ч.к.л}} = 119 \text{ Вт}$ ), а в холодное время года — оптимальные и допустимые условия ( $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$ ,  $\varphi_{\text{в}} = 63 \%$ ,  $v = 0,1 \text{ м}/\text{с}$  и  $Q_{\text{ч.к.л}} = 144 \text{ Вт}$ ) теплового комфорта на постоянных рабочих местах.

Полученные параметры воздушной среды также отвечают требованиям, предъявляемые к технологическому процессу.

## **8. СОЗДАНИЕ КОМФОРТНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПРИ ВЛАЖНОСТНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ОДЕЖДЫ**

---

---

Процессы влажно-тепловой обработки (ВТО) тканей издавна используются в швейном производстве. Однако основные усилия в совершенствовании этих процессов направлены на разработку различных систем и конструкций прессов, а также на подбор оптимальных режимов обработки изделий. Современный этап развития швейной промышленности характеризуется применением большого количества различных видов тканей верха и прокладочных материалов, что обуславливает значительное число различных режимов ВТО для каждого вида ткани.

Процессы тепловой и влажно-тепловой обработки занимают существенное место в производстве швейных изделий. В связи с необходимостью выпуска высококачественной продукции трудоемкость процессов тепловой обработки в швейном производстве составляет более 40 % от трудоемкости изготовления одежды. Она заключается в раскрое материалов и оплавлении краев деталей, соединении деталей одежды термопластичными клеями, сваривании материалов, а также в придании изделиям пространственной формы и хорошего товарного вида.

### **8.1. Оборудование для стабилизации форм деталей одежды при ВТО**

Для стабилизации формы деталей одежды и готовых изделий ВТО выполняется тремя способами — глажением, прессованием и пропариванием. Для этого в швейном производстве применяют гладильные прессы, паровоздушные манекены, утюги, отпа-

риватели, каландры, роторные и проходные автоматы, фальцовочные прессы.

При ВТО изделия под воздействием влаги и теплоты волокна ткани переводят из стеклообразного состояния в высокоэластичное и подвергают деформации под давлением. Затем приданная волокнам форма закрепляется путем удаления влаги и перехода обработанных волокон из высокоэластичного в застеклованное состояние [31].

В соответствии с осуществляемыми операциями и видом обрабатываемых изделий прессы ВТО имеют различные размеры и форму рабочих органов (подушек). Общий вид прессы с универсальной подушкой представлен на рис. 8.1. Механизация и автоматизация производственных процессов швейного производства все больше вытесняют ручные операции ВТО и все более способствуют широкому использованию механизированных гладильных прессов, оснащенных устройствами и приборами с автоматическим регулированием обеспечения заданных технологических параметров ВТО (температуры гладильных поверхностей, времени обработки, давления на полуфабрикат и увлажнения).

В настоящее время на швейных фабриках и малых предприятиях используют большое число различных гладильных прессов отечественных и зарубежных фирм.

В зависимости от вида обрабатываемого изделия на прессах устанавливают сменные гладильные подушки. Обрабатываемое изделие укладывают на нижнюю подушку, верхняя подушка опускается и осуществляется предварительный прижим, изделие пропаривается, прессуется и высушивается. По типу нагрева подушек различают прессы с электрическим, паровым и электропаровым обогревом, по типу приводов — с пневматическим и электромеханическим. Прессы с пневмоприводом наиболее экономичны и надежны в эксплуатации, имеют меньшую массу и потребляют меньше электроэнергии. В них используют компрес-

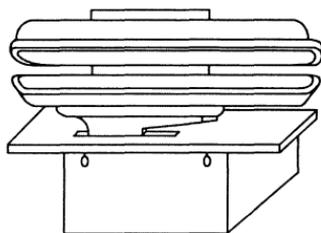


Рис. 8.1. Общий вид прессы

соры давлением 0,6...0,7 МПа, давление регулируется редукционным клапаном.

Рабочими органами гладильных прессов являются верхняя и нижняя гладильные подушки, между которыми укладывается изделие. Одним из требований, предъявляемых к гладильной поверхности подушек, является сохранение товарного вида обрабатываемой ткани полуфабриката в условиях высокой влажности. Поэтому недопустима коррозия гладильной поверхности рабочих органов. Высокие требования предъявляются также к теплоемкости и теплопроводности материала, из которого они изготовлены. Рабочие органы прессов изготавливают из малокоррозирующих теплопроводных материалов. Форма подушки определяется размерами участка детали, обрабатываемой на данной операции ВТО. Для снятия лас с изделия рабочую поверхность верхней подушки обычно покрывают проутюжилником, имеющим пористую макроструктуру. Верхние подушки многих типов отечественных и зарубежных прессов имеют электрообогрев и устройства для отпаривания обрабатываемых изделий. Многие фирмы выпускают гладильные прессы, верхние и нижние подушки которых обогреваются только паром.

Рабочие органы прессов осуществляют как контактное тепловое воздействие на обрабатываемую деталь изделия, так и воздействие паром. Контактующая с деталью изделия поверхность подушек гладильных прессов называется рабочей. Под воздействием температурного поля рабочей поверхности подушек или пара температура изделия изменяется, происходит обмен тепловой энергией между рабочими органами и изделием. При этом значительная часть тепловой энергии расходуется на рассеивание в окружающую среду. Процесс теплообмена с окружающей средой при этом происходит в основном за счет двух видов теплообмена: теплообмен излучением (за счет нагрева подушек) и конвекцией (за счет выброса пара и подвижности воздуха около нагретых подушек).

Анализ воздействия тепловой струи на человека показал, что оно зависит от вида выполняемой технологической операции и расположения подушек пресса. В условиях швейного производства рабочие органы прессов по отношению к поверхности тела оператора занимают положение от уровня талии (примерно 1 м от пола) до уровня головы (1,5...1,8 м). Так при технологическом формировании верхнего плечевого оката, воротничковой части, верхнего оката рукавов тепловому воздействию подвергаются го-

лова и руки работающего, что составляет около 36 % единиц оборудования, применяемого для ВТО на швейных предприятиях. При технологическом формировании полочек, спинки пиджака тепловое воздействие направлено на верхнюю часть туловища и руки работающего, что составляет примерно 64 %.

## **8.2. Параметры воздушной среды в зоне работы оператора ВТО деталей одежды**

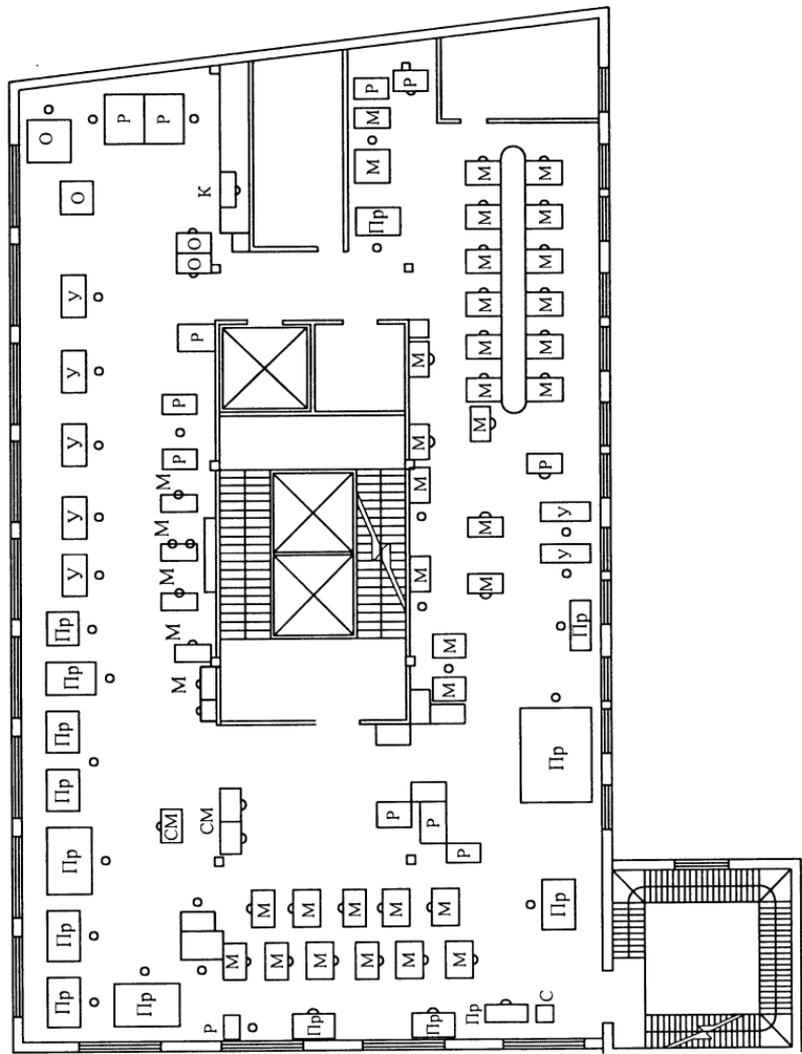
На рабочих местах оператора ВТО деталей и узлов изделия технологический процесс оказывает неблагоприятное влияние на микроклимат в рабочей зоне, которое характеризуется повышенной температурой, относительной влажностью воздуха и скоростью движения воздуха.

В качестве объектов исследования рассматривались рабочие места на технологических потоках ОАО «АКРО», на которых определялись температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне оператора.

В результате комплексных исследований 288 рабочих мест, проведенных в холодное время года, характеризующихся выполнением различных технологических операций, были получены следующие результаты.

На технологическом потоке запуска пиджака (рис. 8.2) расположено 87 единиц оборудования, из них для влажно-тепловой обработки 15 единиц. На рабочих местах, оснащенных таким оборудованием, как универсальные машины 272 и 1597 классов, специальные швейные машины 8332/3705, 330, 3306 и 437-32-33 классов, полуавтоматы швейные, как показали проведенные исследования, температура воздуха составляет 22,1...24,0 °С, подвижность воздуха — 0,1...0,2 м/с, относительная влажность — 39...44 %. На рабочих местах, оснащенных оборудованием для ВТО изделий, таким как паровой пресс ТУ 2000-1-22, 1351 Е, 2000 + 223 + 396, а также паровые утюги, значение температуры воздуха находится в пределах 25,2...27,2 °С, относительная влажность составляет 48...54 %. Подвижность воздуха при отсутствии пропаривания составляет 0,15...0,25 м/с, а в момент пропаривания изделия подвижность воздуха в рабочей зоне достигает 3 м/с. На технологическом потоке монтажа и окончательной отделки пиджака (рис. 8.3) расположено 72 единицы оборудования, из





**Рис. 8.3.** План цеха. Окончательная отделка пиджака:

Пр — пресс паровой; У — утюг; М — швейная машина; СМ — специальная швейная машина; Р — рабочее место; О — рабочее место контролера УГК

них на ВТО приходится 19 единиц. На рабочих местах, оснащенных специальными швейными машинами 557, 800, 5659, 175, 541, 73, 28, 51 и 212 классов, значение температуры воздуха в рабочей зоне составляет 21,0...24,2 °С, подвижность воздуха — 0,1...0,2 м/с, относительная влажность — 37...41 %. На рабочих местах для ВТО изделий, оснащенных такими прессами, как ТУ 2000-5+22, 2000-1+22, 2000-2+22, CS-330-1, ПГУ-1, МАКПИ, температура воздуха находится в пределах 26,7...28,8 °С, относительная влажность составляет 52...55 %. Подвижность воздуха в момент пропаривания составляет в рабочей зоне 3,2 м/с, а при отсутствии пропаривания изделия 0,2...0,25 м/с. На технологическом потоке по подготовке и раскрою ткани расположено 43 единицы оборудования, из них 5 единиц для дублирования деталей (11 %). На всех рабочих местах значение температуры воздуха составляет 21,1...22,3 °С, подвижность воздуха — 0,1...0,20 м/с, а относительная влажность — 41...45 %. Проведенные исследования установили, что на операциях, относящихся к категории работ IIa (см. табл. 1.10), наблюдается превышение допустимых значений по температуре и скорости движения воздуха. Это связано с использованием на этих рабочих местах оборудования с повышенным тепловыделением.

Измерения температуры и подвижности воздуха проводились на расстоянии 0,05 м от пресса с помощью современных приборов пирометра инфракрасного С-110 и тезто 406-VI. Всего было проведено 300 замеров температур при ВТО изделия из полушерстяной ткани (артикул 2С56ВУ), которые были обработаны методами математической статистики с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты замеров скорости распространения пара и относительной влажности в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения пресса, представлены на рис. 8.4, а, б и 8.5. Следует отметить, что параметры ВТО, такие как температура нагрева поверхностей подушек, время пропаривания и температура пара, расход пара, время и усилие прессования, изменяются в зависимости от артикула материала обрабатываемого изделия. Циклограмма работы пресса представлена на рис. 8.6. Таким образом, это оборудование оказывает отрицательное тепловое воздействие на оператора, схема движений которого представлена на рис. 8.7, что в свою очередь приводит к утомляемости и снижению производительности труда.

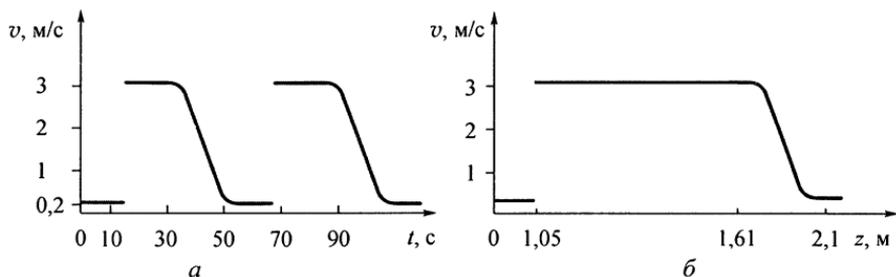


Рис. 8.4. Подвижность воздуха в зоне оператора ВТО:

$a$  — на высоте 1,35 м;  $б$  — в вертикальной плоскости в момент пропаривания

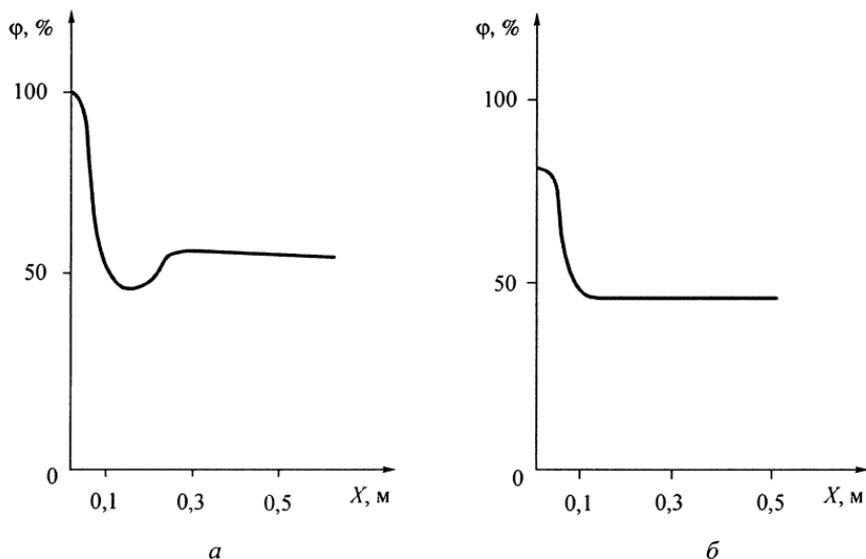


Рис. 8.5. Распределение относительной влажности воздуха в зоне оператора:  $a$  — на высоте 1,1 м;  $б$  — на высоте 1,6 м

Для измерения температур рабочих поверхностей и поверхностей кожуха подушек проводилась серия замеров. Измерение температур данных поверхностей выполнялось тепловизором АГА. Замеры проводились в трех точках поверхностей: одна в середине и две точки на расстоянии 1 см от края поверхностей подушки. Всего было проведено 300 замеров температур при ВТО изделия из полшерстяной ткани (артикул 2С56ВУ).

Значения температур различных поверхностей подушек прессов во время ВТО изделий представлены в табл. 8.1.

| Наименование технологических переходов при ВТО | Время от начала цикла, с |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|--------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 3                        | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 | 51 |
| Подготовка и укладка изделия                   | ■                        | ■ | ■ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Опускание верхней подушки                      |                          |   |   | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Пропаривание через нижнюю подушку              |                          |   |   | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Пропаривание через верхнюю подушку             |                          |   |   |    | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Прессование                                    |                          |   |   |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |
| Сушка и вакуумный отсос                        |                          |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  |    |    |
| Подъем верхней подушки                         |                          |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |
| Съем изделия                                   |                          |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |

Рис. 8.6. Циклограмма работы пресса

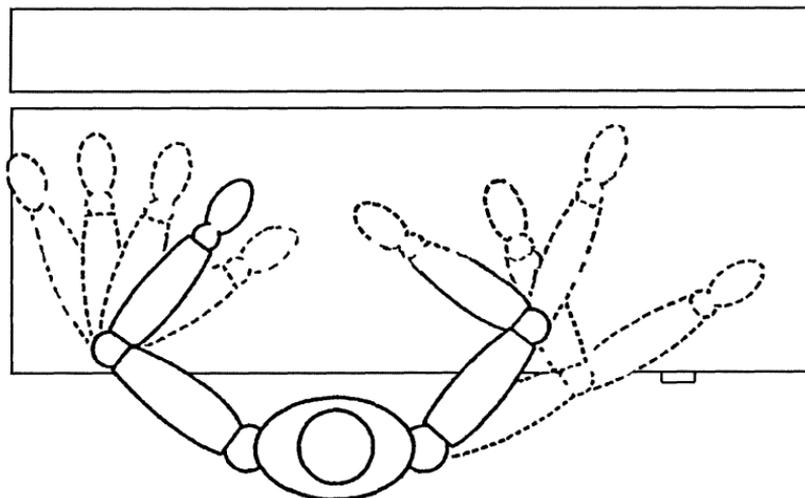


Рис. 8.7. Схема движения оператора при влажно-тепловой обработке пиджака

Таблица 8.1. Результаты измерений температуры поверхностей подушек прессы (по данным С. А. Лебедева)

| Этап            | Характерные поверхности  | Температура, °С | Длительность этапа, с |
|-----------------|--|-----------------|-----------------------|
| Первый          | Рабочая поверхность верхней подушки                              | 80              | 12                    |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                       | 45              |                       |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки, горизонтальная               | 82              |                       |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                        | 43              |                       |
| Второй и третий | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                       | 94              | 10                    |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                        | 96              | 15                    |
| Четвертый       | Рабочая поверхность верхней подушки                              | 80              | 14                    |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                       | 46              |                       |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки, закрытая уложенным изделием, | 68              |                       |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                        | 44              |                       |
| Пятый           | Рабочая поверхность верхней подушки,                             | 80              | 11                    |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                       | 45              |                       |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки                               | 82              |                       |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                        | 43              |                       |
| Итого           |  |                 | 62                    |

### 8.3. Теплофизическая модель технологического процесса влажностно-тепловой обработки

При разработке теплофизической модели технологического процесса формирования деталей изделий за основу приняты наиболее сложные и распространенные процессы ВТО, применяемые при изготовлении как костюмов, так и пальто — формирование полочки пиджака и формирование верхнего оката рукавов. Поставленная задача рассматривается при условии, что при открытом положении прессы потери тепла с его подушек происходят в основном конвективным и лучистым теплообменом.

### 8.3.1. Теплофизическая модель прессы влажностно-тепловой обработки полочек пиджака

На основе анализа циклограммы (см. рис. 8.6) работы прессы цикл ВТО изделия можно представить состоящим из нескольких этапов, характеризующихся различной температурой и расположением в пространстве подушек прессы:

1) пресс открыт, на подушки укладывается изделие, длительность  $\Theta_1$ , с;

2) пресс закрыт, выполняется процесс пропаривания изделия, пресс приоткрыт, осуществляется снятие лас, длительность  $\Theta_2$ , с;

3) пресс закрыт, выполняется процесс прессования, длительность  $\Theta_3$ , с;

4) пресс открыт, снимается изделие, длительность  $\Theta_4$ , с;

5) пресс открыт, длительность  $\Theta_5$ , с.

Интенсивность конвективного теплообмена описывается следующим уравнением:

$$Q_{ki} = \sum_{i=1, N} \alpha_{ki} F_i (\tau_{n.p.i} - e_b), \quad (8.1)$$

где  $N$  — число этапов цикла;  $\tau_{n.p.i}$  — температура поверхности подушек прессы, °С;  $\alpha_{ki}$  — поверхности подушек прессы, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $F_i$  — площадь подушек прессы, м<sup>2</sup>.

Теплообмен излучением при ВТО изделий определяют по следующей формуле:

$$Q = \sum_{i=1} \varepsilon_{ni} C_0 \left[ \left( \frac{\tau_{n.p.i} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_b + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{n.p.ч}, \quad (8.2)$$

где  $C_0$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела, 5,67 Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $\tau_{n.p.i}$  — температура на поверхности подушек прессы, °С;  $i$  — индекс, определяет характерную поверхность, учитываемую в процессе лучистого теплообмена с оператором в зависимости от этапа цикла ВТО;  $\varepsilon_{ni}$  — коэффициент приведенной степени черноты ( $\varepsilon_{ni} = C/C_0$ , где  $C$  — коэффициент излучения поверхности различных материалов), Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) (см. табл. 2.3 и 2.4),  $\varepsilon_{ni} = 0...1$  (например, для полированного чистого серебра  $\varepsilon_{ni} = 0,0198—0,0324$  и черного матового лака  $\varepsilon_{ni} = 0,96—0,98$ ).

При разработке комплексной теплофизической модели прессы, технологически формирующего полочку пиджака, при решении

теплофизических уравнений циклической работы пресса примем следующие допущения:

- температура нагрева по поверхности рабочих органов распределяется равномерно;
- для каждого этапа цикла теплофизические параметры материалов подушек и окружающего воздуха принимаются постоянными;
- тепловое воздействие расположенного рядом оборудования не учитывается;
- рабочие органы пресса имеют вид параллелепипеда или эллипсоида;
- поверхность теплообмена, расположенную под углом до  $45^\circ$ , рассматриваем как вертикальную;
- переходные процессы между этапами цикла не учитываем.

Общее количество тепловой энергии, теряемой с поверхности подушек пресса за весь цикл ВТО

$$Q = \int_F \int_0^{\Theta} \alpha (\tau_{п.п} - t_{в}) d\Theta dF, \quad (8.3)$$

где  $\Theta$  — время работы пресса, мин или с.

Таким образом, задача сводится к разработке такой модели подушек пресса, которая бы позволила рассчитать коэффициенты конвективного и лучистого обмена.

Поскольку процессы теплообмена протекают независимо друг от друга, то целесообразно анализировать их по отдельности.

Рассмотрим процесс конвективного теплообмена при технологическом формировании полочек пиджака. Для первого этапа цикла ВТО изделия (рис. 8.8) можно принять следующее расположение поверхности:

- рабочая поверхность 1 верхней подушки вертикальная;
- боковые поверхности 4 кожуха верхней подушки вертикальные;
- рабочая поверхность 2 нижней горизонтальной подушки, на которую укладывается изделие, направлена вверх;
- боковые поверхности 5 кожуха нижней подушки вертикальные.

При соприкосновении воздуха с нагретыми поверхностями подушек он нагревается, становится легче и поднимается вверх. Движение воздуха возникает без внешнего побуждения в резуль-

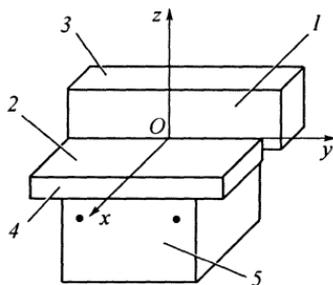


Рис. 8.8. Первый этапа цикла ВТО:

1 — рабочая поверхность подушки прессы; 2 — рабочая поверхность нижней подушки прессы; 3 — боковая поверхность кожуха подушки прессы; 4 — верхняя поверхность кожуха подушки прессы; 5 — станина

тате самого процесса теплообмена, а потому возникает естественная конвекция.

Рассмотрим процесс теплообмена между вертикально ориентированной поверхностью подушки прессы и воздушной средой в помещении швейного цеха. Вследствие гораздо большего объема цеха по сравнению с объемом прессы можно принять, что конвективный теплообмен происходит в неограниченном объеме. Направим ось  $z$  вдоль поверхности (вертикальное направление), а ось  $y$  перпендикулярно к ней (горизонтальное направление), ось  $x$  — по ширине поверхности. На основе конвективного теплообмена с вертикально расположенной плитой\* условия теплообмена на первом этапе цикла в процессе ВТО изделий определяются критериальным уравнением:

$$Nu = 0,508 \cdot Pr^{0,5} \cdot (0,952 + Pr)^{-0,25} \cdot Gr^{0,25}. \quad (8.4)$$

При этом:

$$Nu = \frac{g\beta\tau_{п.п}y^3}{\nu^2}. \quad (8.5)$$

С другой стороны, локальный критерий Нуссельта связан с коэффициентом конвективного теплообмена формулой

$$Nu = \frac{\alpha_{к}l}{\lambda}. \quad (8.6)$$

\* Шепелев И. А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978.

Движение воздуха около нагретых горизонтальных поверхностей подушек прессы носит иной характер и зависит от геометрических размеров поверхности (рис. 8.9). При больших размерах нагретых поверхностей центральная часть поверхности подушки как бы изолирована воздушными потоками, восходящими с краев поверхности. Охлаждение центральной части происходит за счет притока холодного воздуха сверху.

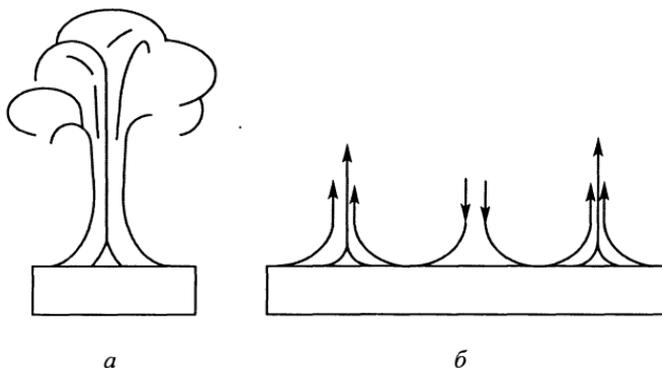


Рис. 8.9. Схема движения воздуха:

*a* — над рабочими органами прессы малой протяженности; *б* — около протяженных горизонтальных рабочих органов прессы

Критериальное соотношение при данных условиях будет иметь вид

$$Nu = B(Gr \cdot Pr)^n, \quad (8.7)$$

где  $B$  и  $n$  — постоянные (табл. 8.2).

Таблица 8.2. Значения постоянных  $B$  и  $n$

| $Gr \cdot Pr$                 | $B$   | $n$ |
|-------------------------------|-------|-----|
| $10^{-3} - 5 \cdot 10^2$      | 1,18  | 1/8 |
| $5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$ | 0,54  | 1/4 |
| $2 \cdot 10^7 - 10^{13}$      | 0,135 | 1/3 |

Таким образом, процесс конвективного теплообмена на первом этапе цикла ВТО изделия описывается двумя критериальными уравнениями (8.4) и (8.7).

Коэффициент лучистого теплообмена определяют по формуле

$$\alpha_{л} = \frac{\varepsilon_{п} C_0 \left[ \left( \frac{\tau_{п.п} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{в} + 273}{100} \right)^4 \right]}{\tau_{п.п} - t_{в}}. \quad (8.8)$$

Для определения коэффициента степени черноты поверхности подушки  $\varepsilon$  необходимо представить ее, состоящей как бы из двух слоев: первым слоем является поверхность отливки подушки из соответствующего сплава с коэффициентом  $\varepsilon_1$ , а вторым — слой или несколько слоев ткани (проутюжельника) с коэффициентом  $\varepsilon_2$  [39].

Для второго этапа цикла ВТО (рис. 8.10) изделия можно определить следующие характерные поверхности:

- боковые поверхности 1 кожуха верхней подушки вертикальные;
- боковые поверхности 2 кожуха нижней подушки вертикальные.

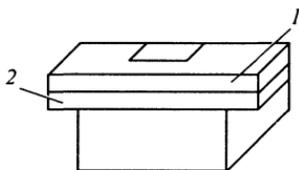


Рис. 8.10. Второй этап цикла ВТО: 1 — боковая поверхность кожуха верхней подушки; 2 — боковая поверхность кожуха нижней подушки

При этом специфику парового обогрева верхней подушки пресса учтем, получив и исследовав уравнение охлаждения рабочей поверхности подушки пресса. Для определения нестационарного температурного поля в подушке при ее нагреве, когда в «холодную» подушку в момент времени  $\Theta = 0$  подается пар, используем решение дифференциального уравнения Фурье с соответствующими краевыми условиями.

В итоге получим формулу охлаждения для подушки пресса:

$$\tau_{ок}(\Theta) = t_{в} + (\tau_1 - t_{в}) \cdot \exp \left[ -\frac{\Theta \alpha_2}{c p \delta} \right]. \quad (8.9)$$

Отсюда можно вывести формулу для коэффициента конвективного сложного теплообмена между боковой поверхностью

верхней подушки прессы и воздушной средой в помещении швейного цеха:

$$\alpha_2 = -\frac{c\rho\delta}{\Theta} \ln \left[ \frac{\tau_{\text{ок}}(\Theta) - t_{\text{в}}}{\tau_1 - t_{\text{в}}} \right]. \quad (8.10)$$

В то же время происходит процесс конвективно-лучистого теплообмена между боковой поверхностью кожуха нижней подушки, который описывается такими же уравнениями, что и на первом этапе цикла ВТО.

Для третьего этапа цикла ВТО характерные поверхности теплообмена остаются такими же как и на втором этапе, только изменяется их температура и прекращается воздействие пара на воздушную среду цеха.

Для четвертого этапа цикла ВТО можно выделить следующие характерные поверхности теплообмена, показанные на рис. 8.11.

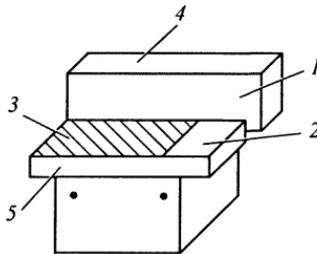


Рис. 8.11. Четвертый этап цикла ВТО:

1 — рабочая поверхность подушки прессы; 2 — рабочая поверхность нижней подушки прессы; 3 — боковая поверхность кожуха подушки прессы; 4 — верхняя поверхность кожуха подушки прессы; 5 — станина

Во время пятого этапа цикла ВТО пресс находится в открытом состоянии без изделия с соответствующими температурами поверхностей подушек.

Из анализа значений  $B$  и  $n$  в уравнении конвективного теплообмена (8.7) можно сказать, что в области значений  $Gr \cdot Pr$  от  $2 \cdot 10^9$  до  $1 \cdot 10^{13}$  показатель степени  $n = 1/3$ . Следовательно, в этой области процесс автомоделен, так как определяющий размер  $e$  входит в критерий  $Nu$  в первой степени, а в критерий  $Gr$  — в третьей степени.

Таким образом, теплофизическая модель прессы представляет собой набор плоских поверхностей, строгим образом ориентированных и взаимосвязанных во времени и пространстве с

присущими им характерными температурами нагрева поверхностей теплообмена.

Проведем расчет тепловых потерь при ВТО полочки пиджака на прессе «TV-2000» фирмы «Панония» согласно уравнениям (8.4)—(8.16). Каждая поверхность теплоотдачи характеризуется соответствующей температурой, которая может быть в общем случае определена экспериментальным или расчетным путем. Методика расчета представляет собой решение уравнения теплопроводности с краевыми условиями 3-го рода. Данные расчета коэффициентов конвективного теплообмена приведены в табл. 8.3.

Мощность тепловых потерь за один цикл ВТО изделия продолжительностью  $\Theta = 62$  с:

$$Q = \int_F \int_0^{\Theta} \alpha[\Theta, F] \cdot (\tau_{н.п}[\Theta, F] - t_g) d\Theta dF. \quad (8.11)$$

Функциональная зависимость коэффициента теплообмена от площади поверхности  $F$  носит неявный характер, поскольку в связи с выше принятыми допущениями каждая характерная поверхность подушек прессы обладает соответствующей температурой. Исходя из проведенного анализа подынтегральной функции, можно сделать вывод, что она в заданных временных пределах интегрирования удовлетворяет условиям Дирихле (пренебрегаем переходными процессами на границах раздела временных этапов цикла). Общее количество тепловой энергии, теряемой конвекцией за весь цикл, можно представить в виде суммы интегралов на отдельных этапах:

$$\begin{aligned} Q = & \int_F \int_0^{\Theta_1} \alpha_1(\Theta, F)(\tau_{н.п}[F] - t_b) d\Theta dF + \\ & + \int_F \int_{\tau_1}^{\Theta_2} \alpha_2(\Theta, F)(\tau_{н.п}[F] - t_b) d\Theta dF + \\ & + \int_F \int_{\Theta_2}^{\Theta_3} \alpha_3(\Theta, F)(\tau_{н.п}[F] - t_b) d\Theta dF + \\ & + \int_F \int_{\Theta_3}^{\Theta_4} \alpha_4(\Theta, F)(\tau_{н.п}[F] - t_b) d\Theta dF + \\ & + \int_F \int_{\Theta_4}^{\Theta_5} \alpha_5(\Theta, F)(\tau_{н.п}[F] - t_b) d\Theta dF, \end{aligned} \quad (8.12)$$

Таблица 8.3. Данные расчета коэффициентов теплообмена  
(по данным С. А. Лебедева)

| Этап            | Характерные поверхности   | Температура, °С | Коэффициент теплообмена, Вт/(м <sup>2</sup> · °С) | Время этапа, с | Количество теплоты, Вт |
|-----------------|---|-----------------|---|----------------|------------------------|
| Первый          | Рабочая поверхность верхней подушки                             | 58              | 6,38  | 12             | 447,8                  |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                      | 45              | 3,64  |                |                        |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки, горизонтальная              | 59              | 6,71  |                |                        |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                       | 43              | 3,57  |                |                        |
| Второй и третий | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                      | 94              | 14,8  | 10             | 706,1                  |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                       | 96              |   | 15             | 714,0                  |
| Четвертый       | Рабочая поверхность верхней подушки                             | 60              | 6,38  | 14             | 483,7                  |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                      | 46              | 3,72  |                |                        |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки, закрытая уложенным изделием | 68              | 4,42  |                |                        |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                       | 44              | 3,61  |                |                        |
| Пятый           | Рабочая поверхность верхней подушки                             | 58              | 6,38  | 11             | 478,32                 |
|                 | Боковые поверхности кожуха верхней подушки                      | 45              | 3,64  |                |                        |
|                 | Рабочая поверхность нижней подушки                              | 62              | 6,71  |                |                        |
|                 | Боковые поверхности кожуха нижней подушки                       | 43              | 3,57  |                |                        |
| Итого           |   |                 |   | 62             | 2830                   |

где  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5$  — время работы пресса на первом, втором, третьем, четвертом и пятом этапах, с;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$  — среднее значение коэффициентов конвективного теплообмена поверхности подушек и кожуха на первом, втором, третьем, четвертом и пятом этапах, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Общее количество теряемого тепла конвекцией в течение цикла ВТО согласно уравнению (8.12) и данных табл. 8.3 составит 2830 Вт.

За 1 ч работы на прессе ВТО проходит в среднем 40—45 пиджаков, за это время расходуется около 100 кВт электроэнергии. Таким образом, при ВТО значительное количество тепловой энергии расходуется в виде потерь с поверхностями рабочих органов оборудования.

### **8.3.2. Теплофизическая модель прессы влажностно-тепловой обработки верхнего оката рукава**

В качестве прессы для ВТО верхнего плечевого оката выбран пресс фирмы МАКПИ.

Цикл ВТО изделия, состоящий из нескольких этапов, характеризующихся различной температурой и расположением в пространстве рабочих органов прессы, состоит из нескольких этапов.

На первом этапе при открытом прессе можно выделить следующие характерные поверхности:

- рабочая поверхность верхней подушки, ориентированная горизонтально;
- боковые поверхности кожуха верхней подушки ориентированы вертикально;
- боковая поверхность части манекена, на который надевается изделие, вертикальные.

При теплообмене между вертикальной и горизонтальной поверхностями рабочих органов прессы значение коэффициента конвективного теплообмена для горизонтально ориентированной поверхности рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{к.гор}} = \frac{0,135 \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{\frac{1}{3}} \lambda}{l}. \quad (8.13)$$

Определяющим размером в этом случае будет

$$l = \frac{\pi r}{2}. \quad (8.14)$$

Для боковой поверхности верхней подушки согласно уравнению (8.4) коэффициент конвективного теплообмена равен:

$$\alpha_{\text{к.бок}} = \frac{0,508 \cdot \text{Pr}^{0,25} \cdot (0,952 + \text{Pr})^{-0,25} \cdot \text{Gr}^{0,25} \lambda}{l}. \quad (8.15)$$

При этом определяющим размером является ширина верхней подушки вдоль координаты  $y$ .

Для определения коэффициента лучистого теплообмена согласно уравнению (8.8) используют следующее уравнение:

$$\alpha_1 = \frac{\varepsilon_{п.1} C_0 \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.1} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_B + 273}{100} \right)^4 \right]}{\tau_{п.п.1} - t_B} + \frac{\varepsilon_{п.2} C_0 \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.2} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_B + 273}{100} \right)^4 \right]}{\tau_{п.п.2} - t_B}, \quad (8.16)$$

где  $\tau_{п.п.1}$  и  $\tau_{п.п.2}$  — температура поверхности подушек прессы (см. рис. 8.11).

Согласно уравнению (8.12) можно определить количество тепловых потерь за время цикла ВТО верхнего оката рукавов изделия. Однако необходимо полученный результат увеличить в 2 раза, поскольку на этом прессе одновременно работают обе подушки.

На втором этапе цикла ВТО пресс закрыт. Идет процесс пропаривания изделия.

Для второго этапа цикла ВТО коэффициент конвективного сложного теплообмена боковых поверхностей верхней подушки прессы рассчитывают по уравнению (8.10).

В течение третьего этапа пресс закрыт, идет процесс прессования. Для третьего этапа цикла ВТО поверхность теплообмена остается прежней, но изменяется ее температура, а также происходит прекращение поступления пара в швейный цех после снятия лас с изделия.

Во время четвертого этапа пресс открыт и снимается изделие. Для четвертого этапа цикла ВТО можно выделить следующие характерные поверхности:

- рабочая поверхность верхней подушки прессы, ориентированная горизонтально и направленная вниз;
- боковая поверхность той же подушки.

Выражение для коэффициента сложной теплоотдачи определяется согласно уравнениям (8.10) и (8.16), а также соответствующей температурой данных поверхностей.

Полученная система уравнений описывает теплофизические процессы теплообмена конвекцией между оборудованием и ок-

ружающей воздушной средой при ВТО верхнего оката рукавов изделий.

Разработанная теплофизическая модель пресса позволяет определить общее количество тепловой энергии, поступающее в течение всего цикла его работы в рабочую зону оператора, обслуживающего технологический процесс ВТО пиджака, а также коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением для различных поверхностей подушек прессов.

На основе анализа величин, входящих в критериальные уравнения (8.6) и (8.7), можно сделать следующий вывод: в области значений  $Gr \cdot Pr$  от  $2 \cdot 10^7$  до  $2 \cdot 10^{13}$ , соответствующих области для рабочих органов прессов для ВТО, показатель степени  $n = 1/3$ . Следовательно, в этой области процесс теплообмена не зависит от геометрических размеров подушек прессов, поскольку определяющий размер поверхности теплообмена входит в критерий Нуссельта в первой степени, а в критерий Грасгофа — в третьей степени. Таким образом, в этой области процесс теплообмена автомодален, что говорит о корректной разработке теплофизических моделей и о справедливости распространения всех полученных уравнений теплообмена на прессе для влажностно-тепловой обработки различных деталей и узлов, а также и видов изделий.

#### **8.4. Конвективно-лучистый теплообмен между человеком и оборудованием для стабилизации формы деталей одежды**

Создание для операторов тепловых комфортных условий можно рассматривать как целостную систему, включающую в себя оборудование для ВТО, человека, режимы обработки деталей и узлов изделий и параметры воздушной среды в помещении швейного цеха.

##### **8.4.1. Конвективный теплообмен при формировании полочек пиджака**

Конвективные потоки воздуха, образующиеся над источниками тепловыделений, являются одной из основных причин возникновения циркуляции воздуха в помещении. При нагревании

плотность воздуха уменьшается и он поднимается вверх. Окружающий воздух воздушной среды помещения с большей плотностью в свою очередь подтекает к теплой поверхности подушек пресса. Рабочие органы подушек пресса имеют прямоугольную или цилиндрическую форму, и с их поверхностей будет образовываться плоская или цилиндрическая конвективная струя. Для принятой теплофизической модели пресса определим функцию распределения температуры и скорости движения воздуха в помещении цеха при заданных параметрах влажностно-тепловой обработки швейных изделий.

Найдем распределение скорости движения и температуры воздуха в конвективном потоке, образованном над рабочей поверхностью нижней подушки пресса. Для этого введем цилиндрическую систему координат  $0z$  (рис. 8.12). Ось  $z$  направим вертикально вверх от центра подушки пресса, а расстояние произвольной точки пространства до оси  $z$  обозначим  $r$ .

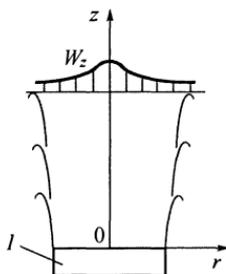


Рис. 8.12. Естественный конвективный поток над рабочей поверхностью: 1 — нижняя подушка пресса

Тогда распределение скорости в поперечном сечении и избыточных температур этого конвективного потока будет подчиняться нормальному закону распределения\*:

$$v = v_z \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{r}{cz} \right)^2 \right];$$

$$\Delta t = \Delta t_z \exp \left[ -\frac{\sigma}{2} \left( \frac{r}{cz} \right)^2 \right], \quad (8.16)$$

\* Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещении. М.: Стройиздат, 1982.

где  $v_z$ ,  $\Delta t_z$  — распределение скорости движения воздуха и температурного перепада по оси конвективной струи, м/с, °C;  $\sigma$  — экспериментальная постоянная,  $\sigma = 0,8$ .

Количество избыточного тепла, проводимого через поперечное сечение конвективного потока в условиях неравномерного распределения скорости и температуры:

$$Q_z = c_p \rho \int v \Delta t dF. \quad (8.16a)$$

Дальнейшие подробные расчеты пространственной функции распределения температуры воздуха в рабочей зоне пресса на первом, втором, третьем, четвертом и пятом циклах ВТО полочки пиджака приведены в [22].

Теплофизическая модель пресса представляет собой набор плоских поверхностей, определенным образом ориентированных и взаимосвязанных во времени и пространстве с присущими им характерными температурами нагрева поверхностей теплообмена. В связи с этим пространственно-временная функция распределения температуры описывается следующим уравнением:

$$t_b(x, y, z, \Theta) = \sum_{i=1, N}^N t_{b_i}(x, y, z, \Theta). \quad (8.17)$$

Величину конвективного теплообмена между оператором и оборудованием на рабочем месте определим по формуле

$$Q_{ч.к} = \alpha_{ч.к} (\tau_ч - t_b). \quad (8.18)$$

Температура на внешней поверхности одежды оператора определяется по формуле (2.87):

$$\tau_ч = t_b(x, y, z, \Theta) + \frac{\tau_к + t_b(x, y, z, \Theta)}{R_n \alpha_ч + 1} \times \\ \times \frac{L_{внут}}{L_{внут} + 2\pi\delta_n}, \quad (8.19)$$

где  $\tau_к$  — температура поверхности кожи человека, °C;  $R_n$  — сопротивление теплопередаче пакета одежды,  $m^2 \cdot ^\circ C$ ;  $\delta_n$  — толщина пакета одежды, м;  $L_{внут}$  — периметр рассматриваемой части тела, м.

Значение конвективного теплового потока с поверхности оператора подсчитывают по формуле

$$Q_{ч.к} = \frac{1}{\Theta} \sum_{i=1, n}^{n=5} 0,5 \operatorname{Re}_i^{0,5} \cdot \operatorname{Pr}_i^{0,36} \cdot \left( \frac{\operatorname{Pr}_i}{\operatorname{Pr}_0} \right)^{0,25} \frac{\lambda}{d} \times \\ \times \left( t_{\text{в}}(x, y, z, \Theta) + \frac{\tau_{\text{к}} + t_{\text{в}}(x, y, z, \Theta)}{R_{\text{п}} \alpha_{\text{чi}} + 1} \times \right. \\ \left. \times \frac{L_{\text{внут}}}{L_{\text{внут}} + 2\pi\delta_{\text{п}}} - t_{\text{в}}(x, y, z, \Theta) \right). \quad (8.20)$$

Значение  $t_{\text{в}}(x, y, z, \Theta)$  принимается по данным табл. 8.1.

В соответствии с формулой (8.20) определяют средневзвешенный конвективный поток оператора за весь цикл ВТО изделий:

$$Q_{ч.к} = \frac{1}{62} \left[ \int_0^{\tau_1} Q_1 d\Theta + \int_{\tau_1}^{\tau_2} Q_2 d\Theta + \int_{\tau_2}^{\tau_3} Q_3 d\Theta + \int_{\tau_3}^{\tau_4} Q_4 d\Theta + \int_{\tau_4}^{\tau_5} Q_5 d\Theta \right]. \quad (8.21)$$

#### 8.4.2. Лучистый теплообмен при формировании полочек пиджака

Для определения средневзвешенного теплового потока оператора необходимо определить значение лучистого теплового потока с учетом поверхностей оборудования, используемого для ВТО. Значение лучистого теплового потока между поверхностью оборудования и оператором определим по формуле (8.2).

В уравнении (8.2) угловой коэффициент облучения характеризует долю излучаемой энергии поверхностью оборудования, падающей на поверхность оператора. Он зависит от геометрического соотношения площадей поверхности человека и поверхности рабочих органов прессов, а также от их взаимного расположения. При этом за излучаемую поверхность тела человека примем в середине цилиндра прямоугольную плоскость  $L = 1,7$  м,  $\varnothing = 0,3$  м и  $F = 0,51$  м<sup>2</sup>, которая может находиться в различных местах плоскости пола помещения швейного цеха (разд. 2.3).

При технологическом формировании полочек пиджака в качестве модели примем разработанную теплофизическую модель

пресса, согласно которой для этапа цикла ВТО значение лучистого теплового потока, падающего на оператора от оборудования, можно определить по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
 Q_{ч.л} = & C'_{п.п.1-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.1} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_ч + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.1-ч} + \\
 & + C'_{п.п.2-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.2} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_ч + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.2-ч} + \\
 & + C'_{п.п.3-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.3} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_ч + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.3-ч} + \\
 & + C'_{п.п.4-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.4} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_ч + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.4-ч} + \\
 & + C'_{п.п.5-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.5} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_ч + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.5-ч}. \quad (8.22)
 \end{aligned}$$

В уравнении (8.22) угловой коэффициент облучения характеризует долю излучаемой  $i$ -й поверхностью оборудования энергии, падающей на поверхность тела человека. Он зависит от геометрических соотношений площади поверхности тела человека и площади поверхностей подушек пресса, а также от их взаимного расположения в пространстве.

## 8.5. Зона теплового комфорта и дискомфорта на технологическом потоке влажностно-тепловой обработки деталей одежды

**Пример 8.1.** На рабочих местах, где осуществляется ВТО изделий, оператор получает тепловое излучение от нагретых поверхностей подушек пресса и одновременно подвергается воздействию конвективной струи, возникновение которой обусловлено, в первую очередь, выбросом пара при пропаривании изделий на соответствующем этапе цикла ВТО.

Величина конвективно-лучистого теплового потока, теряемого или приобретаемого оператором на рабочем месте, определяется по формуле

$$Q_{ч.к.л} = \alpha_{ч.к} [\tau_{ч} - t_{в}(x, y, z, \Theta)] + \sum_i C'_{п.п.i-ч} \left[ \left( \frac{\tau_{п.п.i} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\tau_{ч} + 273}{100} \right)^4 \right] \Phi_{п.п.i-ч} \quad (8.23)$$

Теплофизические характеристики комплекта рабочей одежды оператора приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Теплофизические характеристики комплекта рабочей одежды

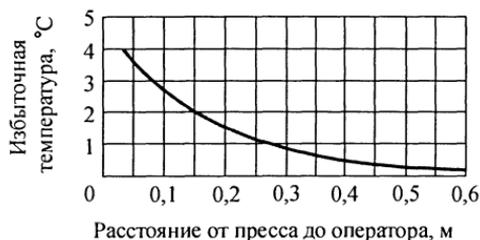
| Участок поверхности тела | Вид одежды                        | Толщина материала, мм | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С) | Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> °С/Вт |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|---|
| Туловище                 | Рубашка (блузка) хлопчатобумажная | 0,55                  | 0,041                                   | 0,013   |
|                          | Шелковая блузка                   | 0,3                   | 0,043                                   | 0,007   |
|                          | Фартук х/б                        | 0,67                  | 0,041                                   | 0,016   |
| Плечо и предплечье       | Рубашка (блузка) хлопчатобумажная | 0,55                  | 0,041                                   | 0,013   |
|                          | Шелковая блузка                   | 0,3                   | 0,041                                   | 0,007   |
| Бедро                    | Колготки капроновые               | 0,2                   | 0,04                                    | 0,005   |
|                          | Брюки (юбка) шерстяные            | 1,06                  | 0,038                                   | 0,028   |
|                          | Фартук х/б                        | 0,67                  | 0,041                                   |   |
| Голень                   | Колготки капроновые               | 0,2                   | 0,04                                    | 0,005   |
|                          | Брюки шерстяные                   | 1,06                  | 0,038                                   | 0,028   |

Рассмотрим условия конвективно-лучистого теплообмена около оборудования для ВТО изделий. Значение теплового потока, падающего от оборудования на оператора с учетом термических свойств пакета одежды, определяется по формуле (8.23).

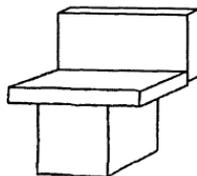
Проведем расчет зон теплового комфорта на рабочем месте оператора при ВТО. При определении границы зоны теплового дискомфорта плоскость пола разбивается на квадраты со стороной 0,1 м. Разбивка на квадраты начинается от проекции боковой поверхности нижней подушки пресса, обращенной в сторону оператора, и продолжается вправо и влево от нее, а также вглубь помещения швейного цеха с шагом 0,1 м. Последовательно для каждой точки квадратной сетки на плоскости пола опре-

деляется значение средневзвешенного конвективно-лучистого теплового потока оператора.

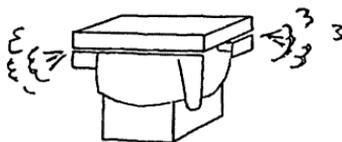
Для расчета конвективной составляющей теплового потока построены графики функции распределения температуры на различных этапах цикла ВТО для изделия из артикула ткани 2С56ВУ (давление пара ок. 0,4 МПа), которые представлены на рис. 8.13 и 8.14. Коэффициент теплообмена конвекцией у внеш-



а



б



в

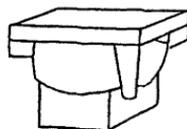
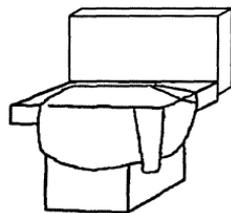


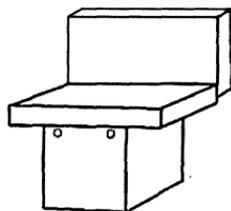
Рис. 8.13. Функции распределения избыточной температуры воздуха на рабочем месте оператора ВТО при давлении пара ок. 0,4 МПа:  
а — 1-й этап; б — 2-й этап; в — 3-й этап



а



б



**Рис. 8.14.** Функции распределения избыточной температуры воздуха на рабочем месте оператора ВТО при давлении пара ок. 0,4 МПа:  
а — 4-й этап; б — 5-й этап

ней поверхности пакета одежды оператора  $\alpha_{ч,к} = 3,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ . Оператор пресса одет в хлопчатобумажную рубашку и полушерстяные брюки. Проведенный расчет показал, что значение средней температуры внешней поверхности одежды человека и открытых участков кожи составляет  $\tau_{ч} = 28 \text{ °C}$ . Дальнейший расчет проведем для условий нахождения оператора в плоскости пола против середины пресса. По графикам, представленным на рис. 8.13 и 8.14, определим температуру окружающего воздуха в зависимости от расстояния до оператора от начала отсчета.

При конвективном теплообмене между оператором и прессом для ВТО изделий установлено, что избыточное тепло человек получает только в момент пропаривания, во время всех остальных этапов цикла ВТО человеческий организм отдает тепло в окружающую среду за счет конвективного теплообмена.

Рассмотрим процесс лучистого теплообмена между теплофизической моделью пресса и оператором. На первом этапе цикла ВТО изделия происходит процесс лучистого теплообмена со сле-

дующими характерными поверхностями подушек пресса (см. рис. 8.8):

- рабочая поверхность 1 верхней подушки вертикальная;
- боковые поверхности 4 кожуха верхней подушки вертикальные;
- рабочая поверхность 2 нижней горизонтальной подушки, на которую укладывается изделие 3, направлена вверх;
- боковые поверхности 5 кожуха нижней подушки вертикальные.

Для каждой из характерных поверхностей, расположенных в плоскости, параллельной плоскости тела человека, определяют угловые коэффициенты облученности.

Второй этап цикла ВТО характеризуется лучистым теплообменом со следующими характерными поверхностями (см. рис. 8.10):

- боковые поверхности 1 кожуха верхней подушки вертикальные;
- боковые поверхности 2 кожуха нижней подушки вертикальные.

При расчете углового коэффициента облученности эти две поверхности теплообмена можно рассматривать как одну с учетом того, что ее площадь увеличена в 2 раза.

Аналогичный расчет выполняют для третьего этапа цикла ВТО с теми же характерными поверхностями теплообмена.

Во время четвертого и пятого этапов цикла характерные поверхности аналогичны поверхностям на первом этапе цикла, поэтому и угловые коэффициенты облученности будут иметь те же значения. Необходимо учесть различные значения температур для этих поверхностей в течение различных этапов цикла ВТО в соответствии с табл. 8.3. Для инженерных расчетов теплообмена обычно принимают  $C_q = 4,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , а величину  $C_{п.п} = 4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  [15].

Из анализа полученных результатов расчета лучистого теплообмена между оператором и прессом для ВТО изделий следует, что наиболее дискомфортные тепловые условия работы наблюдаются, как и при теплообмене конвекцией, во время второго этапа цикла ВТО. Для уменьшения воздействия лучистого тепла на человека следует провести защиту временем, т. е. для оператора суммарная продолжительность его деятельности в течение рабочей смены не должна превышать 7 ч. Для защиты оператора от перегрева необходимо определить размеры зон теплового дис-

комфорта на его рабочем месте [32, 33] по величине конвективно-лучистого потока  $Q_{ч.к.л} = Q_{ч.к} + Q_{ч.п.л}$ .

По формуле (8.23) рассчитывают величину конвективно-лучистого теплового потока человека. По результатам расчета С. А. Лебедевым построены диаграммы для различных точек координатной сетки на плоскости пола (рис. 8.15).

Как видно на диаграммах, для обеспечения тепловых комфортных условий оператор должен находиться на расстоянии 0,5 м от пресса. Эти условия должны соблюдаться только во время выполнения второго этапа цикла ВТО. Во время выполнения остальных этапов зоне теплового комфорта соответствует расстояние от пресса 0,26 м. Поэтому для защиты оператора от поступления избыточной тепловой энергии установлены границы нахождения оператора в его рабочей зоне. При этом следует учитывать, что при непрерывной работе в течение 1 ч температура в рабочей зоне повышается на 2...3 °С. Это ухудшает тепловые условия и увеличивает размеры зоны теплового дискомфорта. В связи с этим необходимо применять защиту временем оператора — технологический перерыв. Установлено, что наибольшее количество теплоты выделяется во время второго и третьего этапов цикла ВТО (процессы пропаривания, прессования и пропаривания для снятия лас с изделия). Это объясняется тем, что во время этих этапов цикла ВТО происходит выброс струи перегретого пара в помещение цеха, который подается под давлением ок. 0,6 МПа.

Для обеспечения комфортного состояния суммарная продолжительность работы оператора в течение смены не должна превышать 7 ч. Во избежание общего перегревания необходимо регламентировать продолжительность периодов непрерывного облучения оператора и пауз между ними. На практике это соотношение на технологических потоках швейного производства обычно выполняется. ВТО производится маршрутными пачками изделий из 10—15 единиц. После обработки одной из пачек необходимо ее сдать дальше на поток и получить новую. При таком технологическом процессе собственное время работы пресса составляет примерно 75 % времени такта работы оператора.

Работа операторов на ВТО изделия (см. табл. 1.11) относится к IIa категории работ с уровнем энергозатрат от 175 до 232 Вт, что соответствует тепловому комфортному состоянию человека. Если их отнести к площади поверхности тела человека, то уровень энергозатрат изменяется от 94,5 до 125,4 Вт/м<sup>2</sup>. На конвективно-лучистый поток приходится 68 % общего уровня энергоза-

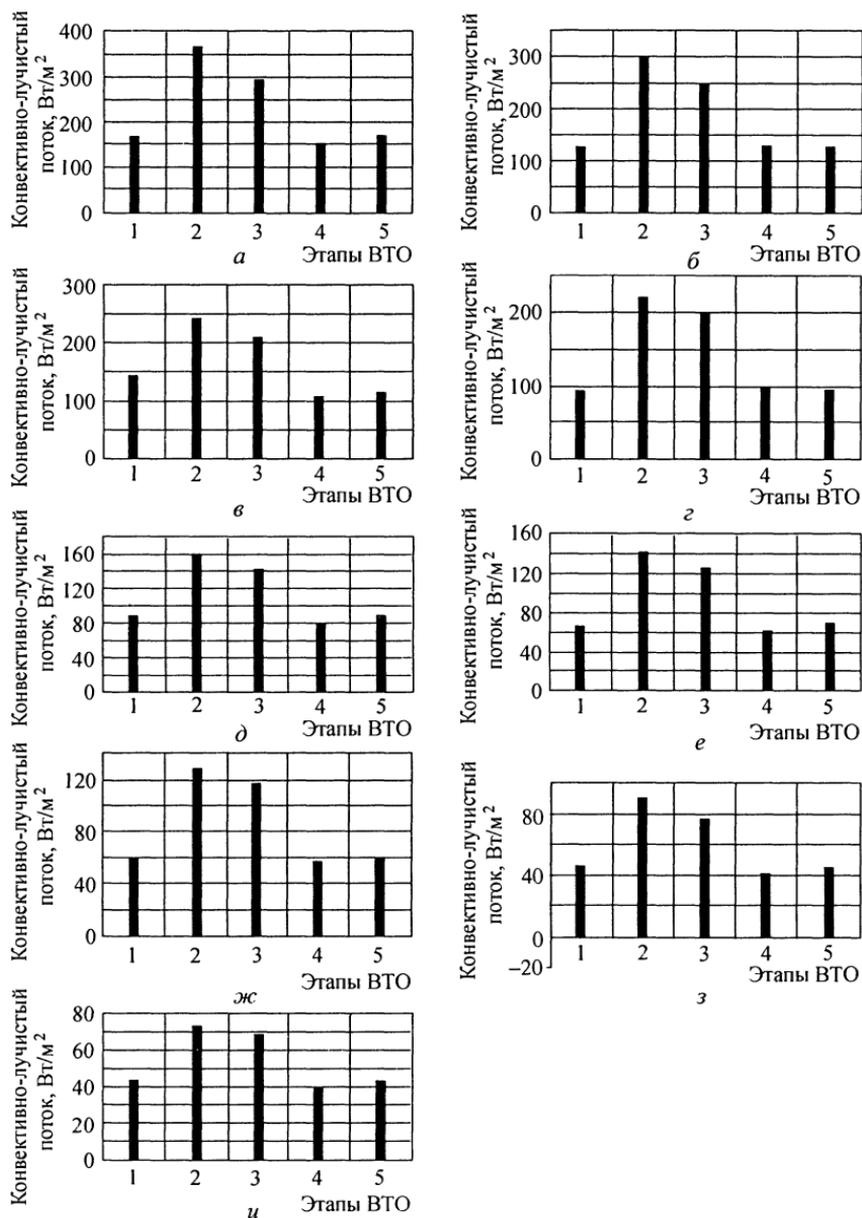


Рис. 8.15. Диаграммы распределения конвективно-лучистого теплового потока, падающего на оператора на расстоянии:

*a* — 0,05 м; *б* — 0,1 м; *в* — 0,15 м; *г* — 0,2 м; *д* — 0,25 м; *е* — 0,3 м; *ж* — 0,35 м; *з* — 0,4 м; *и* — 0,5 м

трат [34]. Следовательно, комфортному состоянию оператора на ВТО соответствует значение конвективно-лучистого потока от 64,2 до 85,2 Вт/м<sup>2</sup>. Как видно на диаграммах распределения средневзвешенного конвективно-лучистого теплоаого потока во время второго и третьего цикла (рис. 8.15, *a—d*) оператор находится в зоне теплового дискомфорта. Поэтому он во время второго и третьего цикла должен находиться на расстоянии 0,4...0,5 м от пресса (рис. 8.15, *e*). В этих условиях его работа будет протекать в зоне теплового комфорта. Отклонение от этих значений создают для оператора на рабочем месте условия теплового дискомфорта. В одном случае оператор будет находиться в условиях теплового охлаждения, в другом — теплового перегрева.

Таким образом, проведенный анализ теплового состояния оператора, выполненный с учетом пространственно-временной функции температуры при ВТО изделий, показал, что составляющая уровня конвективно-лучистого потока находится в пределах нормы.

## 9. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

---

---

### 9.1. Воздействие экологически вредных веществ на человека

Нормальная жизнедеятельность человеческого организма предопределяется состоянием окружающей среды. Ежедневно человек потребляет 2...3 кг пищи и 17...20 кг воздуха. При температуре внутреннего воздуха 20 °С и относительной влажности 60 % объемная масса вдыхаемого воздуха составляет 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Выдыхаемый человеком воздух имеет температуру в среднем 34...35 °С, относительную влажность около 90 % и объемную массу 1,15 кг/м<sup>3</sup>. Он легче воздуха в помещении и поднимается вверх.

Объем легочной вентиляции у различных людей может колебаться в значительных пределах. Расчет этой величины представляет определение трудности. А. И. Бекетов предложил для расчета легочной вентиляции, м<sup>3</sup>/ч, следующую эмпирическую формулу:

$$V_{\text{лег}} = \frac{Q}{(20,95 - n)\chi}, \quad (9.1)$$

где  $Q$  — уровень энергозатрат человека, Вт; 20,95 — содержание кислорода во вдыхаемом воздухе;  $n$  — содержание кислорода в выдыхаемом воздухе;  $\chi$  — калорический эквивалент 1 % кислорода, поглощенного из 1 дм<sup>3</sup> вдыхаемого воздуха, Дж/дм<sup>3</sup>.

Практически  $\chi = 196,7 \dots 231,5$ , в среднем  $\chi = 205,1$  Дж/дм<sup>3</sup>.

Как следует из формулы (9.1), объем количества воздуха, поступающего в легкие человека, зависит от уровня энергозатрат, что определяется категорией выполняемой работы.

Содержание в воздухе вредных веществ оказывает негативное влияние на самочувствие и здоровье человека. По характеру воздействия на его организм вредные пары и газы можно разделить на четыре основные группы:

- 1) удушающие (оксид углерода, синильная кислота и др.);
- 2) раздражающие (хлор, хлористый и фтористый водород, сернистый газ, сероводород и др.);
- 3) наркотические (бензин, бензол, сероуглерод, анилин, нитробензол и др.);
- 4) отравляющие (фосфор, ртуть, мышьяковые соединения, металлоорганические соединения и др.).

Остановимся на действии некоторых паров и газов, попадающих в легкие человека при его дыхании, и их влиянии на организм человека.

Оксид углерода (угарный газ) делает кровь неспособной переносить необходимое количество кислорода от легких к тканям. Начальная стадия отравления характеризуется тяжестью в голове, головокружением и чувством слабости, которое переходит затем в оцепенение. В дальнейшем наступает сонливость, полная потеря сознания. Оксид углерода особенно опасен тем, что не имеет ни цвета, ни запаха и не вызывает раздражающего действия. Таким образом, органы чувств не в состоянии определить наличие его в воздухе.

Хлор является сильным раздражающим газом, действующим как на верхние, так и на более глубокие дыхательные пути. Механизм действия точно не установлен. Чувствительность человека к хлору весьма различна. При хроническом воздействии незначительной концентрации его на человека отмечается преждевременное старение организма, зеленоватый цвет лица, болезни бронхов, предрасположение к туберкулезу и пр. При очень высоких концентрациях хлор может вызвать мгновенный летальный исход вследствие рефлекторной остановки сердца, вызываемой раздражением верхних дыхательных путей.

Сероводород раздражающе действует на все дыхательные пути и роговую оболочку глаз и одновременно является ядом, сильно действующим на нервную систему. Вследствие нарушения клеточного дыхания сероводород вызывает более или менее

глубокое оглушение, иногда потерю сознания, судороги, а при более высокой концентрации — летальный исход вследствие прекращения дыхания.

Сернистый газ (двуоксид серы) является раздражающим газом. Он действует преимущественно на верхние дыхательные пути, а при более сильных отравлениях — и на нижние. Наблюдаются отдельные случаи понижения чувствительности к газу при длительной работе. Однако это понижение ограничено все же известными пределами. Воздействие в течение долгого времени более высоких концентраций ведет к хроническим отравлениям.

Серная кислота раздражает и прижигает слизистые оболочки верхних дыхательных путей. При значительных концентрациях она вызывает тяжелые поражения бронхов и легких. Серная кислота обычно встречается в воздухе предприятий вместе с сернистым газом, поэтому почти все описанные явления относятся к совместному действию этих веществ. Токсические (могущие вызвать отравление) концентрации для человека определяются его индивидуальной восприимчивостью.

Бензин действует на организм как наркотическое вещество. При отравлении отмечаются разнообразные симптомы поражения нервной и сердечно-сосудистой системы, ослабление дыхания и пр. Острые отравления носят часто массовый характер, чаще страдают женщины. Хроническое отравление выражается у людей в различного рода функциональных нервных расстройствах (неврастения, истерия и др.).

Бензол при высоких концентрациях отражается главным образом на центральной нервной системе. При многократном воздействии низких концентраций влияет на кровь и кровеносные органы. Хроническое отравление может привести к летальному исходу.

Сероуглерод при высоких концентрациях оказывает наркотическое действие. При низких концентрациях и особенно при длительном воздействии сероуглерод является ядом, сильно действующим на нервную систему. Чаще всего он вызывает хроническое отравления. Это обусловлено воздействием малых концентраций на центральную нервную систему, причем может быть поражена любая ее часть, что нередко приводит к весьма тяжелым последствиям.

Оксиды азота раздражают дыхательные пути, вызывая кашель, а в тяжелых случаях — отек легких, что приводит к лета-

льному исходу. Первоначальное раздражение обычно проходит на свежем воздухе. Но очень часто обычно через 2...12 ч появляется слабость, озноб и повышение температуры (часто приписываемое простуде). При тяжелых отравлениях летальный исход наступает в 50 % случаев в течение первых суток.

Ртуть может вызывать отравления даже в самых незначительных концентрациях. Чаще всего причиной отравления является вдыхание паров металлической ртути (реже — паров солей или органических ртутных препаратов). Ртуть испаряется при комнатной температуре.

При остром отравлении токсическое действие ртути сказывается главным образом на пищеварительном канале и почках, при хроническом действии яда — на нервной системе. Острые отравления (вследствие вдыхания большого количества паров ртути) бывают сравнительно редко. Реакция на отравление ртутью очень различна; особенно большой чувствительностью обладают люди с больными почками. Острое отравление ртутью может, однако, вызвать значительные поражения нервной системы. Хроническое отравление обычно начинается с отложения ртути на слизистых оболочках рта (стоматит). Затем постепенно развивается расстройство пищеварения, малокровие, потеря веса. При этом наиболее типичными симптомами со стороны нервной системы являются раздражительность, нервность, сонливость, головные боли и пр. В тяжелых случаях хроническое отравление ртутью ведет к воздействию на умственную деятельность и память.

Табачный дым содержит капельки смолы и различные опасные химические вещества. Воздействие окружающего табачного дыма на некурящих называется «пассивным курением». Табачный дым раздражает нос, глаза и горло. Дети курящих родителей подвержены риску. Табачный дым оказывает особенно большое негативное воздействие на беременных. Рождающиеся дети имеют пониженный вес. Для людей с заболеванием органов дыхания, например, астмы табачный дым отрицательно влияет на здоровье. У некурящих людей, подверженных воздействию табачного дыма, повышаются опасности развития злокачественных новообразований в легких.

Одним из биологических факторов, влияющих на здоровье, человека является плесень. Она распространяется в помещении за счет выброса в воздух миллионов крошечных спор. Плесень образуется на внутренней поверхности сырых ограждающих

конструкций помещений, которые недостаточно вентилируются. Сырость на стенах и повышенная влажность воздуха в помещении способствуют появлению в большом количестве спор плесневых грибов. На сырых поверхностях плесень может быть зеленого, серого или черного цвета. При заражении плесневыми грибами больших поверхностей можно почувствовать ее неприятный специфический запах. Споры плесени, находящиеся в воздухе, могут вызвать у людей аллергические реакции, сходные с сенной лихорадкой или астмой.

Радон — встречающийся в природе радиоактивный газ без запаха и цвета. Источником радона служит уран (радий), небольшое количество которого имеется во всех почвах и породах. Радон в помещение поступает из грунтового основания здания через трещины основания пола по грунту, в стенах подвалов и межэтажных перекрытий, а также через щели вокруг системы отопления, канализации и водоснабжения. Долговременное воздействие радона повышает риск заболевания легких.

Формальдегид — бесцветный газ с резким запахом. Основным источником формальдегида в административных помещениях являются изделия из древесно-стружечных плит, которые используются в напольном покрытии, полках, шкафах и мебели. Со временем выделение формальдегида в виде газа уменьшается. Незначительные его концентрации вызывают раздражение глаз, носа и горла, а также кашель и повышенное слезоотделение.

Промышленная пыль образуется при механическом дроблении, размоле и просеивании твердых веществ, при очистке, заточке или шлифовании изделий. Если частицы пыли взвешены в воздухе (или газе), то их называют аэрозолями. В случаях, когда частицы находятся в осевшем состоянии, а масса газовой фазы мала (например, при скоплении пыли), их называют аэрогелями.

Крупные частички пыли быстро оседают. Мелкая и легкая хлопковая волокнистая пыль оседает очень медленно. При большой скорости движения воздуха пыль долго остается во взвешенном состоянии. Обычно в рабочем помещении во взвешенном состоянии преобладают частички пыли с размерами менее 10 мкм, которые наносят наибольший вред организму человека. Частицы же более крупного размера задерживаются на слизистой оболочке верхних дыхательных путей.

Действие пыли на организм человека зависит от ее состава. Тяжелые заболевания, так называемые пневмокониозы, возни-

кают при попадании пыли в легкие человека. Наиболее серьезным из них является силикоз, возникающий при попадании в легкие свободного оксида кремния  $\text{SiO}_2$  или кварца, а также частицы пыли асбеста, которые невооруженным глазом практически рассмотреть невозможно.

## **9.2. Выделения экологически вредных веществ в производственные помещения при технологических процессах**

На сервисных предприятиях в процессе их производственной деятельности выделяются вредные вещества. Остановимся на наиболее характерных газовых выделениях.

В цехах обувного, кожевенного и мехового производств выделяется аммиак — бесцветный газ с резким раздражающим запахом.

В процессе приготовления и использования отбеливающих растворов выделяется хлор — газ желтовато-зеленого цвета с резким удушливым запахом.

При крашении выделяется сернистый газ — бесцветный газ с едким запахом и кислым вкусом.

В процессах зольения, крашения, приготовления сернистых красителей, а также при производстве искусственного волокна, выделяется сероводород — бесцветный газ с неприятным запахом.

При приготовлении красителей и в процессе крашения выделяется оксиды азота — бесцветный газ или жидкость.

В красильном и красильно-печатном производствах используется анилин. Эта бесцветная маслянистая жидкость, испаряющаяся при комнатной температуре, весьма ядовита. Необходимо исключать всякую возможность попадания анилина на поверхность кожи человека, обеспечивать полную герметичность аппаратуры и механизацию процессов приготовления анилиновых растворов. Пары анилина в 3,2 раза тяжелее воздуха.

Оксид углерода является продуктом неполного сгорания и выделяется при обработке ткани на опаливающих машинах. Газ без запаха, бесцветный.

При производстве искусственного шелка в качестве растворителя жиров, серы, фосфора применяют сероуглерод — бес-

цветная маслянистая, легко воспламеняемая жидкость, имеющая температуру кипения 46 °С.

При черно-анилиновом крашении помимо паров анилина выделяется опаснейший яд — цианистый водород.

Пары растворителей — углеводороды ароматического происхождения. К числу распространенных растворителей относятся бензин, бензол, метиловый (древесный) спирт, ацетон, дихлорэтан, эфиры и т. д. Они обычно имеют температуру кипения ниже 100 °С и воздействуют на различные органы человека, в частности на нервную систему.

На сервисных предприятиях пыль образуется при сортировке, механической обработке и транспортировке различных материалов. Количество пыли в воздухе производственных цехов, ее состав и размеры зависят от вида перерабатываемого волокна, стадии технологического процесса, совершенства технологии производства и оборудования.

В цехах льнопрядильного производства (при сухом прядении льна) запыленность воздуха колеблется от 8 по 150 мг/м<sup>3</sup>, в цехах льноткацкого производства — 3,5...22 мг/м<sup>3</sup>.

На хлопчатобумажных предприятиях больше всего пыли в воздухе наблюдается в сортировочных и чесальных цехах — от 2 до 16 мг/м<sup>3</sup>. Запыленность воздуха в рабочей зоне прядильных и ткацких цехов в зависимости от вида оборудования колеблется от 2 до 8 мг/м<sup>3</sup>. По данным ВНИИОТ ВЦСПС (г. Иваново), основную массу (75...90 %) хлопковой и льняной пыли составляет частицы размером 4 мкм.

Пыль нетоксична, но из-за тонкой дисперсности она оказывает воздействие на органы дыхания, слизистую оболочку глаз, а также на кожу. Пыль является мелкодисперсной, имеет развитую суммарную поверхность пылевых частиц, способную окисляться с выделением теплоты. При определенных условиях процесс окисления может перейти в горение. Горение облегчается тем, что частицы и окислитель (кислород воздуха) перемешаны и составляют химически однородную систему. Горение таких систем носит характер взрыва. Он возможен при определенных массовых концентрациях аэрозолей, называемых концентрационными пределами воспламенения. Минимальные и максимальные концентрации аэрозолей, при которых они способны воспламеняться при наличии источника зажигания, называются нижними и верхними пределами воспламенения (НКПВ и ВКПВ).

Различают следующие классы аэрозолей по взрыво- и пожароопасности:

- наиболее взрывоопасные, НКПВ  $< 15 \text{ г/м}^3$ ;
- взрывоопасные, НКПВ  $16...65 \text{ г/м}^3$ ;
- наиболее пожароопасные, НКПВ  $> 65 \text{ г/м}^3$ , температура самовоспламенения до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- пожароопасные с температурой самовоспламенения выше  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Наибольшей взрывоопасностью обладает льняная пыль. Интенсификация производства вызывает повышенное выделение пыли при переработке льняного сырья и полуфабрикатов. Исследованиями, проведенными в ЦНИИЛВ для различных составов льняной, пеньковой и джутовой пыли, установлено, что в зависимости от влажности НКПВ =  $25...50 \text{ г/м}^3$ . В соответствии с приведенной классификацией льняная пыль относится ко 2 классу взрыво- и пожароопасности.

Для обувных предприятий характерно значительное выделение вредных паров растворителей, в основном оксида углерода при нанесении клея на детали обуви при фрезеровании и шлифовании элементов обуви в процессе вулканизации. В раскройном цехе преобладают избытки пыли и теплоты. Органическая пыль поступает в воздух помещения при раскрое текстильных материалов. В швейном цехе в воздух помещения поступает органическая пыль, образующаяся при механической обработке деталей обуви (фрезерование, срезание краев, шлифование), пары растворителей, выделяющиеся при намазке деталей клеями, оксид углерода при операции фрезерования и стекления деталей из резины или искусственной кожи и при вулканизации.

Цехам швейного производства характерны вредные выделения в виде избытков теплоты и влаги, токсических газов и пыли. В ватных цехах основным видом вредных выделений является пыль, образующаяся в процессе настила ваты. Швейные цеха являются источником выделения теплоты, влаги и частично токсичных газов. Источниками тепло- и влаговыделения в швейных цехах являются швейные машины, оборудование для термической обработки заготовок и изделий (паровые и электрические прессы, электроутюги, паровоздушные манекены). При изготовлении одежды клеевым способом в момент открытия крышек клеевых прессов, после склеивания швов в помещении могут поступать токсичные выделения продуктов разложения клеев.

Вредные выделения от технологических процессов некоторых производств приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1. Технологические процессы и вредные выделения

| № п/п | Производство                                     | Вредные выделения  |
|-------|--|--|
| 1     | Нетканые материалы                               | Теплота, пыль, пух   |
| 2     | Вязально-швейные трикотажные фабрики             | Теплота, пыль, пух   |
| 3     | Отделочные трикотажные и текстильные предприятия | Теплота, влага, токсичные пары и газы (оксид углерода, хлор, сернистый газ, сероводород, оксид азота, анилин, цианистый водород и др.)                                     |
| 4     | Швейное  | Теплота, влага, пыль (текстильная)   |
| 5     | Обувное  | Теплота, влага, пыль (текстильная, кожаная, резиновая, абразивная), токсичные пары и газы (бензин, ацетон, амилацетат, этиловый спирт, аммиак, дихлорэтан, серная кислота) |
| 6     | Кожевенное                                       | Теплота, влага, пыль (кожаная, сажа, известковая), пары и газы (аммиак, сероводород, серная кислота, серный ангидрид, спирты, эфиры)                                       |
| 7     | Меховое  | Теплота, влага, пыль (минеральная и животного происхождения), пары и газы (аммиак, формальдегид, серный ангидрид, сероводород)   |

### 9.3. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредных веществ в воздушной среде производственных помещений

Повышенное содержание в воздухе аэрозолей различных видов пыли оказывает негативное влияние на организм человека, в частности, фиброгенное, аллергическое, токсическое и раздражительное. В прил. П18 приведены вещества, вызывающие острое отравление, в прил. П19 — вещества раздражительного действия, в табл. 9.2 — производственные процессы, представляющие опасность развития злокачественных заболеваний.

Гигиенические критерии условия труда подразделяют на четыре класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные [35].

*Оптимальные условия труда* (1-й класс) — условия, при которых сохраняется здоровье работающих и создаются предпосылки

**Таблица 9.2. Производственные процессы, представляющие опасность развития злокачественных новообразований у рабочих**

| Производства   | Вещества для контроля воздуха | ПДК, мг/м <sup>3</sup> |
|--|-------------------------------|------------------------|
| Деревообрабатывающее и мебельное производство — процессы с применением: фенолформальдегидных смол; карбамид-формальдегидных смол   | Древесная пыль                | 6                      |
|  | Формальдегид                  | 0,05                   |
|  | Фенол                         | 0,1                    |
|  | Древесная пыль                | 6                      |
|  | Формальдегид                  | 0,5                    |
| Производство изопропилового спирта сильноокислотным процессом  | Серная кислота                | 1                      |
| Производство резины и резинотехнических изделий:<br>подготовительное отделение;<br><br>отделение вулканизации;<br>изготовление обуви из поливинилхлорида;<br><br>прессование обуви с вулканизацией | Сажи черные                   | 4                      |
|  | Бенз(а)пирен                  | 0,00015                |
|  | Вулканизационные газы         | 0,5                    |
|  | Винила хлорид                 | 5/1                    |
|  | Акрилонитрил                  | 0,5                    |
|  | Бенз(а)пирен                  | 0,00015                |
| Вулканизационные газы  | 0,5                           |                        |
| Производство технического углерода   | Сажи черные                   | 4                      |
|  | Бенз(а)пирен                  | 0,00015                |

для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы производственных факторов установлены для микроклиматических параметров и факторов трудового процесса. Для других факторов условно за оптимальные принимаются такие условия труда, при которых неблагоприятные факторы отсутствуют либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

*Допустимые условия труда* (2-й класс) характеризуются уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены. Они не должны оказывать неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работающих и их потомство. Допустимые условия труда условно относятся к безопасным.

*Вредные условия труда* (3-й класс) характеризуются наличием вредных производственных факторов, превышающих гигиениче-

ские нормативы и оказывающих неблагоприятное действие на организм работающего или его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов выражаются в изменении организма работающих. Их подразделяют на 4 степени вредности:

1-я степень 3-го класса (3.1) — условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) перерыве контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2-я степень 3-го класса (3.2) — уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости (что проявляется повышением уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, в первую очередь, теми болезнями, которые отражают состояние наиболее уязвимых органов и систем для данных вредных факторов), появлению начальных признаков или легких (без потери профессиональной трудоспособности) форм профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3-я степень 3-го класса (3.3) — условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, воздействие которых приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, росту хронической (производственно-обусловленной) патологии, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

4-я степень 3-го класса (3.4) — условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (потерей общей трудоспособности), отмечается значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

*Опасные (экстремальные) условия труда* (4-й класс) характеризуются уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в том числе и тяжелых форм.

### 9.3.1. Влияние загазованности производственных помещений на условия труда [35]

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности по уровню химического фактора осуществляется согласно табл. 9.3.

Таблица 9.3. Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ химической природы (превышение ПДК, раз) [35]

| Вредные вещества  | Класс условий труда |         |          |          |           |         |
|---|---------------------|---------|----------|----------|-----------|---------|
|   | Допустимый          | Вредный |          |          |           | Опасный |
|   |                     | 2       | 3,1      | 3,2      | 3,3       |         |
| 1—2 класса опасности, за исключением перечисленных ниже   | ≤ПДК                | 1,1—3,0 | 3,1—6,0  | 6,1—10,0 | 10,1—20,0 | >20,0   |
| 3—4 класса опасности, за исключением перечисленных ниже   | ≤ПДК                | 1,1—3,0 | 3,1—10,0 | >10      | —         | —       |
| Вещества, опасные для развития острого отравления с остронаправленным механизмом действия, раздражающего действия | ≤ПДК                | 1,1—2,0 | 2,1—4,0  | 4,1—6,0  | 6,1—10,0  | >10,0   |
| Канцерогены   | ≤ПДК                | 1,1—3,0 | 3,1—6,0  | 6,1—10,0 | >10,0     | —       |
| Аллергены   | ≤ПДК                |         | 1,1—3,0  | 3,1—10,0 | >10,0     | —       |

*Примечание.* Для веществ, ПДК которых представлены одним максимальным значением, рекомендуется определение среднесменной концентрации (за исключением раздражающих веществ и веществ с остронаправленным механизмом действия). Значение фактической как максимальной, так и среднесменной концентрации вещества в воздухе рабочей зоны не должна превышать установленную для него ПДК. Такой подход особенно важен в тех случаях, когда работающий подвергается воздействию вредного вещества часть смены.

Степень вредности условий труда устанавливается по максимальным концентрациям вредных веществ, а при наличии соответствующего норматива и по среднесменным величинам «Методики контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

При одновременном присутствии в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия с эффектом суммации исходят из расчета суммы отношений фактических концентраций каждого из них к их ПДК, которая не должна превышать единицу, соответствующую допустимым условиям труда:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1, \quad (9.2)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — фактические концентрации веществ в воздухе рабочей зоны,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — предельно-допустимая концентрация тех же веществ в воздухе рабочей зоны,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

При эффекте потенцирования комбинации вредных веществ в воздухе рабочей зоны сумма отношений измеренных концентраций к их ПДК не должна превышать установленного для этих комбинаций коэффициента.

При комбинациях оксидов азота и оксида углерода следует пользоваться формулой

$$\frac{C_{\text{NO}_2}}{3\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} + \frac{C_{\text{CO}}}{1,5\text{ПДК}_{\text{CO}}} \leq 1. \quad (9.3)$$

Здесь  $C_{\text{NO}_2}, C_{\text{CO}}$  — фактические концентрации веществ в воздухе рабочей зоны;  $\text{ПДК}_{\text{NO}_2}, \text{ПДК}_{\text{CO}}$  — ПДК тех же веществ в воздухе рабочей зоны.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны двух и более вредных веществ разнонаправленного действия класс вредности условий труда по химическому фактору устанавливается следующим образом:

- по веществу, концентрация которого соответствует наиболее высокому классу и степени вредности;
- присутствие любого числа веществ, уровни которых соответствуют классу 3.1, не увеличивает степень вредности условий труда;
- три и более веществ с уровнями класса 3.2 переводят условия труда в следующую степень вредности 3.3;
- два и более вредных веществ класса 3.3 переводят условия труда в класс 3.4. Аналогичным образом осуществляется перевод из класса 3.4 в 4-й класс — опасные условия труда.

Если одно вещество имеет несколько специфических эффектов (канцероген, аллерген и др.), оценка условий труда проводится по более высокой степени вредности.

При работе с веществами, проникающими через кожные покровы и имеющими соответствующий норматив — ПДУ (согласно ГН 2.2.5.563—96 «Предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения кожных вредными веществами»), класс условий труда устанавливают в соответствии с табл. 9.3.

### 9.3.2. Влияние аэрозолей преимущественно фиброгенного действия на условия труда

Класс условий труда и степень вредности при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД) определяют исходя из фактических значений среднесменных концентраций АПФД и кратности превышения среднесменных ПДК (табл. 9.4).

Таблица 9.4. Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) и пылевых нагрузок на органы дыхания (кратность превышения ПДК и КПН) [35]

| Показатель  | Класс условий труда |         |         |          |       |                         |
|---|---------------------|---------|---------|----------|-------|-------------------------|
|   | Допустимый          | Вредный |         |          |       | Опасный (экстремальный) |
|   |                     | 2       | 3.1     | 3.2      | 3.3   |                         |
| Превышение ПДК, раз   |                     |         |         |          |       |                         |
| Концентрация пыли   | ≤ПДК                | 1,1—2,0 | 2,1—5,0 | 5,1—10,0 | >10,0 |                         |
| Превышение КПН, раз   |                     |         |         |          |       |                         |
| Пылевая нагрузка (ПН)   | ≤КПН                | 1,1—2,0 | 2,1—5,0 | 5,1—10,0 | >10,0 |                         |
| Пылевая нагрузка для пылей с выраженным фиброгенным действием (ПДК ≤1 мг/м <sup>3</sup> ), а также для асбесто содержащих пылей | ≤КПН                | 1,1—1,5 | 1,6—3,0 | 3,1—5,0  | >5,0  |                         |

Дополнительным показателем оценки степени воздействия АПФД на органы дыхания работающих является пылевая на-

грузка за весь период реального или предполагаемого контакта с фактором. В случае превышения среднесменной ПДК фиброгенной пыли расчет пылевой нагрузки обязателен.

Пылевая нагрузка (ПН) на органы дыхания работающего — это реальная величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую рабочий вдыхает за весь период фактического или предполагаемого профессионального контакта с пылью.

ПН на органы дыхания рабочего (или группы рабочих, если они выполняют аналогичную работу в одинаковых условиях) рассчитывается исходя из фактических среднесменных концентраций АПФД в воздухе рабочей зоны, объема легочной вентиляции (зависящего от тяжести труда) и продолжительности контакта с пылью:

$$\text{ПН} = K_{\text{кон.п}} N_{\text{см}} T_{\text{конт}} V_{\text{лег}}, \quad (9.4)$$

где  $K_{\text{кон.п}}$  — фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м<sup>3</sup>;  $N_{\text{см}}$  — число рабочих смен в календарном году;  $T_{\text{конт}}$  — число лет контакта с АПФД;  $V_{\text{лег}}$  — объем легочной вентиляции за смену, м<sup>3</sup>.

*Примечание.* Рекомендуется использование следующих усредненных величин объемов легочной вентиляции, которые зависят от уравнения энергозатрат и категорий работ:

- для работ категории Ia—Iб объем легочной вентиляции за смену — 4 м<sup>3</sup>;
- для работ категории IIa — IIб — 7 м<sup>3</sup>;
- для работ категории III — 10 м<sup>3</sup>.

Полученные значения фактической ПН сравнивают с величиной контрольной пылевой нагрузки, значение которой рассчитывают в зависимости от фактического или предполагаемого стажа работы, предельно-допустимой концентрации (ПДК) пыли и категории работ.

Контрольный уровень пылевой нагрузки (КПН) — это пылевая нагрузка, сформировавшаяся при условии соблюдения среднесменной ПДК пыли в течение всего периода профессионального контакта с фактором:

$$\text{КПН} = \text{ПДК} N_{\text{см}} T_{\text{конт}} V_{\text{лег}}, \quad (9.5)$$

где ПДК — средняя ПДК пыли в зоне дыхания работника, мг/м<sup>3</sup>.

При соответствии фактической пылевой нагрузки контрольному уровню труда ПН относится к допустимому классу и

подтверждается безопасность продолжения работы в тех же условиях.

Кратность превышения контрольных пылевых нагрузок указывает на класс вредности условий труда по данному фактору (см. табл. 9.4).

**Пример 9.1.** Рабочий трудился в контакте с асбестосодержащей пылью (содержание асбеста по массе более 20 %). ПДК<sub>сс</sub> пыли — 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Общий стаж работы — 15 лет. Первые 5 лет фактическая среднесменная концентрация пыли ССК составляла 10 мг/м<sup>3</sup>, категория работ — Па (объем легочной вентиляции — 10 м<sup>3</sup> в смену). Следующие 6 лет фактическая ССК была равна 3 мг/м<sup>3</sup>, категория работ — Па (объем легочной вентиляции за смену — 7 м<sup>3</sup>) и последние 4 года ССК составляла 0,9 мг/м<sup>3</sup>, категория работ — Па. Среднее число рабочих смен в году — 248.

Определить: ПН, КПН, класс условий труда, контрольную пылевую нагрузку за период 25-летнего контакта с фактором (КПН<sub>25</sub>) и допустимый стаж работы.

1. Определим фактическую пылевую нагрузку за все периоды работы:

$$\text{ПН} = (K_{\text{кон.п1}} N_{1\text{см}} T_{1\text{конт}} V_{\text{лег1}}) + (K_{\text{кон.п2}} N_{1\text{см}} T_{2\text{конт}} V_{\text{лег2}}) + \\ + (K_{\text{кон.п3}} N_{3\text{см}} T_{3\text{конт}} V_{\text{лег3}}),$$

где  $K_{\text{кон.п1}}$ ,  $K_{\text{кон.п2}}$ ,  $K_{\text{кон.п3}}$  — среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника за разные периоды времени, мг/м<sup>3</sup>;  $T_{1\text{конт}}$  —  $T_{3\text{конт}}$  — количество лет контакта с АПФД при постоянной ССК пыли;  $V_{\text{лег1}}$ ,  $V_{\text{лег2}}$ ,  $V_{\text{лег3}}$  — объем легочной вентиляции за смену, м<sup>3</sup>.

Соответственно:

$$\text{ПН} = (10 \cdot 248 \cdot 5 \cdot 10) + (3 \cdot 248 \cdot 6 \cdot 7) + (0,9 \cdot 248 \cdot 4 \cdot 7) = \\ = 124\,000 + 31\,248 + 6249 = 161\,498 \text{ мг.}$$

2. Рассчитаем КПН за тот же период:

$$\text{КПН} = (\text{ПДК}_{\text{сс}} N_{1\text{см}} T_{1\text{конт}} V_{\text{лег1}}) + (\text{ПДК}_{\text{сс}} N_{2\text{см}} T_{2\text{конт}} V_{\text{лег2}}) + \\ + (\text{ПДК}_{\text{сс}} N_{3\text{см}} T_{3\text{конт}} V_{\text{лег3}}),$$

где ПДК<sub>сс</sub> — среднесменная концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>.

Соответственно:

$$\begin{aligned} \text{КПН} &= (0,5 \cdot 248 \cdot 6 \cdot 10) + (0,5 \cdot 248 \cdot 6 \cdot 7) + (0,5 \cdot 248 \cdot 4 \cdot 7) = \\ &= 7440 \text{ мг} + 5208 \text{ мг} + 3472 \text{ мг} = 16\,120 \text{ мг}. \end{aligned}$$

3. Определим величину превышения КПН:

$$\text{ПН/КПН} = 161\,498 / 16\,120 = 10.$$

Таким образом, фактическая ПН превышает КПН за тот же период работы в 10 раз. Соответственно класс условий труда — вредный, 3.4. В данном случае рекомендуется принятие мер по выведению рабочего из контакта с асбестосодержащей пылью.

#### 9.4. Воздухообмен в помещениях сервисных предприятий

Уменьшение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений до предельно-допустимых регламентируется гигиеническими требованиями. Обычно эти условия достигаются технологическими мероприятиями по снижению выделений вредных веществ и устройством местных отсосов. Вредные вещества, находящиеся в помещении, удаляются системой общеобменной вентиляции. Повышенный воздухообмен приводит к возрастанию подвижности воздуха в рабочей зоне, турбулентному переносу вредных веществ в производственных помещениях. Поэтому интенсивность воздухообмена должна определяться количеством воздуха, необходимым для обеспечения нормального микроклимата. Это количество воздуха можно определить по ниже приведенным формулам:

- при удалении газовыделений

$$L = \frac{M}{B_{yx} - B_n}; \quad (9.6)$$

- при удалении влаговыведений

$$L = \frac{W_{вл}}{\rho(d_{yx} - d_n)}; \quad (9.7)$$

- при удалении тепловыделений

$$L_Q = \frac{Q}{c\rho(t_{yx} - t_n)} \quad (9.8)$$

или

$$L_Q = \frac{Q}{\rho(i_{yx} - i_n)}; \quad (9.9)$$

- при кратности воздухообмена

$$K_p = \frac{L}{V}, \quad (9.10)$$

где  $L$  — необходимый воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч;  $M$  — газовыделение в помещении, г/ч, л/ч;  $B_{yx}$  — предельное содержание газа в удаляемом воздухе, г/м<sup>3</sup>, л/м<sup>3</sup>;  $B_n$  — содержание газа в наружном воздухе, г/м<sup>3</sup>, л/м<sup>3</sup>;  $W_{вл}$  — влаговыделение в помещении, г/ч;  $d_{yx}$  — влагосодержание уходящего воздуха, г/кг;  $d_n$  — влагосодержание приточного воздуха, г/кг;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  — выделение явной теплоты, Вт;  $c$  — теплоемкость воздуха, Вт/(кг · °С);  $t_{yx}$  — температура уходящего воздуха, °С;  $t_n$  — температура приточного наружного воздуха, °С;  $i_{yx}$  — энтальпия уходящего воздуха, кДж/кг;  $i_n$  — энтальпия приточного воздуха, кДж/кг;  $V_{пом}$  — объем помещения, м<sup>3</sup>;  $K_p$  — кратность воздухообмена, 1/ч.

#### **9.4.1. Нормируемые температуры воздуха и воздухообмен в помещениях предприятий сервиса**

Для помещений предприятий бытового обслуживания населения, гостиниц, общественного питания, административных, банковских учреждений и жилых зданий в соответствии со Строительными нормами и правилами и Московскими городскими строительными нормами приводятся нормативные значения температуры воздуха и кратности воздухообмена, а также количество удаляемого из них воздуха, которые представлены в табл. 9.5.

При определении кратности воздухообмена и количества удаляемых тепловыделений, влаговыделений и газовыделений для различных помещений, рассматриваемых в табл. 9.5, следует использовать методы расчета, которые приведены в гл. 7.

Таблица 9.5. Нормативные параметры температуры и воздухообмена

| № п/п  | Помещения   | Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С | Кратность воздухообмена, 1/ч, или количество удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч |         |
|--|---|--|--|---------|
|  |   |  | Приток   | Вытяжка |
| <i>Предприятия бытового обслуживания населения</i> |   |  |  |         |
| 1  | Изготовление и ремонт одежды, головных уборов, трикотажных изделий              | 18   | По расчету (гл. 7)   |         |
| 2  | Скорняжная работа   | 18   | 2  |         |
| 3  | Ремонт металлоизделий, бытовых машин, часов, фотоаппаратуры, переплетная работа | 18   | 2  | 3       |
| 4  | Ремонт изделий из пластмасс, ювелирные и граверные работы                       | 18   | 1  | 2       |
| 5  | Ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры                                      | 18   | 4  | 5       |
| 6  | Прачечная самообслуживания  | 16   | 1  | 1       |
| 7  | Студия звукозаписи (зал звукозаписи, аппаратная, кабинет пере-записи)           | 18   | 2  | 2       |
| 8  | Демонстрационный зал  | 18   | 22 (но не менее 20 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.)                                    |         |
| 9  | Парикмахерская с нормируемой площадью, м <sup>2</sup> :                         |  |  |         |
|  | до 50   | 18   | —  | 1       |
|  | от 51 до 100  | 18   | 1  | 2       |
|  | 101 и более   | 18   | 2  | 3       |
| 10   | Фотография  | 18   | 1  | 2       |
| 11   | Прокат предметов домашнего обихода и культурно-бытового назначения              | 18   | 1  | 2       |
| 12   | Бюро обслуживания   | 18   | 1  | 2       |

Продолжение табл. 9.5

| № п/п                                    | Помещения  | Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С | Кратность воздухообмена, 1/ч, или количество удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч |         |
|--|--|--|--|---------|
|  |  |  | Приток   | Вытяжка |
| 13                                       | Помещения приема белья в стирку  | 16   | 1  | 2       |
| 14                                       | Помещения выдачи белья   | 16   | 1  | 1       |
| <i>Предприятия общественного питания</i> |  |  |  |         |
| 15                                       | Цехи: доготовочный мясной, птицегаульевой, рыбный, обработки зелени и овощей, холодной закуски | 18   | 3  | 4       |
| 16                                       | Помещения подготовки яиц   | 18   | 3  | 5       |
| 17                                       | Помещения для резки хлеба, подготовки мороженого, подсобные                                    | 18   | 1  | 1       |
| 18                                       | Помещения для мучных изделий, отделка кондитерских изделий                                     | 18   | 1  | 2       |
| 19                                       | Моечные столовой и кухонной посуды   | 18   | 4  | 6       |
| 20                                       | Кладовая овощей, солений   | 5  | —  | 2       |
| 21                                       | Кладовые сухих продуктов, вино-водочных изделий  | 12   | —  | 1       |
| <i>Гостиницы</i>                         |  |  |  |         |
| 22                                       | Для жилых номеров следует принимать:   |  |  |         |
|  | Категории *****  | 20   | 70 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел  | —       |
|  | Категории ****   | 20   | 60 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел  | —       |

Продолжение табл. 9.5

| № п/п   | Помещения                                       | Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С | Кратность воздухообмена, 1/ч, или количество удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч           |         |
|---|---|--|--|---------|
|   |   |  | Приток   | Вытяжка |
|   | Категории ***                                   | 20   | 40 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел  | —       |
|   | Категории **                                    | 20   | 30 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел  | —       |
| <i>Общественные здания административного назначения</i> |   |  |  |         |
| 23  | Офисы, помещения сотрудников учреждения         | Табл 1.13 или 1.14                                       | 20 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел. или 4 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> площади помещения | —       |
| 24  | Кабинеты  | Табл 1.13 или 1.14                                       | 3 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> площади помещения                                    | —       |
| 25  | Конференц-залы, залы совещаний                  | Табл 1.13 или 1.14                                       | 20 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.   | —       |
| 26  | Помещения для отдыха                            | 20   | 2 (но не менее 30 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.)   | 3       |
| <i>Банковские учреждения</i>                            |   |  |  |         |
| 27  | Операционные и кассовые залы                    | 18   | Не менее 2   |         |
| 28  | Общие рабочие комнаты, касса пересчета монет    | 18   | 2 2 (но не менее 30 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел)  |         |
| 29  | Помещения для совещаний и переговоров           | 18   | 3  | 3       |
| 30  | Касса пересчета банкнот                         | 18   | 3  | 3       |
| 31  | Помещение связи (телефайпная), ксерокопирования | 18   | 2,5  | 2,5     |
| 32  | Кабинеты и приемные                             | 18   | 1,5  | 1,5     |

Окончание табл. 9.5

| № п/п               | Помещения   | Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С | Кратность воздухообмена, 1/ч, или количество удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч |   |
|---------------------|---|--|--|---|
|                     |   |  | Приток   | Вытяжка   |
| 33                  | Кладовые ценностей и предкладовые                                     | 16   | 3  | 3   |
| <i>Жилые здания</i> |   |  |  |   |
| 34                  | Общая комната (гостиная), спальня, жилая комната общежития            | 20   | Не менее 30 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.  | —   |
| 35                  | Кухни квартиры и общежития:<br>с электроплитами<br>с газовыми плитами | 16<br>16   |  | Не менее 60 м <sup>3</sup> /ч<br>Не менее 60 м <sup>3</sup> /ч при 2-конфорочных плитах;<br>не менее 75 м <sup>3</sup> /ч при 3-конфорочных плитах;<br>не менее 90 м <sup>3</sup> /ч при 4-конфорочных плитах |
| 36                  | Совмещенный санузел   | 25   | —  | 50 м <sup>3</sup> /ч  |
| 37                  | Гладильная, сушильная в общежитии                                     | 15   | Не менее 2   | 3   |
| 38                  | Тренажерный зал   | 16   | —  | 80 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.  |
| 39                  | Бильярдная  | 18   | —  | 0,5   |
| 40                  | Библиотека, кабинет   | 20   | —  | 0,5   |

**Пример 9.2.** Определим кратность и воздухообмен воздуха, необходимого для удаления влаги в помещении для отдыха объемом  $V = 170 \text{ м}^3$ , в котором находится 12 чел. В помещении температура воздуха  $t_b = 20 \text{ °С}$  и относительная влажность воздуха  $\phi_b = 60 \text{ \%}$ . Наружная температура воздуха  $t_n = -10 \text{ °С}$  и относительная влажность воздуха  $\phi_n = 90 \text{ \%}$ . Плотность воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

В состоянии покоя человека влаговыделения согласно табл. 1.12 равны 40 г/ч и на 12 чел. это соответственно составля-

ет  $12 \times 40 = 480$  г/ч. В помещении имеются увлажнительные установки и зелень, и влаговыделения от них составят 2600 г/ч. Общие влаговыделения  $W_{\text{вл}} = 480 + 2600 = 3080$  г/ч.

По диаграмме  $I-d$  (гл. 7) определим влагосодержание внутреннего и наружного воздуха. Так, при  $t_{\text{н}} = 20$  °С и  $\varphi_{\text{в}} = 60$  % влагосодержание равно  $d_{\text{yx}} = 8,7$  г/кг и при  $t_{\text{н}} = -10$  °С и  $\varphi_{\text{н}} = 90$  % соответственно  $d_{\text{н}} = 1,7$  г/кг. По формуле (9.7) найдем воздухообмен в помещении:

$$L = \frac{W_{\text{вл}} \cdot 1000}{\rho(d_{\text{yx}} - d_{\text{н}})} = \frac{3,08 \cdot 1000}{1,2(8,7 - 2,7)} = 366,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена  $K_{\text{р}}$  определим по формуле (9.10)

$$K_{\text{р}} = L : V = 366,6 : 170 = 2,15 \text{ 1/ч}.$$

Таким образом, воздухообмен в помещении, предназначенном для отдыха, составляет  $L = 366,6$  м<sup>3</sup>/ч и на одного человека приходится 30,5 м<sup>3</sup>/ч. Кратность воздухообмена  $K_{\text{р}} = 2,15$  1/ч.

Полученные значения удовлетворяют нормативным требованиям, приведенным в табл. 9.5, для помещений, предназначенных для отдыха.

В процессе деятельности человека вместе с потерей теплоты и влаги у него происходит выделение углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Так, в состоянии покоя человек выделяет 16 л углекислого газа в час, при работе в офисном учреждении — 20 л/ч и при выполнении тяжелой физической работы — 45 л/ч.

**Пример 9.3.** Определим кратность воздухообмена и требуемое количество воздуха, необходимое для удаления углекислого газа  $\text{CO}_2$  из помещения офисного учреждения. Площадь помещения 36 м<sup>2</sup>, в нем работает 8 сотрудников. Высота помещения 2,5 м. Объем помещения  $V = 2,5 \times 36 = 90$  м<sup>3</sup>.

Концентрация углекислого газа в наружном воздухе  $B_{\text{н}} = 0,4$  л/м<sup>3</sup> и в воздухе помещения  $B_{\text{yx}} = 1,2$  л/м<sup>3</sup>.

Если один человек выделяет 20 л/ч, то 8 сотрудников —  $M = 8 \times 20 = 160$  л/ч.

По формуле (9.6) определим величину воздухообмена:

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{M}{B_{\text{yx}} - B_{\text{н}}} = \frac{160}{1,2 - 0,4} = 200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена определяем по формуле (9.10)

$$K_p = L : V = 200 : 90 = 2,21 \text{ 1/ч.}$$

Как видно, величина воздухообмена отвечает нормативным требованиям для данного помещения (табл. 9.5), поскольку на человека приходится  $200 : 8 = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Это незначительно выше нормируемой величины  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Таким образом, полученные величины по удалению углекислого газа и кратности воздухообмена для офисного помещения удовлетворяют нормативным требованиям, приведенным в табл. 9.5.

В помещениях для эксплуатации персональных электронно-вычислительных машин площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с видеодисплейным терминалом (ВДТ) на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$ , в помещениях культурно-развлекательных учреждений с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллических и плазменных) —  $4,5 \text{ м}^2$ .

При использовании ПЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательного устройств — принтер, сканер и т. д.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 ч в день допускается минимальная площадь  $4,5 \text{ м}^2$  на одно рабочее место пользователя.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является вспомогательной, температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочих местах должны соответствовать действующим санитарным нормам микроклимата производственных помещений.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональными напряжениями, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ Ia и Ib в соответствии с данными табл. 1.9. На других рабочих местах следует поддерживать параметры микроклимата на допустимом уровне (табл. 1.10).

Кратность воздухообмена и удаления тепловыделений, влаговыведений и газовыведений можно определить по методам расчета, которые приводятся в гл. 7.

### 9.4.2. Необходимый воздухообмен при одновременном удалении теплоты и влаги на предприятиях сервиса

В цехах сервисных предприятий происходят сложные технологические процессы, связанные с выделением вредных паров растворителей, в основном оксида углерода, при нанесении клея на детали обуви при фрезировании, а также в процессе вулканизации. Кроме того, при некоторых технологических операциях в производственных помещениях выделяется влага. Поступление в помещение цеха тепловой энергии, связанной с технологическим процессом, происходит от электродвигателей, сушилок и т. д.

Для определения одновременно удаляемой теплоты и влаги используем графоаналитический метод с применением диаграммы  $J-d$ , ранее рассмотренный в гл. 7.

**Пример 9.4.** Определим необходимый воздухообмен в помещении сервисного обувного предприятия. Технологическим процессом предусмотрены ВТО. Перед формированием изделия проводится носочно-пучковая и пяточно-голеночная операция с увлажнением до 30 % (равновесие влажности составляет 10...12 %). Затем обувь поступает в сушильную камеру. В процессе сушки температура воздуха достигает 50...60 °С. Количество влаги, которое попадает в помещение цеха через неплотности сушильной камеры, составляет примерно 2,4 кг/ч.

Значение теплопоступлений примем равным 9100 кДж. Температура приточного воздуха 22 °С, энтальпия 46 кДж/кг. Параметры удаляемого воздуха не должны превышать по температуре 25 °С, по относительной влажности 65 %.

На диаграмме  $J-d$  по данным параметрам приточного воздуха находим точку П (см. рис. 9.1) и соответствующие им значения влагосодержания  $d = 9,6$  г/кг и относительной влажности  $\phi = 57,5$  %. Затем определяем угловой коэффициент луча процесса:

$$\varepsilon = \frac{Q}{W_{\text{вл}}} = \frac{9100}{2,4} = 3796,6.$$

Через точку П проводим луч процесса  $\varepsilon = 3796,6$ , который пересекает кривую относительной влажности воздуха  $\phi = 65$  % в точке  $B_1$  и изотерму с температурой 25 °С в точке  $B_2$  (см. рис. 9.1).

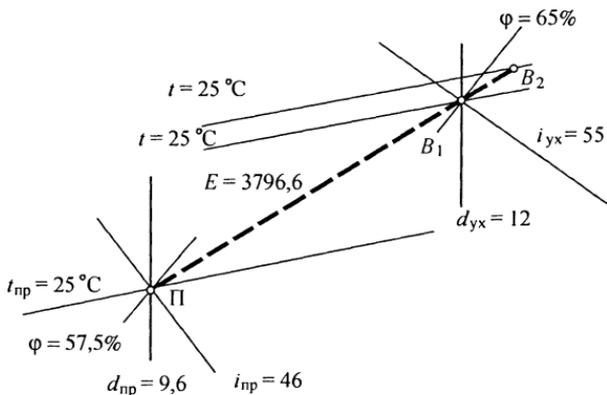


Рис. 9.1. Определение воздухообмена при одновременном поступлении в помещении тепла и влаги

Параметры в точке  $B_1$  удовлетворяют заданным условиям, а в точке  $B_2$  нарушаются. В точке  $B_1$  температура уходящего воздуха  $t_{yx} = 24$  °С, влагосодержание  $d_{yx} = 12,0$  г/кг и теплосодержание  $i_{yx} = 55$  кДж/кг, относительная влажность  $\varphi_{yx} = 65$  %.

Количество вентиляционного воздуха составит:

- по разности теплосодержания

$$G = \frac{Q}{i_{yx} - i_{п}} = \frac{9100}{55 - 46} = 1011 \text{ кг/ч};$$

- по разности влагосодержания

$$G = \frac{W_{\text{вл}}}{d_{yx} - d_{п}} = \frac{2,4 \cdot 1000}{12,0 - 9,6} = 1000 \text{ кг/ч}.$$

Требуемый воздухообмен для помещения составит

$$L = \frac{G}{\rho} = \frac{1011}{1,2} = 842,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для поддержания комфортных условий в помещении сервисного обувного предприятия необходимый воздухообмен должен быть  $842,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Кратность воздухообмена в помещении предприятия при его объеме  $160 \text{ м}^3$  составит

$$K_p = \frac{L}{V_{\text{пом}}} = \frac{842,5}{160} = 5,26 \text{ 1/ч},$$

что отвечает требованиям, предъявляемым к обувным сервисным предприятиям.

### 9.4.3. Местные отсосы на предприятиях

В процессе изготовления обуви в воздух помещения выделяются различные загрязняющие вещества: диметилформамид, этилацетат, оксид пропилена, сложный эфир, окись углерода, аммиак, бензин и др.

Гигиенические исследования [36] в заготовочных цехах проводились на рабочих местах наиболее массовых профессий обувщиков — заготовщиков верха обуви. Под наблюдением находились две операции: выполняемая на швейных машинах с педальным управлением; выполняемая на специальной машине по обработке края заготовки (операция «спускание краев деталей»). Оценивалось загрязнение воздушной среды при использовании синтетической кожи двух видов — отечественной марки СК-8 и импортной «Кордлей».

Результаты исследований содержания химических веществ в воздухе на рабочем месте заготовщика верха обуви при пошиве деталей обуви из синтетической кожи «Кордлей» представлены в табл. 9.6.

Таблица 9.6. Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоны при заготовке верха обуви на фабрике «Буревестник» [36]

| Вещество           | Концентрация, мг/м <sup>3</sup> |              | ПДК, мг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|---------------------------------|--------------|------------------------|
|                    | минимальная                     | максимальная |                        |
| Этиленгликоль      | 0,08                            | 0,5          | 5,0                    |
| Оксид пропилена    | 0,33                            | 1,1          | 1,0                    |
| Этилацетат         | —                               | —            | 200,0                  |
| Диметилформамид    | 10,0                            | 15,0         | 10,0                   |
| Сложные эфиры      | 50,0                            | 75,0         | 200,0                  |
| Формальдегид       | —                               | —            | 0,5                    |
| Синтетическая пыль | —                               | —            | 6,0                    |

Из данных таблицы следует, что ни в одной пробе воздуха не были обнаружены этилацетат, формальдегид и синтетическая пыль. Остальные химические вещества присутствовали в воздухе в основном на уровне ПДК. Исключение составили единичные пробы воздуха, в которых наблюдалось незначительное превышение предельно-допустимых величин.

Проведенные исследования позволили установить, что при пошиве заготовок обуви, а также при обработке краев деталей в окружающую среду выделяется комплекс химических веществ. Следует считать, что образование их происходит вследствие термической деструкции синтетической кожи, так как рабочие поверхности швейной машины и машины для спуска краев деталей нагреваются во время работы.

Работу с клеями в обувном производстве выполняют намазчики деталей и изделий и наклейщики деталей. Они наклеивают союзки, задники, стельки, боковинки и другие детали, вклеивают подпяточники, подклеивают подкладку и пр. При этом требуется соблюдение необходимых расстояний от краев или совмещение деталей. Наиболее распространенными для крепления деталей обуви являются полиуретановый клей «Десмоколл-400» и наиритовый клей. В качестве растворителя названных клеев при проведении исследований применялся этилацетат. Нанесение клеев на обувные заготовки производится рабочими вручную кисточкой. Работы эти выполняются в специально оборудованных шкафах или сушильных камерах с местными отсосами.

При работе с клеем «Десмоколл-400» в воздухе определяли не только растворители (этилацетат), но и те вещества, которые составляют основу полиуретанового клея: этиленгликоль, окись пропилена, изоцианаты, этилацетат. Полученные результаты приведены в табл. 9.7.

Таблица 9.7. Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоне при работе с клеем «Десмоколл-400» [36]

| Вещество        | Концентрация, мг/м <sup>3</sup> |              | ПДК, мг/м <sup>3</sup> |
|-----------------|---------------------------------|--------------|------------------------|
|                 | минимальная                     | максимальная |                        |
| Этиленгликоль   | 0,05                            | 4,1          | 5,0                    |
| Окись пропилена | 0,06                            | 1,0          | 1,0                    |
| Изоцианаты      | —                               | —            | 0,5*                   |
| Этилацетат      | 26,6                            | 200,0        | 200,0                  |

\* ПДК для 4,4-дифенилметандиизоцианат.

При использовании наиритового клея на рабочих местах намазчиков деталей и изделий и наклейщиков деталей могут присутствовать только пары растворителей: этилацетата, ацетона или бензина. Как правило, концентрация указанных химических

веществ находится на уровне ПДК или ниже (табл. 9.8). Однако, если местные отсосы неисправны, содержание растворителей значительно превышает ПДК. Исследовалось содержание вредных веществ на рабочих местах намазчиков деталей и изделий и наклейщиков деталей при работе вентиляции в двух режимах: при неисправной вентиляции и после ее ремонта. В пробах воздуха определялось содержание этилацетата. При неисправной вентиляции его содержание в отобранных пробах превышало ПДК. Однако после ремонта вентиляции во всех пробах воздуха пары растворителей находились на уровне ПДК.

Таблица 9.8. Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоны при работе с наиритовым клеем [36]

| Вещество   | Концентрация, мг/м <sup>3</sup> |              | ПДК, мг/м <sup>3</sup> |
|------------|---------------------------------|--------------|------------------------|
|            | минимальная                     | максимальная |                        |
| Этилацетат | 20                              | 180          | 200                    |
| Ацетон     | 30                              | 200          | 200                    |
| Бензин     | 50                              | 100          | 100                    |

Для изготовления подошв обуви используют так называемые интегральные пенополиуретаны (ППУ), дающие при формовании изделий мелкопористую структуру с плотной наружной оболочкой. Их преимуществами перед другими материалами являются: низкая температура переработки (до 60 °С), возможность непосредственного литья подошв на верх обуви, высокая износостойкость и стойкость к действию растворителей, легкость. Литье низа обуви из ППУ производится на литьевых машинах фирмы «Десма» (ФРГ).

В воздухе рабочих помещений по изготовлению подошв обнаруживались химические вещества в концентрациях, часто превышающих ПДК, особенно у шнека машин и в рабочих зонах. В воздухе постоянно присутствовали 4,4-дифенилметандиизоцианат (ПДК = 0,5 мг/м<sup>3</sup>), этиленгликоль (ПДК = 5 мг/м<sup>3</sup>), окись пропилена (ПДК = 1 мг/м<sup>3</sup>). Кроме того, в воздухе выделялись летучие соединения из состава, используемого для смазки литьевых форм: бензин (ПДК = 100 мг/м<sup>3</sup>), трихлорфторметан (ПДК = 1000 мг/м<sup>3</sup>), масляный аэрозоль (ПДК = 5 мг/м<sup>3</sup>).

Оборудованная местная вытяжная вентиляция от агрегатов и общеобменная вентиляционная система способствовали улучше-

нию состояния воздушной среды производственных помещений. Для сбора отходов у мест шприцевания и смазки пресс-форм было предложено оборудовать сборники-укрытия с местным отсосом, для удаления воздуха из реактора до и во время его чистки — гибким вытяжным рукавом для уменьшения выделений этиленгликоля и бензина. Об эффективности выполненных оздоровительных мероприятий можно судить по результатам гигиенических исследований, приведенных в табл. 9.9.

**Таблица 9.9.** Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоны при литье низа обуви из пенополиуританов [36]

| Вещество                    | Концентрация, мг/м <sup>3</sup> |              | ПДК, мг/м <sup>3</sup> |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------|------------------------|
|                             | минимальная                     | максимальная |                        |
| 4,4-дифенилметандиизоцианат | 0,5                             | 1,5          | 0,5                    |
| Этиленгликоль               | 0,17                            | 0,7          | 5                      |
| Сложные эфиры               | 3,0                             | 40,0         | 200                    |
| Бензин                      | 10,0                            | 100,0        | 100                    |
| Масляный аэрозоль           | 0,2                             | 0,7          | 5                      |
| Трихлорфторметан            | 2,5                             | 14,0         | 1000                   |

Гигиенические исследования включали оценку состояния воздушной среды на ряде рабочих мест у литьевых машин фирмы «Десма»: у шнека, на съеме и одевании обуви, во время опрыскивания матриц и пуансонов, в нейтральных точках (на расстоянии 2...3 м от машин).

Из данных табл. 9.9 следует, что воздух рабочих помещений при литье низа обуви на машинах фирмы «Десма» незначительно загрязнялся химическими веществами. В большинстве проб воздуха отсутствовал 4,4-дифенилметандиизоцианат (в 84,1 % случаев) и этиленгликоль (в 62,5 % случаев).

Сложные эфиры хотя и присутствовали во всех пробах, но их концентрации не были высокими: в большинстве проб — на уровне 10...20 мг/м<sup>3</sup> (только в одной пробе — на уровне 40 мг/м<sup>3</sup>). Наличие сложных эфиров не должно вызывать опасений, так как литературные источники указывают на их низкую летучесть и малую токсичность. Среди 40 проб, отобранных на этиленгликоль, в 15 (37,5 %) он обнаруживался в основном у шнека литьевой машины, но концентрации его были ниже ПДК.

Бензин и трихлорфторметан также обнаруживались в концентрациях значительно ниже предельно-допустимых.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что там, где источники выделения вредных веществ оборудованы местными вытяжными отсосами, вытяжными шкафами, на рабочих местах нет превышения предельно-допустимой концентрации.

Местные отсосы предусматриваются для удаления теплоты, влаги, газов и пыли. Применение местных отсосов позволяет обеспечить нормируемые параметры воздушной среды в производственных помещениях при меньших по сравнению с общеобменной вентиляцией расходах воздуха.

При выборе конструкции отсоса необходимо руководствоваться следующими условиями :

- отсос должен быть максимально приближен к источнику;
- вредные выделения минимально отклоняются от всасывающего отверстия;
- удаляемый воздух не проходит через зону дыхания работающего.

Расход воздуха для отсоса от источника, выделяющего тепло и газы, пропорционален характерному расходу воздуха в конвективном потоке, поднимающемся над источником, и определяется по выражению:

$$L_{\text{отс}} = L_0 k_n k_b k_t, \quad (9.11)$$

где  $L_0$  — характерный расход, м<sup>3</sup>/ч;  $k_n$  — безразмерный множитель, учитывающий влияние скорости движения воздуха в помещении;  $k_b$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости движения воздуха в помещении;  $k_t$  — коэффициент, учитывающий токсичность вредных выделений.

Конвективная теплоотдача от горизонтальных поверхностей при расчете отсосов рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{отс}} = 1,3\eta F_{\text{ист}} (t_{\text{наг.поверх}} - t_b)^{4/3}. \quad (9.12)$$

Здесь  $t_{\text{нач.поверх}}$  — температура нагретой поверхности, °С;  $F_{\text{ист}}$  — площадь горизонтальной поверхности источника, м<sup>2</sup>.

Величину коэффициента  $\eta$  принимаем в зависимости от температуры нагретой поверхности. При  $t_{\text{наг.поверх}} = 50$  °С  $\eta = 1,63$ ;  $t_{\text{наг.поверх}} = 100$  °С  $\eta = 1,58$ ;  $t_{\text{наг.поверх}} = 200$  °С  $\eta = 1,53$ .

Исходными данными для расчета отсосов открытого типа являются размеры источника и количество выделяемого им кон-

вективного тепла  $Q_{отс}$ , Вт; расход вредных веществ  $M$ , мг/с, и расположение и размеры отсоса; нормируемая скорость движения воздуха в помещении  $v_B$ , м/с.

Расход удаляемого воздуха определяется по формуле (9.11), а коэффициент  $k_T$  — по рис. 9.2, где  $\bar{c} = 3600M/L_{отс}(ПДК - q_{пр})$  (здесь  $q_{пр}$  — концентрация вредного вещества в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>).

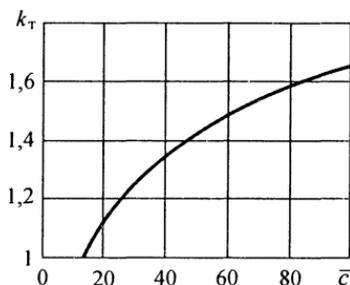


Рис. 9.2. График для определения коэффициента  $k_T$ , учитывающего токсичность вредных веществ

Если источник выделяет и теплоту, и газы, то должно соблюдаться условие  $k_T \geq 1$ , а при выделении только теплоты  $k_T = 1$ .

Вытяжной зонтик (рис. 9.3) используют для улавливания теплоты и вредных веществ от теплоисточников, когда более полное их укрытие невозможно из-за условий производства. Зонтик

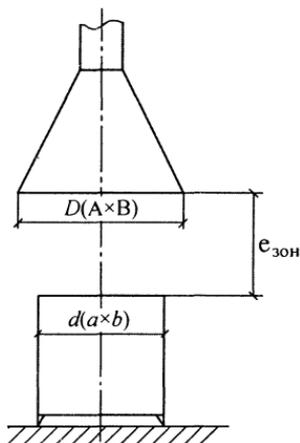


Рис. 9.3. Вытяжной зонтик над теплоисточником

следует делать с центральным углом раскрытия не более  $60^\circ$ ; при больших углах резко увеличивается площадь, занятая вихревыми зонами у острых кромок, и соответственно уменьшается «эффективно всасывающая площадь» воздухоприемного устройства. При больших углах раскрытия зонта достичь эффективного всасывания по всей его площади можно путем устройства уступа  $h_{\text{зон}}$  (рис. 9.4), где  $D_1$  и  $D_2$  — соответствующие площади воздухоприемного устройства зонта без и с уступом,  $\text{м}^2$ . Рекомендуемые размеры  $D_1 = 0,8D$ ,  $h = (0,12...0,15)D$ .

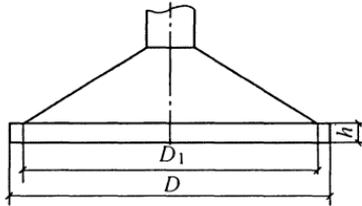


Рис. 9.4. Вытяжной зонт с уступом по периметру над теплоисточником

Размеры приемного отверстия зонта над круглым или прямоугольным ( $a/b < 2$ ) источником рекомендуется принимать следующими:  $D = d_{\text{зон}} + 2\Delta$ ;  $A = a + 2\Delta$ ;  $B = b + 2\Delta$ , где  $\Delta$  определяется по выражению

$$\Delta = 2,14(V_{\text{в}}/V_{\text{зон}})^2 l^2/d. \quad (9.13)$$

Здесь  $l_{\text{зон}}$  — расстояние от нагретой поверхности источника до воздухоприемного устройства зонта, м;  $a$  и  $b$  — размеры источника, м;  $d_{\text{зон}}$  — площадь источника,  $\text{м}^2$ .

Для прямоугольного в плане источника тепловыделения вместо  $d_{\text{зон}}$  принимается эквивалентный по площади диаметр  $d_{\text{э}} = 1,13\sqrt{ab}$ .

Осевую скорость в конвективном потоке на уровне всасывания, м/с, определяют по формуле

$$V_{\text{зон}} = 0,068(Q_{\text{зон}} l_{\text{зон}}/d_{\text{зон}}^2)^{1/3}. \quad (9.14)$$

Если проектируется зонт над вытянутым источником ( $a/b \geq 2$ ), то

$$\Delta = 2,14(V_{\text{в}}/V_{\text{зон}})^2 (l_{\text{зон}}^3/d_{\text{зон}}); \quad (9.15)$$

$$V_{\text{зон}} = 0,039Q_{\text{отс}}^{1/3} (l_{\text{зон}}/b)^{0,38}. \quad (9.16)$$

Использование вытяжных зонтов рационально при значении комплекса  $(V_B/V_{\text{зон}})(l_{\text{зон}}/b) \leq 0,35$ . При  $(V_B/V_{\text{зон}})(l_{\text{зон}}/b) > 0,35$  необходимый расход удаляемого воздуха резко возрастает и применение зонтов становится нецелесообразным.

При рекомендованных выше размерах зонтов, входящий в формулу (9.11) коэффициент  $k_n = 1$ , а коэффициенты  $k_b$  вычисляются по следующим формулам:

для круглых источников

$$L_0 = 945d_{\text{зон}}^2 V_{\text{зон}}; \quad (9.17)$$

$$k_b = (1 + 2\Delta/d_{\text{зон}})^2; \quad (9.18)$$

для прямоугольных источников

$$L_0 = 1800abV_{\text{зон}}; \quad (9.19)$$

$$k_b = (1 + 2\Delta/b)^2. \quad (9.20)$$

**Пример 9.5.** Рассчитать расход воздуха для зонта, расположенного на высоте  $h_{\text{зон}} = 0,8$  м над источником тепловыделения длиной  $a = 1,4$  м и шириной  $b = 0,8$  м. Конвективная теплоотдача источника  $Q_{\text{отс}} = 2000$  Вт. Скорость движения воздуха в помещении  $V_B = 0,3$  м/с.

Осевую скорость в конвективном потоке на уровне расположения зонта определяем, предварительно вычислив эквивалентный диаметр источника:

$$d_s = 1,13\sqrt{1,4 \cdot 0,8} = 1,196 \text{ м};$$

$$V_{\text{зон}} = 0,068(2000 \cdot 0,8/1,196^2)^{1/3} = 0,71 \text{ м/с}.$$

Поскольку:

$$\frac{V_B l_{\text{зон}}}{V_{\text{зон}} d_{\text{зон}}} = \frac{0,3}{0,71} \frac{0,8}{1,196} < 0,35,$$

то использование зонта целесообразно.

По формуле (9.13) находим параметр  $\Delta = 2,14(0,3/0,71) \times 0,8^2/1,196 = 0,2$  м и назначаем размеры зонта:  $A = 1,4 + 2 \times 0,2 = 1,8$  м,  $B = 0,8 + 2 \cdot 0,2 = 1,2$  м.

Коэффициент, учитывающий скорость движения воздуха в помещении, рассчитаем по формуле (9.18):

$$k_b = (1 + 2 \cdot 0,2/1,196)^2 = 1,78.$$

Поскольку источник выделяет только теплоту, то  $k_t = 1$ .

Расход удаляемого воздуха определим по формуле (9.11) с учетом уравнения (9.17):

$$L_{\text{отс}} = 945 \cdot 1,196^2 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot 1,78 \cdot 1 = 1710 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

**Пример 9.6.** К условиям примера 9.5 добавим, что источник вместе с теплотой выделяет оксиды азота (ПДК = 5 мг/м<sup>3</sup>) в количестве  $M = 80$  мг/с. Концентрацию оксидов азота в приточном воздухе примем равной нулю.

Найдем значение параметра  $\bar{c}$ :

$$\bar{c} = \frac{3600 \cdot 80}{1710 \cdot 5} = 33,7.$$

По рис. 9.2 определим коэффициент, учитывающий токсичность вредных выделений,  $k_t = 1,29$ . Определим расход удаляемого воздуха с оксидами азота:

$$L_{\text{отс.ок.азот}} = 1710 \cdot 1,29 = 2210 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

## 9.5. Борьба с запахами на сервисных предприятиях

Источниками запахов на предприятиях являются технологические процессы, сырье и готовая продукция, а также человек при выполнении работ различной категории.

Острота восприятия запаха падает с увеличением относительной влажности воздуха и практически не зависит от его температуры. Для уменьшения неприятных ощущений от запахов относительную влажность воздуха рекомендуется поддерживать в пределах 45...60 %. Замечено, что ограждения больше адсорбируют запахи при понижении температуры и отдают их при повышении температуры.

К физическим методам борьбы с запахами относятся очистка воздуха от пыли и бактерий в воздушных фильтрах, вентиляция помещений чистым воздухом, озонирование, хлорирование, абсорбция, адсорбция и промывка водой.

Вентиляция нередко сопряжена с подачей больших объемов наружного воздуха, на обработку которого необходимы значительные количества теплоты, холода и электроэнергии. Так, для

ассимиляции углекислоты требуется подавать около  $7 \text{ м}^3$  воздуха в 1 ч на одного человека.

Обработка воздуха водой в форсуночных и насадочных камерах наиболее доступна, однако при ней удаляются только запахи, вызываемые растворимыми в воде веществами (например, запах аммиака).

Удаление запахов из рециркуляционного воздуха позволяет в ряде случаев сократить количество вводимого наружного воздуха. Расход очищаемого рециркуляционного воздуха  $L_{\text{рец}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , можно определить по формуле [37]

$$L_{\text{рец}} = \frac{1000q/(K_{\text{вых.пом}} - L_{\text{н}})}{1 - E}, \quad (9.21)$$

где  $q$  — количество выделяющихся в помещении газов и паров,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  $K_{\text{вых.пом}}$  и  $K_{\text{вых.о.у}}$  — концентрация газа или пара на выходе соответственно из помещения и очистного устройства,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $E = K_{\text{вых.о.у}}/K_{\text{вых.пом}}$  — эффективность поглощения газов или паров в очистном устройстве;  $L_{\text{н}}$  — расход вводимого наружного воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Если рециркуляционный воздух очищается до предельно-допустимой концентрации  $K_{\text{пред}}$ , то его расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , рассчитывают по формуле

$$L_{\text{рец}} = \frac{1000qE_{\text{э}}/(K_{\text{пред}} - L_{\text{у}})}{1 - E_{\text{э}}}, \quad (9.22)$$

где  $E = K_{\text{пред}}/K_{\text{вых.пом}}$ .

Одним из способов борьбы с запахами является их нейтрализация и компенсация.

Способ нейтрализации состоит в том, что существуют «пары» запахов, которые, будучи смешанными в определенной пропорции, при надлежащем регулировании в период одновременного вдыхания создают временный психологический эффект потери обоняния человека, что равносильно параличу органов обоняния. На практике второй запах, добавляемый к пахнущему воздуху, вводится путем очень тонкого распыления жидкого маскирующего агента. В состав распыляемых дезодорантов входят эфирные масла, хлорофилл и химические вещества. Частицы дезодоранта долгое время витают в воздухе. Во избежание неприятного воздействия распыляемых агентов на органы дыхания, пищеварения, глаза и кожный покров, а также на продукты

питания возможность применения метода нейтрализации каждый раз надлежит предварительно согласовывать со специалистами-медиками.

Метод компенсации состоит в перекрытии неприятного запаха приятным, но запахи бывают и несовместимыми. В этом случае может образоваться третий, еще более неприятный запах. Наибольший эффект и наименьшие единовременные и эксплуатационные затраты свойственны ультрафиолетовому облучению, пропусканию через активированный уголь и промывке воздуха водой в форсуночных камерах.

Во время эксплуатации систем кондиционирования для устранения причин появления запахов необходимо точно соблюдать сроки очистки элементов систем от загрязнений, обмывания форсуночных камер и спуска шлама, дезинфекции теплообменных аппаратов и воздухопроводов, замены фильтров и замазливателей; после ухода людей из помещения выключать системы нужно не сразу, а через некоторый промежуток времени.

Очистка воздуха рабочей зоны озоном (аллотропная модификация кислорода воздуха) является одним из наиболее сильных окислителей. В природе он образуется в результате космических и климатических явлений. Чистый атмосферный воздух всегда содержит озон в концентрациях от 50 до 450 мкг/м<sup>3</sup> (в зависимости от времени года и времени суток). Хорошо знакомое ощущение озона в естественных условиях возникают после грозы, в хвойных лесах, вблизи водопадов и фонтанов, в солнечные дни, в горах, т. е. в тех местах, где человек чувствует себя особенно хорошо и комфортно. Поэтому для улучшения качества среды обитания и освежения воздуха необходимо искусственно его озонировать в концентрациях от 50 до 100 мкг/м<sup>3</sup>, что практически эквивалентно естественному фоновому содержанию озона в чистом атмосферном воздухе в природе [38].

В осенне-зимний период, когда повышается вероятность риска инфекционных заболеваний, рекомендуется искусственно озонировать помещения или проводить процедуры озонотерапии, которые по эффективности воздействия на человека адекватны условиям пребывания человека в курортных зонах высокогорья.

Озонирование воздуха целесообразно осуществлять при проведении работ в неблагоприятных условиях труда:

- химической загрязненности воздуха;
- бактериальной загрязненности.

Химическая очистка воздуха рабочей зоны от таких загрязнителей, как ароматические углеводороды (например, фенол, формальдегид, ксилол, толуол, ацетон, амины и пр.), до значений ПДК и ниже является сложнейшей технической задачей, которая практически не решена ни в России, ни за рубежом. Даже многократное увеличение производительности приточно-вытяжной вентиляции с целью уменьшения концентраций загрязнителей в воздухе рабочей зоны малоэффективно, хотя и сопряжено с большими энергозатратами на нагрев и транспортирование воздуха, а также на очистку вентиляционных выбросов.

В закрытых производственных (и служебных) помещениях озона вообще нет, нарушен ионный состав воздуха. Идея искусственного создания чистого атмосферного воздуха в закрытых помещениях послужила поводом для разработки новой экологической техники, позволяющей осуществлять химическую и бактерицидную очистку воздуха рабочей зоны. Суть метода озонирования основана на обогащении приточного воздуха озоном в концентрациях 25...100 мкг/м<sup>3</sup>, что соответствует естественным концентрациям озона в природе. Озон является не только экологическим фактором природной среды, но и обеспечивает дезинфекцию и устранение запахов. Метод одинаково эффективен при очистке как воздуха рабочей зоны, так и вентиляционных выбросов.

Основные достоинства метода: экологическая безопасность для среды обитания человека и универсальность действия в осуществлении бактерицидной и химической очистки (дезодорации) и благотворном влиянии на здоровье человека, что адекватно процессам очистки среды обитания, происходящим в природе. Эффективность процесса очистки зависит от дозы озона и времени контакта с загрязнителями воздуха, т. е. ограничение значением ПДК для озона (100 мкг/м<sup>3</sup>), поскольку процесс химической очистки происходит в присутствии людей в цехе, а время обработки может быть бесконечно большим (часы, сутки, месяцы). При воздействии озонированного воздуха с химическими загрязнителями происходит уменьшение концентрации загрязнителей, деструктивное окисление и конверсия этих веществ (до углекислого газа и паров воды) для большинства органических веществ.

Мероприятия по химической очистке воздуха разделяются на три направления:

- 1) очистка воздуха рабочей зоны в производственных и служебных помещениях;

2) очистка вентиляционных выбросов и отходящих газов озонном;

3) усиление барьерной роли вентиляционного оборудования.

Область применения метода искусственного озонирования — это очистка воздуха рабочей зоны от паров и газов различных ароматических углеводородов, где превышения ПДК составляют 1,5...10 раз на рабочем месте.

Медицинскими исследованиями установлено [38], что при внедрении систем озонирования воздуха в цехах текстильных фабрик заболеваемость по классу болезней органов дыхания снижается на 25...30 % (ОРЗ, грипп, ангина, пневмония, туберкулез, ЛОР-патология). В 3—5 раза уменьшается заболеваемость, связанная с гипертонической болезнью, и на 10...20 % уменьшается заболеваемость ишемической болезнью сердца. Высокая эффективность профилактики респираторных заболеваний наблюдалась при применении метода озонирования в кондиционерах, работающих в режимах рециркуляции воздуха в прядильных цехах Ивановского камвольного комбината и других текстильных предприятий, что позволило снизить заболеваемость до 45 %.

## Заключение

---

---

Конец XX столетия перенес в XXI век свои глобальные проблемы, из которых наиболее важными являются энергетическая и наблюдаемая тенденция глобального потепления климата Земли. Для их решения предлагается новый методологический подход, базирующийся на основе системы «человек — одежда — воздушная среда помещений — ограждающие конструкции зданий — наружные параметры воздуха в теплый и холодный периоды года». Она включает:

- термовлажностные процессы в одежде человека, когда его организм не перегревается и не переохлаждается, а находится в условиях теплового, экологического и влажностного комфорта;
- создание в производственных помещениях такой воздушной среды в летнее и зимнее время года с использованием установок кондиционирования или без них, когда должны быть обеспечены условия теплового и экологического комфорта;
- энергосберегающие наружные стены и окна должны иметь такую теплозащиту, при которой потери тепла были бы минимальные, а зона теплового комфорта, включая пристенный участок производственного помещения, охватывала все рабочие места;

В этих условиях, если учесть, что человек  $\frac{1}{3}$  своего активного времени проводит на работе, становится понятным, что обеспечение условий температурно-влажностного и экологического комфорта затрагивает его трудовую деятельность, в том числе и на сервисных предприятиях. Надо отметить, что эта отрасль за последнее время развивается достаточно активно и количество работников в ней уже перевалило за несколько десятков миллионов человек. Поэтому для ее работников должны быть созданы не только комфортные тепловые и экологические условия в

помещениях на рабочих местах, но и их одежда должна обеспечить экологический и влажностный комфорт, в котором при протекании термовлажностных процессов не будет происходить образование конденсата в слоях пакета одежды в виде капельно-жидкой влаги. Эти обстоятельства определили постановку и использование для расчетов ряда новых инженерных методов, апробированных на практике, которые можно использовать не только в современных условиях, но и в перспективе в связи с появлением новых материалов как в строительстве, так и для одежды человека.

В учебнике «Тепловой и экологический комфорт. Проектирование процесса оказания услуг на предприятиях сервиса» приводится большое количество примеров по определению теплового, экологического и влажностного комфорта для работников сервисной отрасли.

# Список литературы

---

---

1. *Шутова Н. Е., Филоненко В. И.* Обрывность нитей и устойчивость технологических процессов / Н. Е. Шутова, В. И. Филоненко. — М. : Легпромбыт, 1989.
2. *Кукин Г. Н., Соловьев А. Н., Кобляков А. И.* Текстильное материаловедение / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. — М., 1992.
3. *Модестова Т. А., Флерова Л. Н., Бузов Б. А.* Материаловедение швейного производства / Т. А. Модестова, Л. Н. Флерова, Б. А. Бузов. — М., 1969.
4. *Бузов Б. А., Модестова Т. А., Алыменко Н. Д.* Материаловедение швейного производства / Б. А. Бузов, Т. А. Модестова, Н. Д. Алыменко. — М., 1978.
5. *Давыдов В. Я.* Влажность основы и климат в цехе / В. Я. Давыдов // Текстильная промышленность. — 1981. — № 9. — С. 46.
6. *Зарубян К. М., Краснов Б. Я., Бронштейн М.* Материаловедение изделий из кожи / К. М. Зарубян, Б. Я. Краснов, М. Бронштейн. — М., 1988.
7. *Климчук Г. С.* Исследование влияния относительной влажности воздуха на изменение размеров кожаных деталей / Г. С. Климчук // Диссертация канд. МТИЛП. 1971.
8. *Фукин В. А., Костылева В. В., Захарова А. А., Соколов В. Н.* Элементарные операторы технических систем и основные технологические процессы легкой промышленности / В. А. Фукин, В. В. Костылева, А. А. Захарова, В. Н. Соколов. Русско-немецкий учебно-методический комплекс. — Ч. 2. 1997.
9. *Колесников П. А.* Теплозащитные свойства одежды / П. А. Колесников. — М. : Легкая индустрия, 1965.
10. СанПиИ 2.2.4.548—96, Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
11. *Коблякова Е. Б.* Разработка основ проектирования рациональных размеров и форм одежды / Е. Б. Коблякова // Дис. ... доктор техн. наук. — М., 1980. — С. 541.
12. *Fanger R.* Thermal Comfort // Danish Technical Press. — 1970. — Copenhagen. S. 285.

13. *Богословский В. Н.* Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. — М. : Высшая школа, 1970, 1982.
14. *Фокин К. Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. — 4-е изд. — М. : Стройиздат, 1973.
15. *Умняков П. Н.* Теплозащита воздушных прослоек с различными коэффициентами излучения текстильных материалов / П. Н. Умняков // Кожевенно-обувная промышленность. — 1988. — № 12. — С. 25—26.
16. *Шубин Л. Ф.* Промышленные здания / Л. Ф. Шубин / научн. ред. В. М. Предтеченский. — М. : Стройиздат, 1975.
17. *Измestьева А. Я., Юдина Л. П., Умняков П. Н.* Проектирование предприятий швейной промышленности / А. Я. Измestьева, Л. П. Юдина, П. Н. Умняков / под ред. А. Я. Измestьевой. — М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983.
18. *Новикова М. Н., Углов А. В., Петрова Е. С.* Материаловедение швейного производства : учеб. пособие / М. Н. Новикова, А. В. Углов, Е. С. Петрова. Ч. 1. — М., 2007. — С. 116.
19. *Васильев Б. Ф.* Натурные исследования температурно-влажностного режима крупнопанельных жилых зданий / Б. Ф. Васильев. — М. : Стройиздат, 1968.
20. *Конопальцева Н. М.* Конструирование и технология изготовления одежды из различных материалов : учеб. пособие для вузов / Н. М. Конопальцева, П. И. Рубцов, Н. А. Крюкова. — М. : Академия, 2007.
21. *Шершнева Л. П., Петрова Е. С.* Инновации в производстве одежды / Л. П. Шершнева, Е. С. Петрова // Швейная промышленность. — № 4. — 2007. — С. 33—35.
22. *Прандтль Л.* Гидроаэромехника / Л. Прандтль; пер. с нем. Г. А. Вольперта. — М. : Иностранная литература, 1951.
23. *Умняков П. Н.* Основы расчета и прогнозирование теплового комфорта и экологической безопасности на предприятиях текстильной и легкой промышленности / П. Н. Умняков. — М. : Информ-Знание, 2003.
24. *Талиев В. Н.* Аэродинамические вентиляции / В. Н. Талиев. — М. : Стройиздат, 1979.
25. Методические рекомендации. Оценка теплового состояния организма с целью обоснования оптимальных и допустимых параметров производственного микроклимата. — М. : Министерство здравоохранения СССР, 1983.
26. СНиП 2.01.01—82. Строительная климатология и геофизика. — М. : Стройиздат, 1983.
27. *Умняков П. Н.* Влияние температурного режима помещения на выбор термических свойств рабочей одежды / П. Н. Умняков // Текстильная промышленность. — 1981. — № 9. — С. 65—66.

28. *Табунщиков Ю. А., Бродач М. М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2002.

29. Гликин С. М. Основы теплотехнического расчета ограждающих конструкций / С. Гликин С. М. — М. : МИКХИ, 2002.

30. *Углов В. А., Лебедев Г. О., Панкина Т. В.* Проектирование систем кондиционирования на текстильных предприятиях / В. А. Углов, Г. О. Лебедев, Т. В. Панкина / под общ. ред. П. Н. Умнякова. — М., 2002.

31. *Мелихов Е. Х.* Разработка и исследование метод формирования деталей одежды / Е. Х. Мелихов. Авт. Дис. ... Докт. техн. наук. — М. : 1986.

32. *Лебедев С. А.* Исследование влияния ВТО изделия на параметры микроклимата рабочих мест / С. А. Лебедев. // тез. докл. межвуз. науч. конфер. «Современные проблемы текстильной и легкой промышленности». — М., 1998.

33. *Умняков П. Н., Лебедев С. А.* Термовлажностная обработка деталей одежды и тепловой комфорт в рабочей зоне / П. Н. Умняков, С. А. Лебедев / 1-я международная научно-практическая конференция «Современные энергосберегающие тепловые технологии». — М., 2002.

34. *Умняков П. Н., Лебедев С. А.* Обеспечение комфорта и улучшение среды жизнедеятельности человека при влажно-тепловой обработке деталей одежды / П. Н. Умняков, С. А. Лебедев // Материалы докладов Международной научной конференции. Роль предметов личного потребления в формировании среды жизнедеятельности человека. — М., 2002.

35. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство. Р.2.2.755—99. Руководитель разработки Н. Ф. Измеров. — М., 1999.

36. *Волкова З. А., Благодарная О. А., Дьякова Г. А.* Обувная промышленность. Вып. 2. Улучшение условий труда рабочих на производстве. — М., 2001. С. 56.

37. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. — М., 1992.

38. *Муроков А. П., Гребенчиков Е. Н.* Универсальные озонные технологии и оборудование ИЭБ «Редокс-системы» / А. П. Мурок, Е. Н. Гребенчиков. — Иваново, 1998.

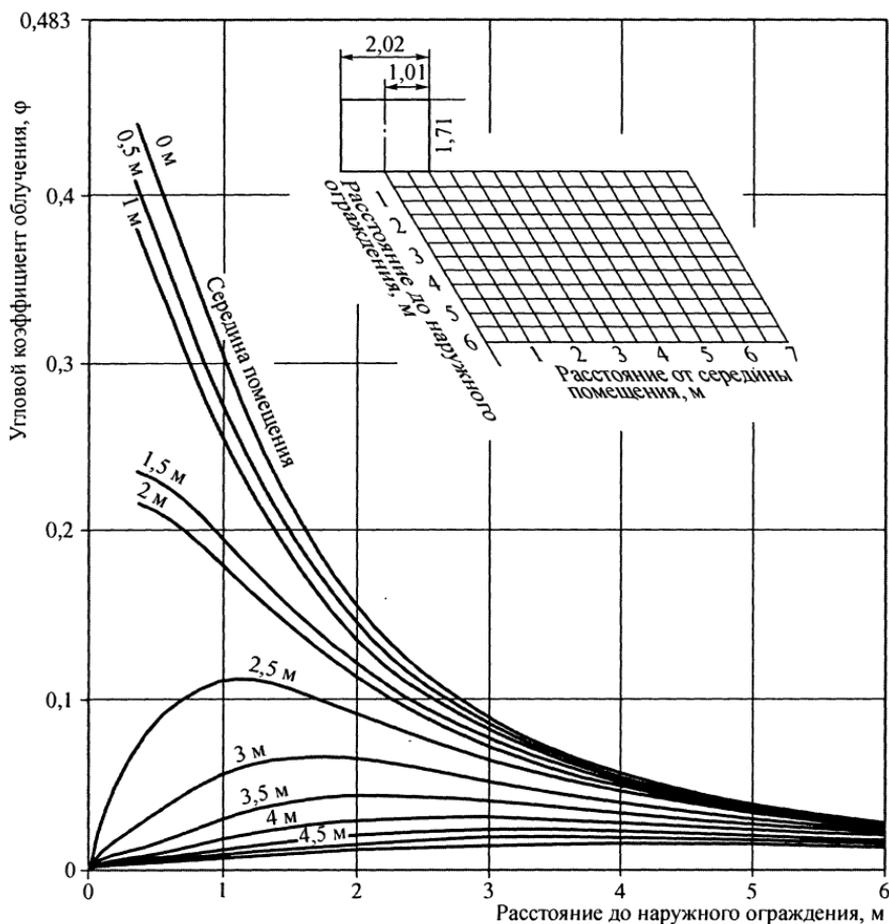


Рис. П1.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $1,7 \times 2,02$  м

Окончание прил. П1

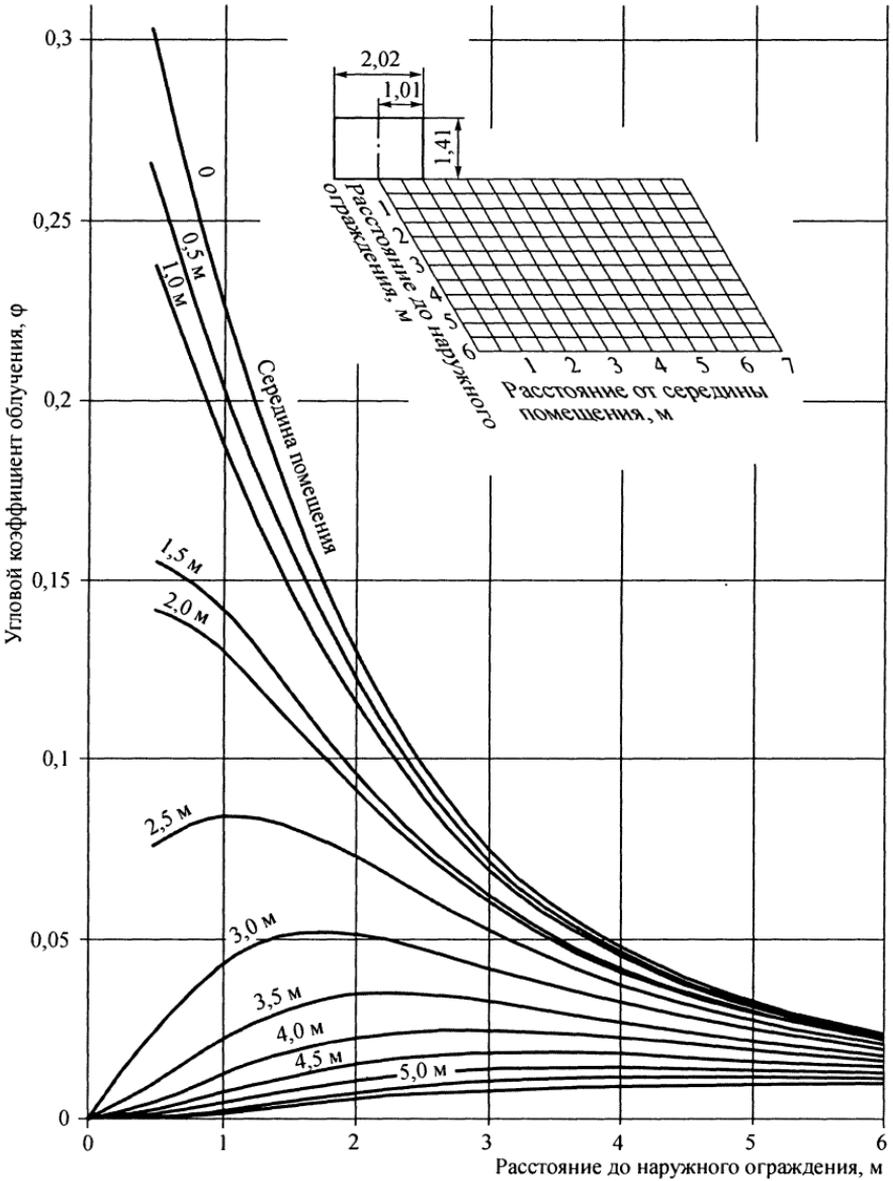


Рис. П1.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 1,41 × 2,02 м

## Приложение П2

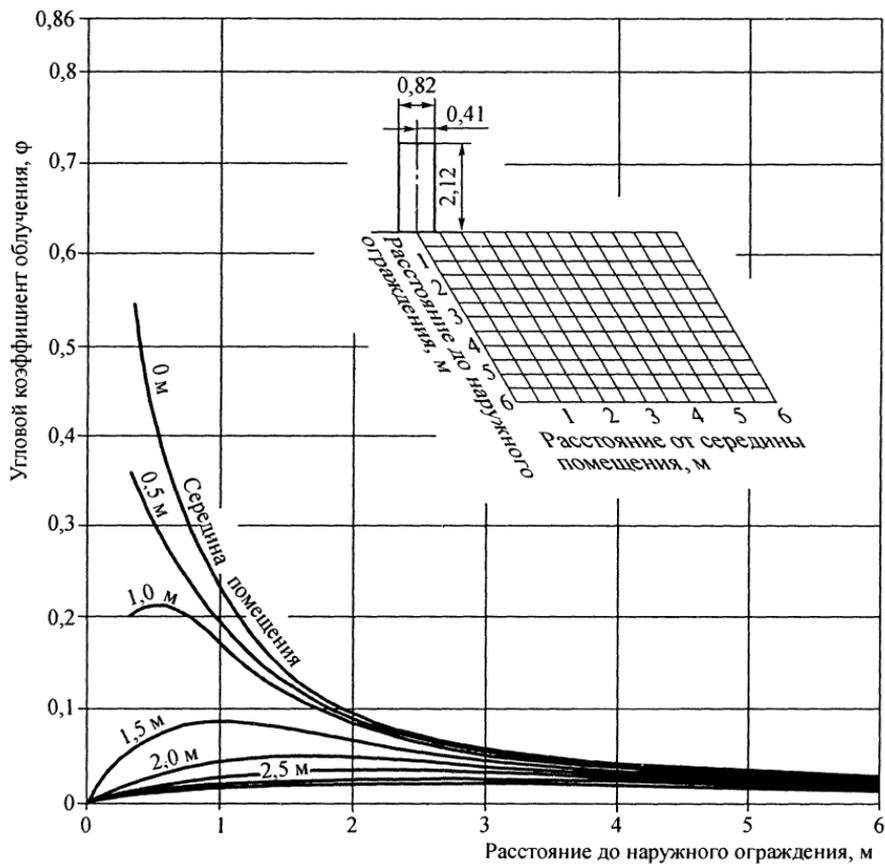


Рис. П2.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $2,12 \times 0,82$  м

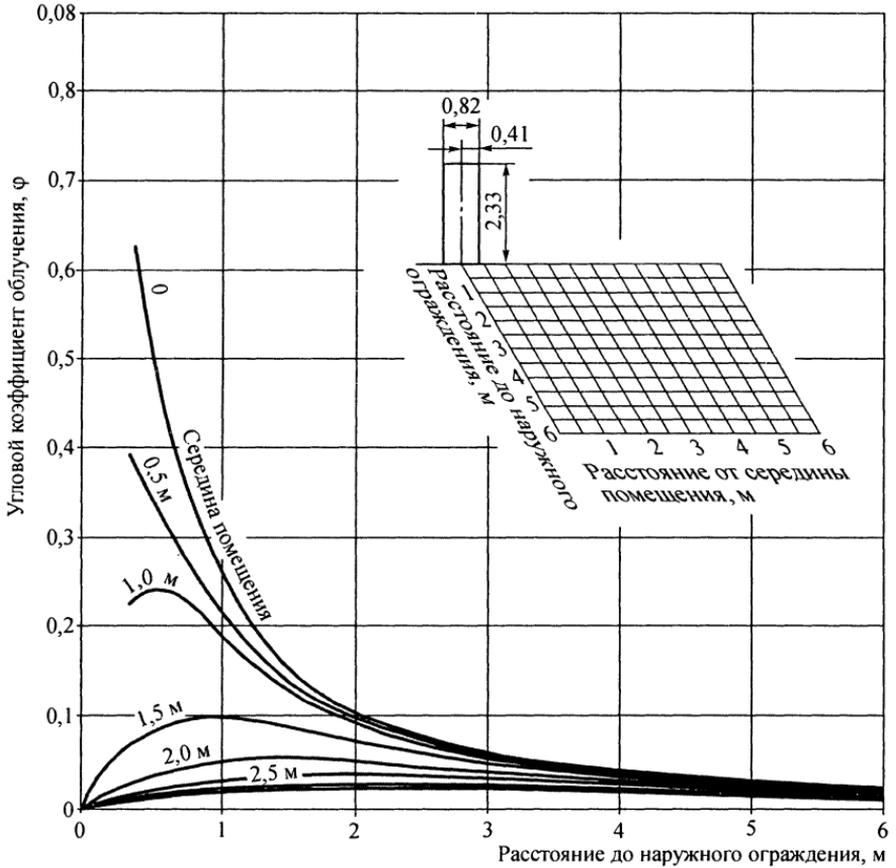


Рис. П2.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $2,33 \times 0,82$  м

## Приложение ПЗ

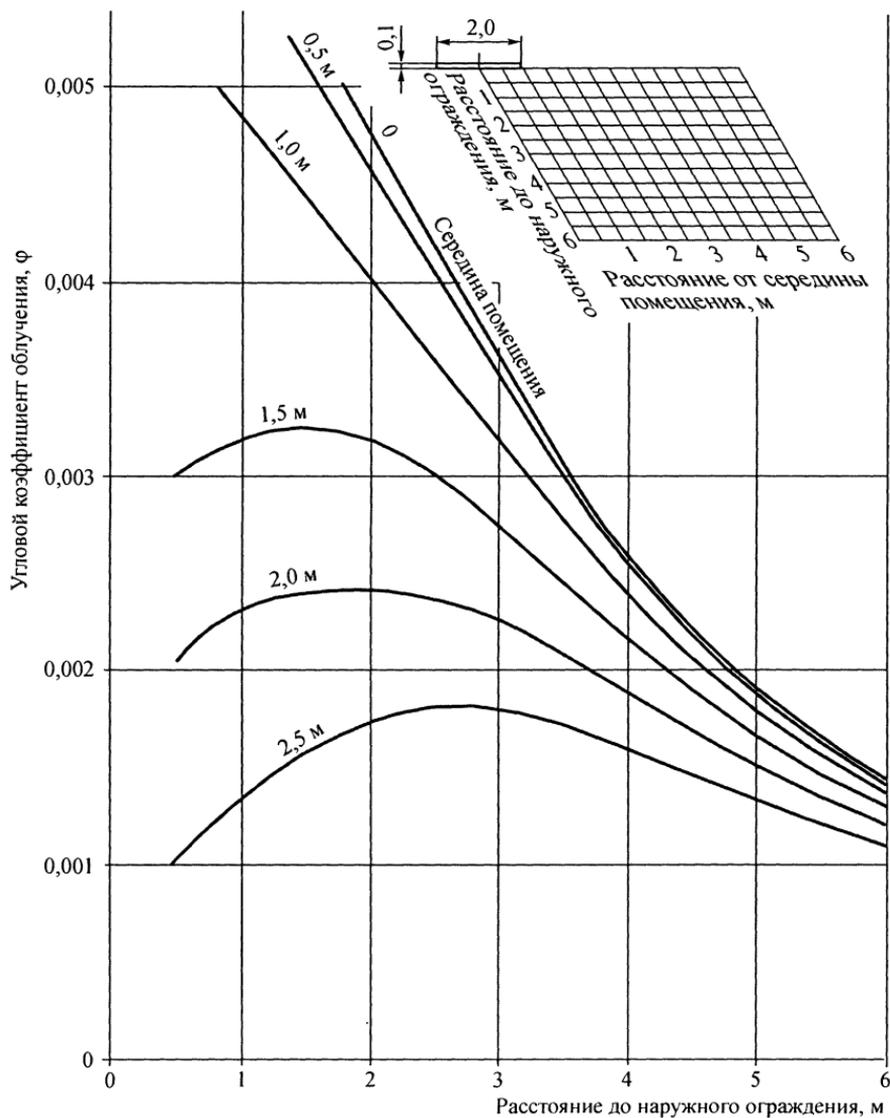


Рис. ПЗ.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $0,1 \times 2,0$  м

Окончание прил. ПЗ

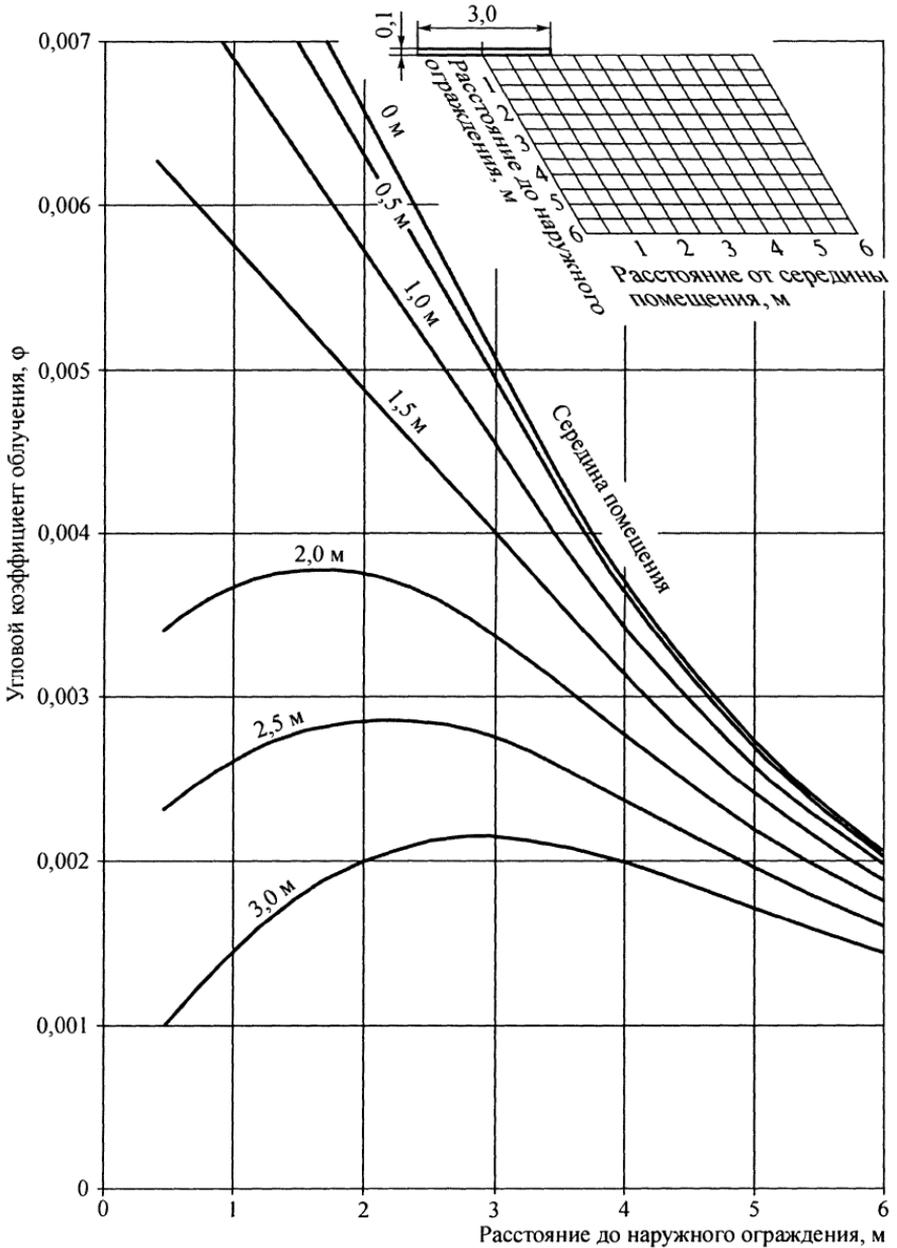


Рис. ПЗ.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 0,1 × 3,0 м

## Приложение П4

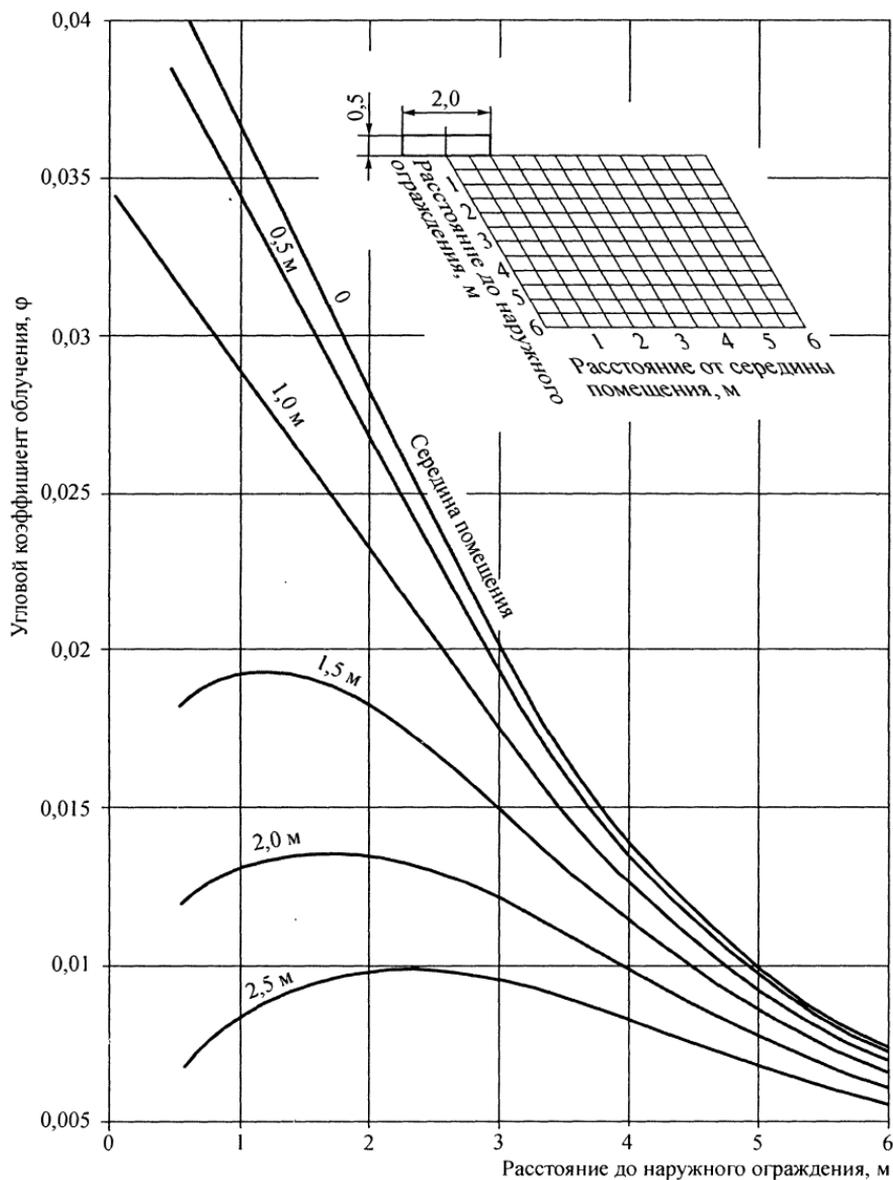


Рис. П4.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 0,5 × 2,0 м

Продолжение прил. П4

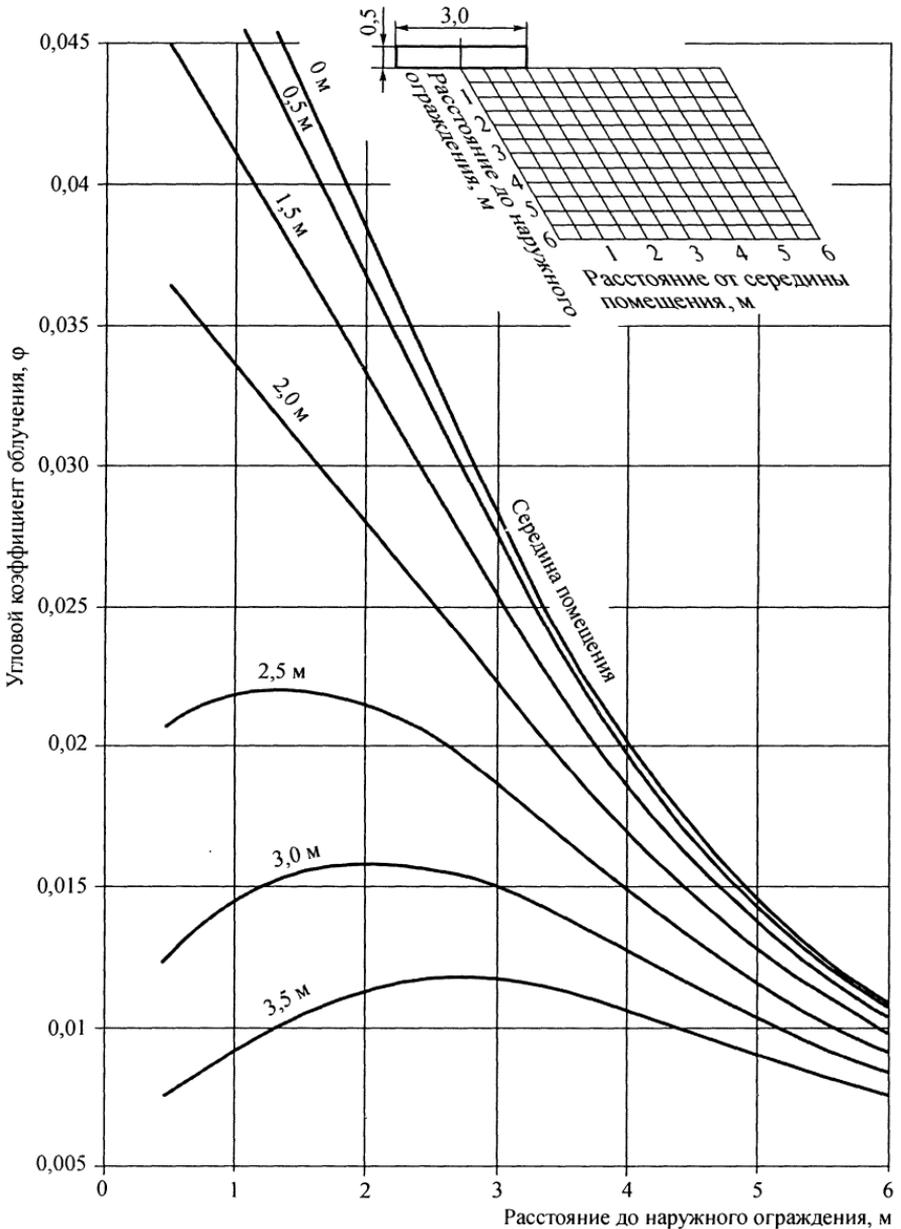


Рис. П4.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 0,5 × 3,0 м

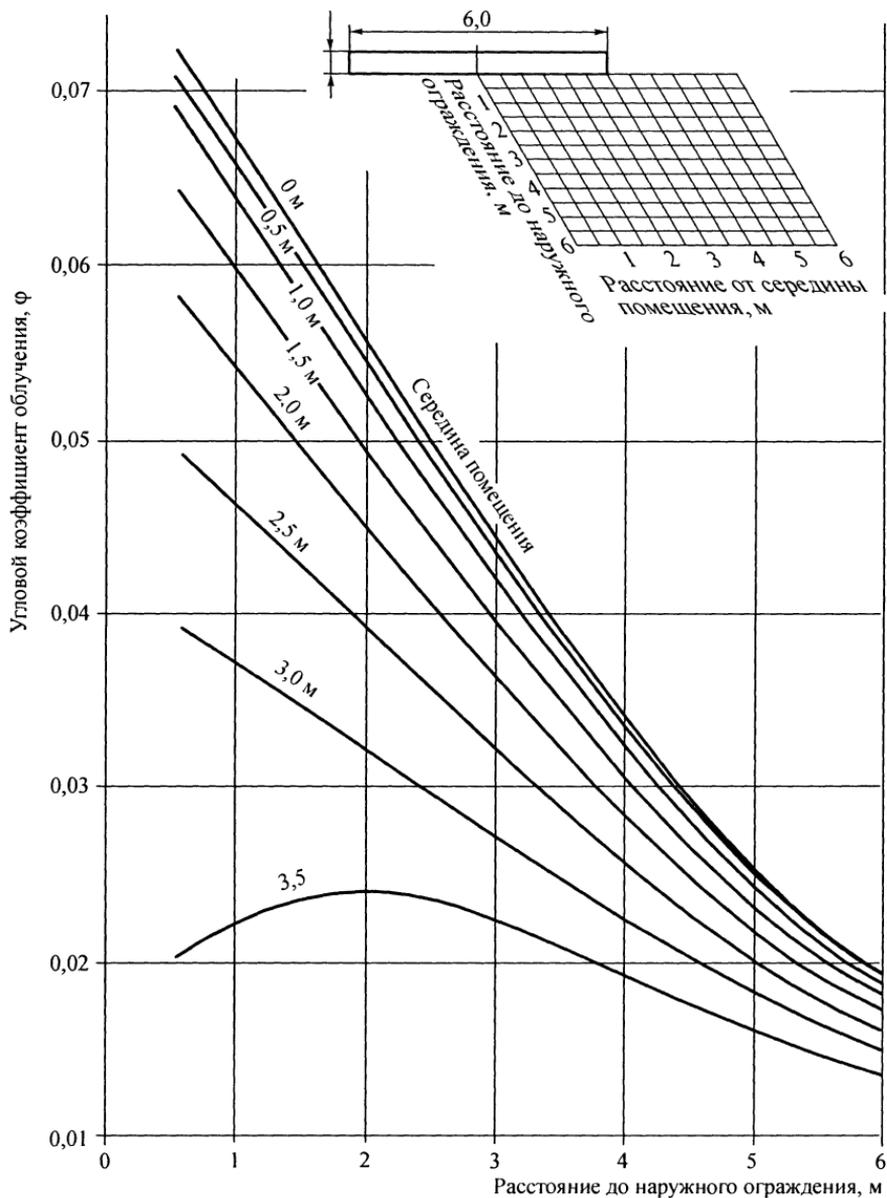


Рис. П4.3. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $0,5 \times 6,0$  м

Приложение П5

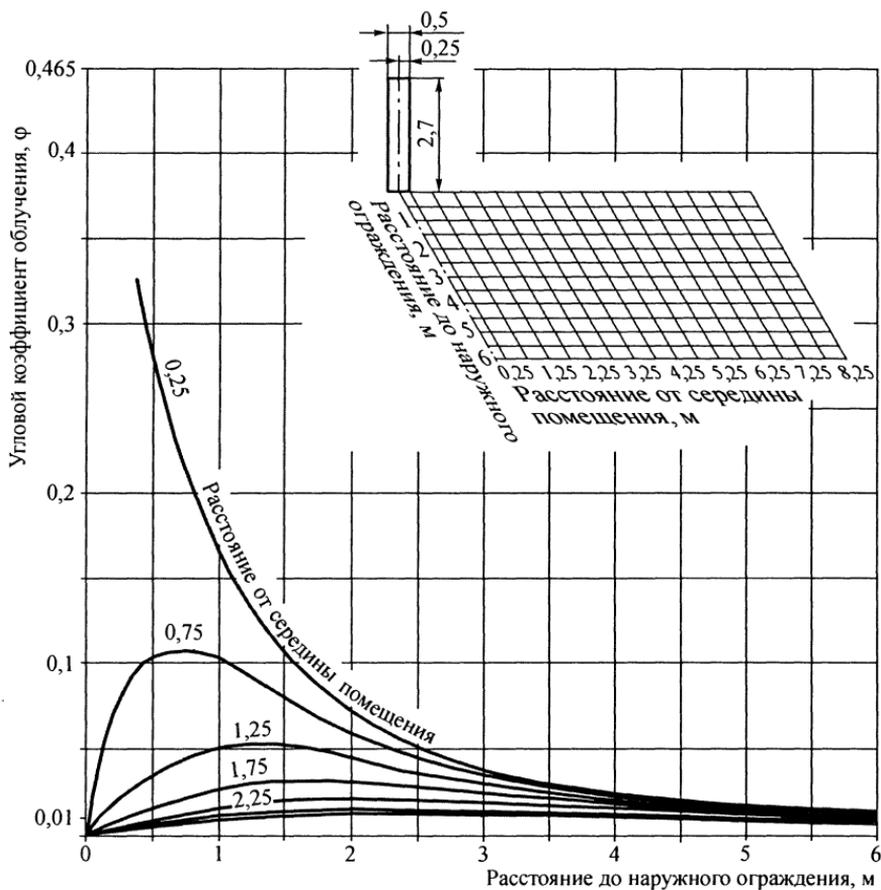


Рис. П5.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,7 × 0,5 м

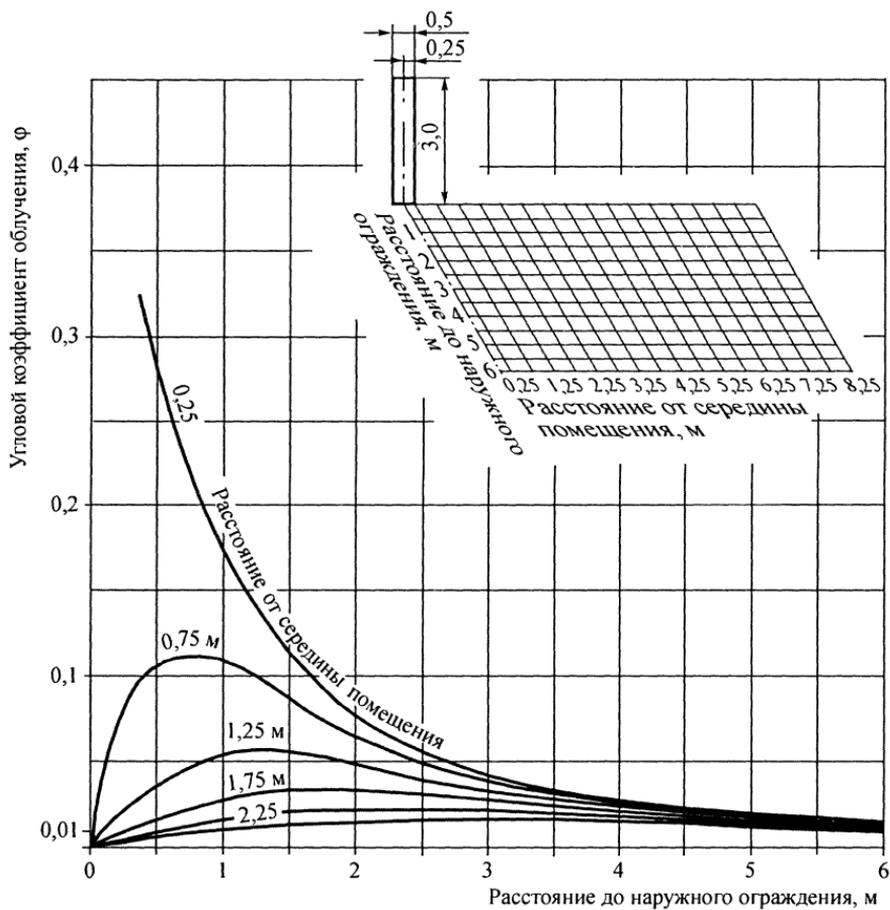


Рис. П5.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $3,0 \times 0,5$  м

Продолжение прил. П5

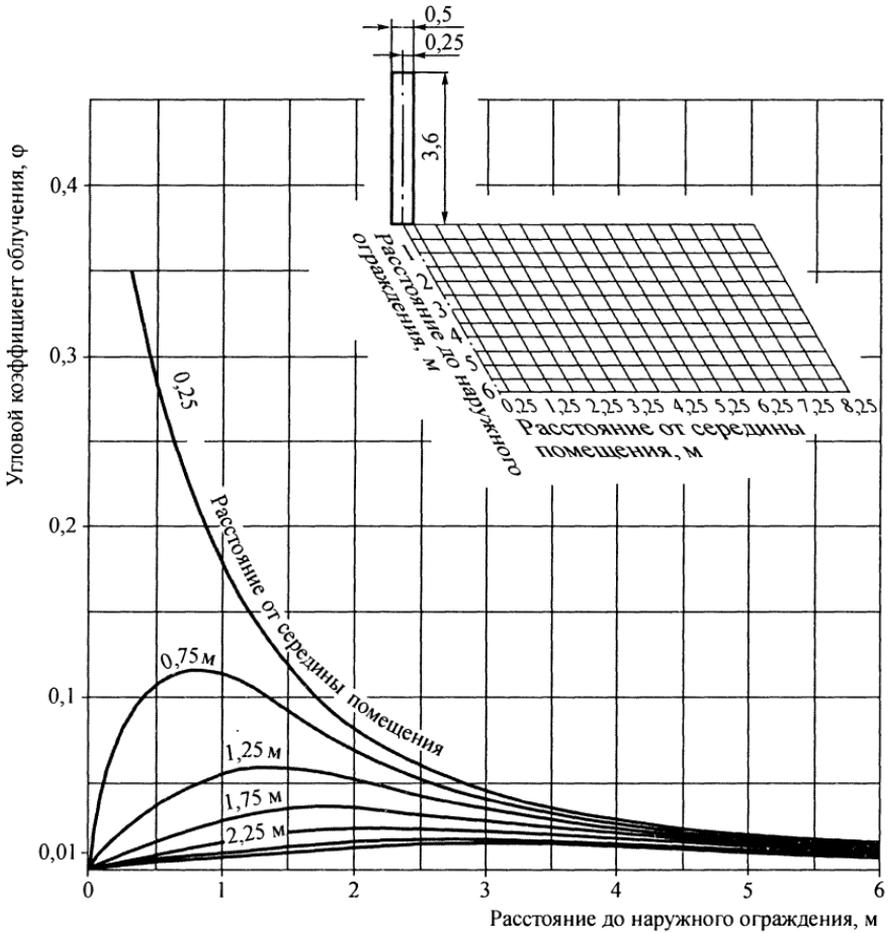


Рис. П5.3. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $3,6 \times 0,5$  м

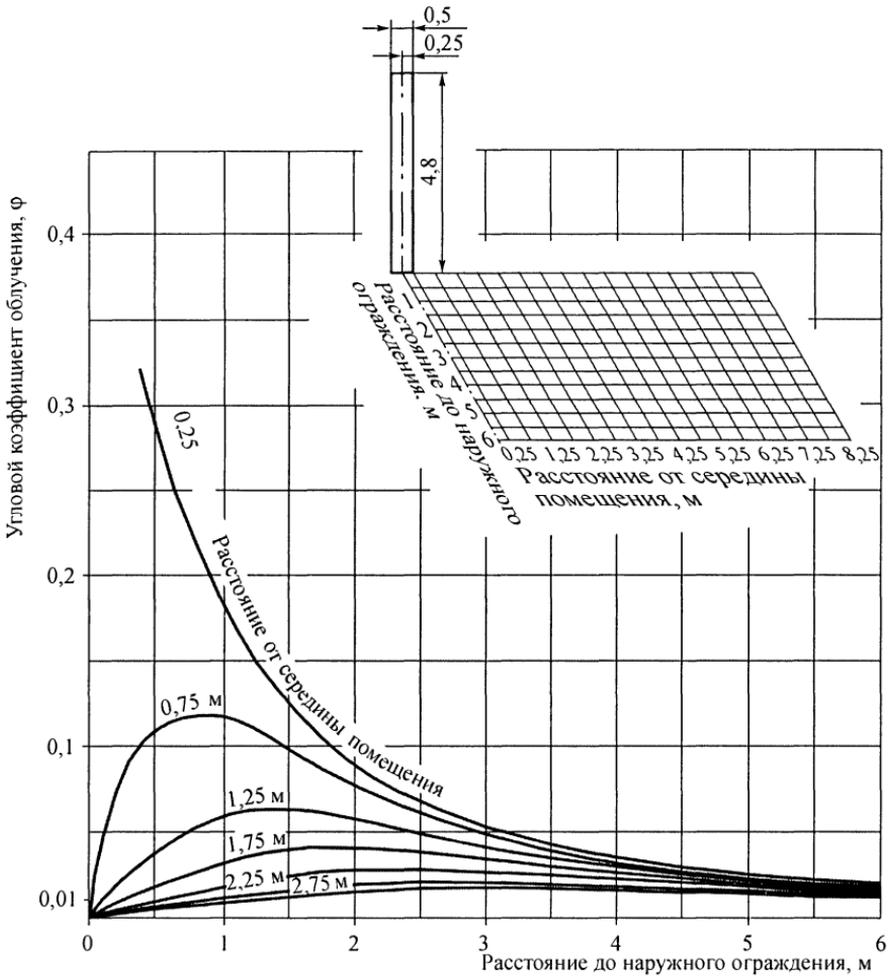


Рис. П5.4. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $4,8 \times 0,5$  м

Приложение П6

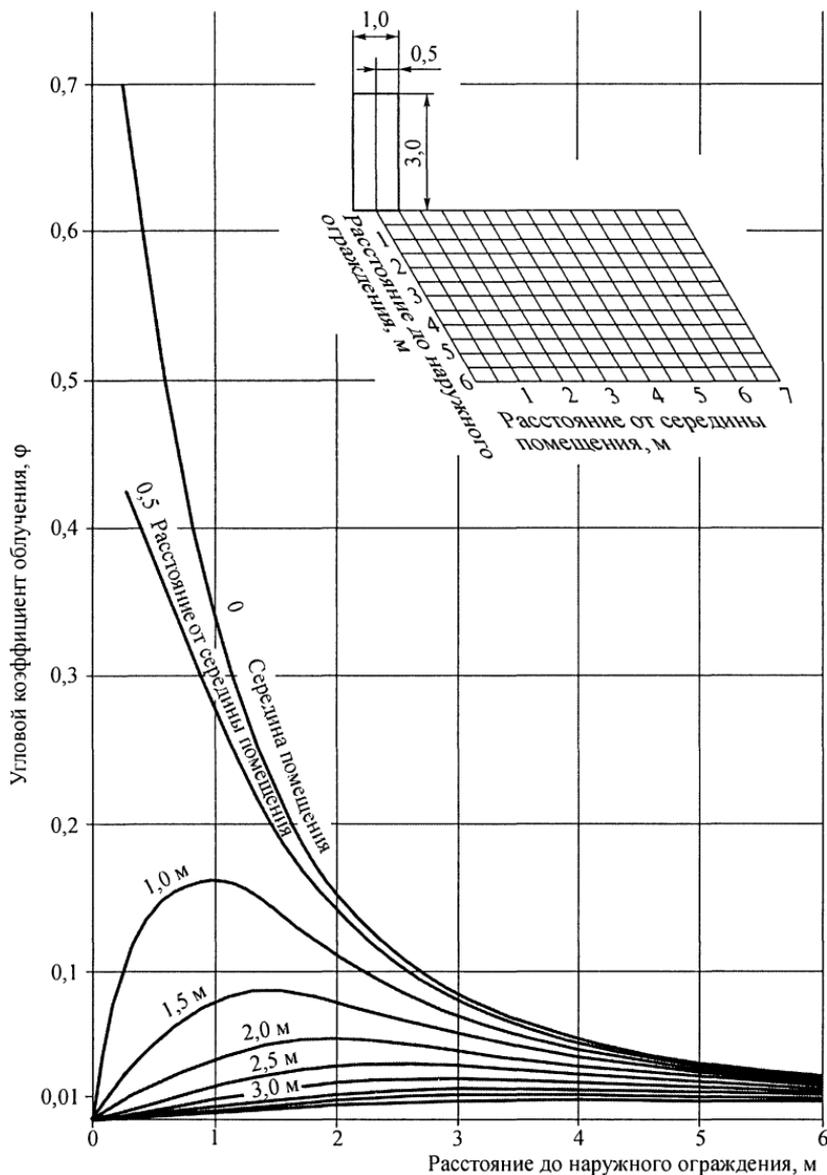


Рис. П6.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,0 × 1,0 м

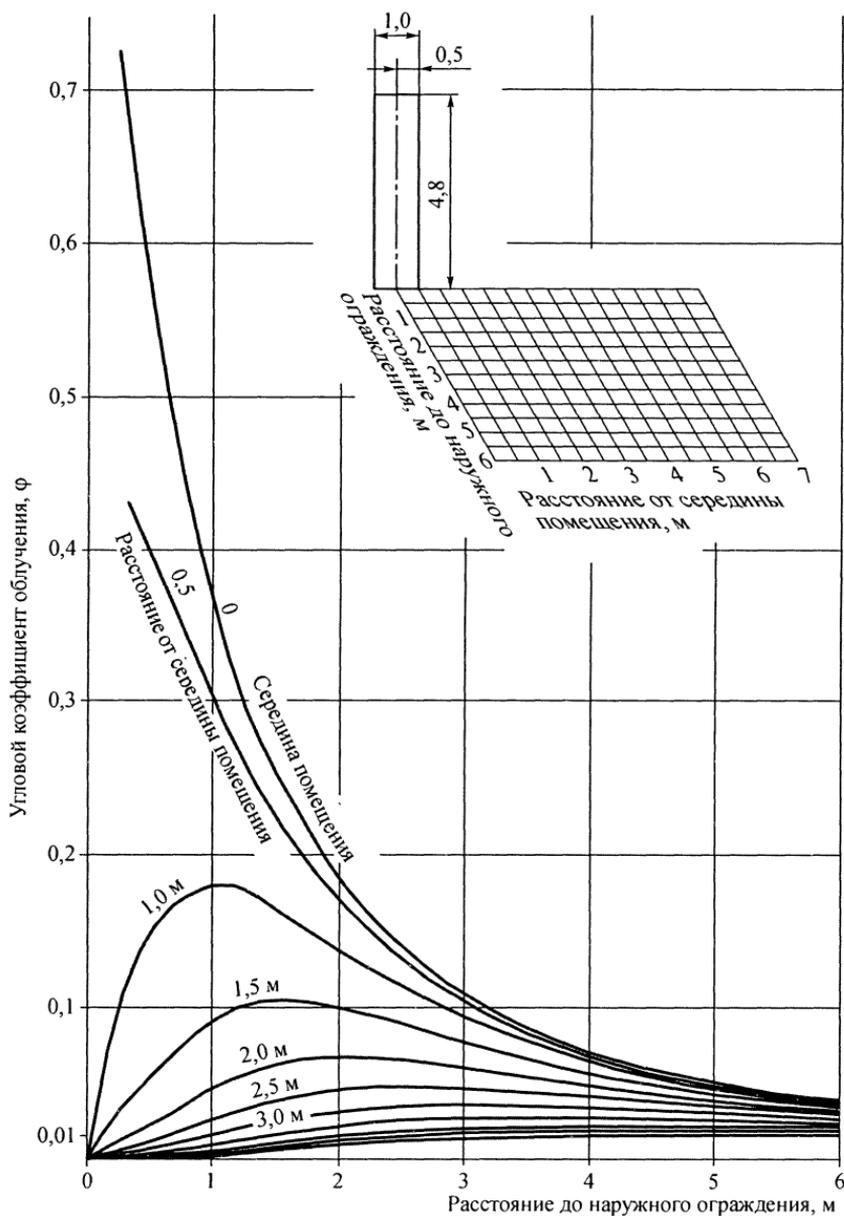


Рис. П6.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $4,8 \times 1,0$  м

Приложение П7

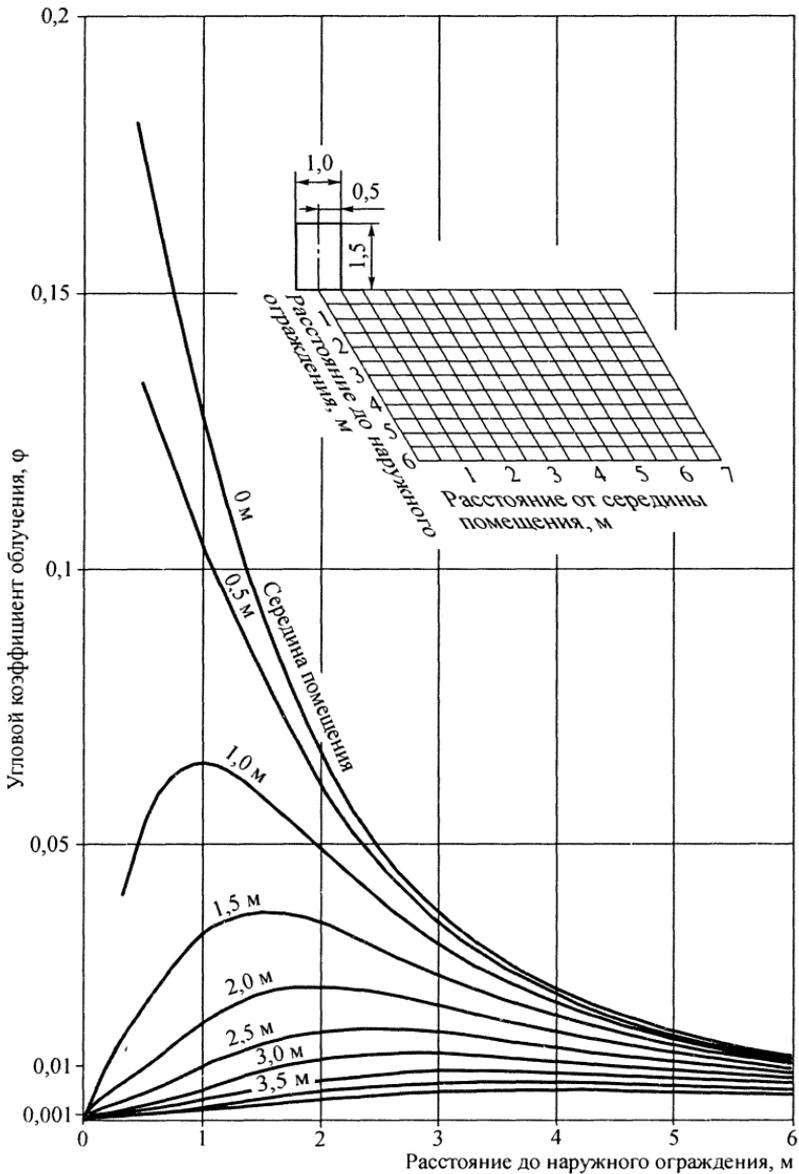


Рис. П7.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 1,5 × 1,0 м

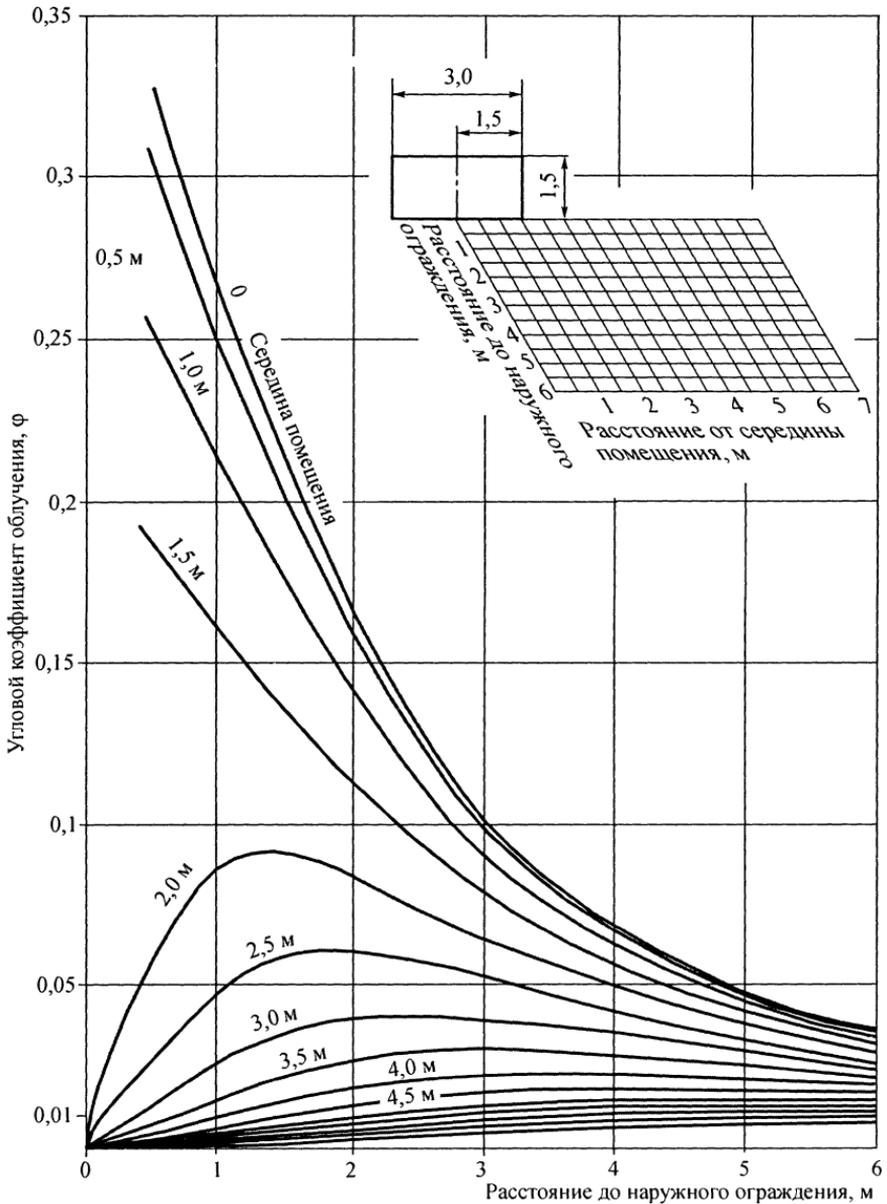


Рис. П7.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 1,5 × 3,0 м

Приложение П8

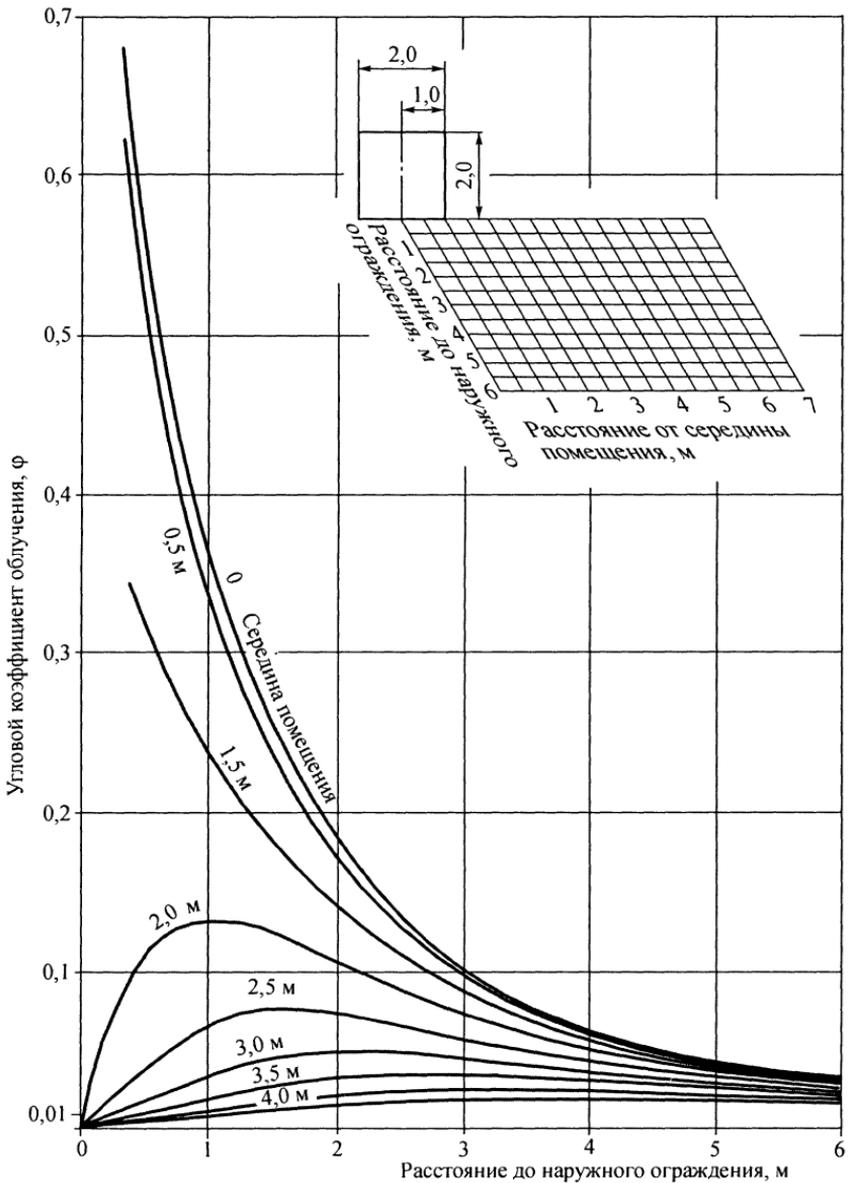


Рис. П8.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,0 × 2,0 м

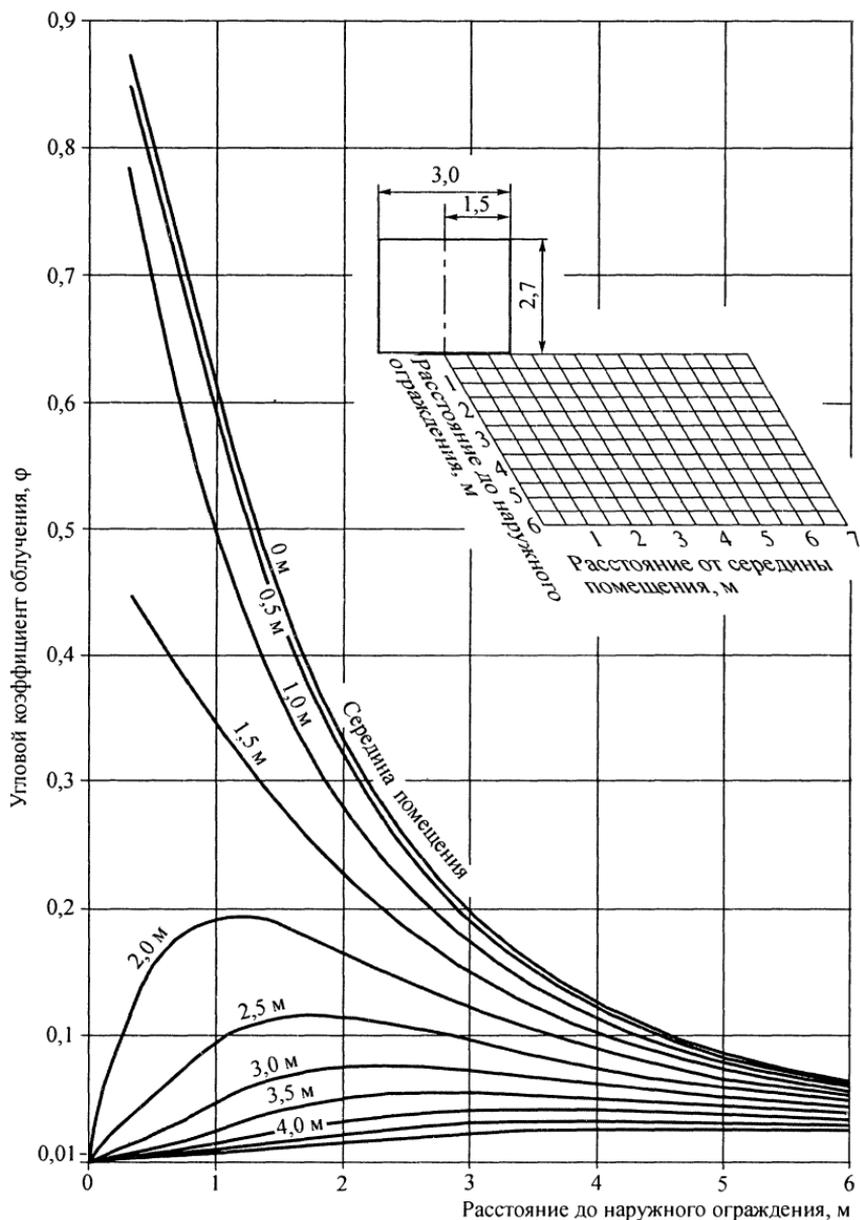


Рис. П8.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $2,7 \times 3,0$  м

Приложение П9

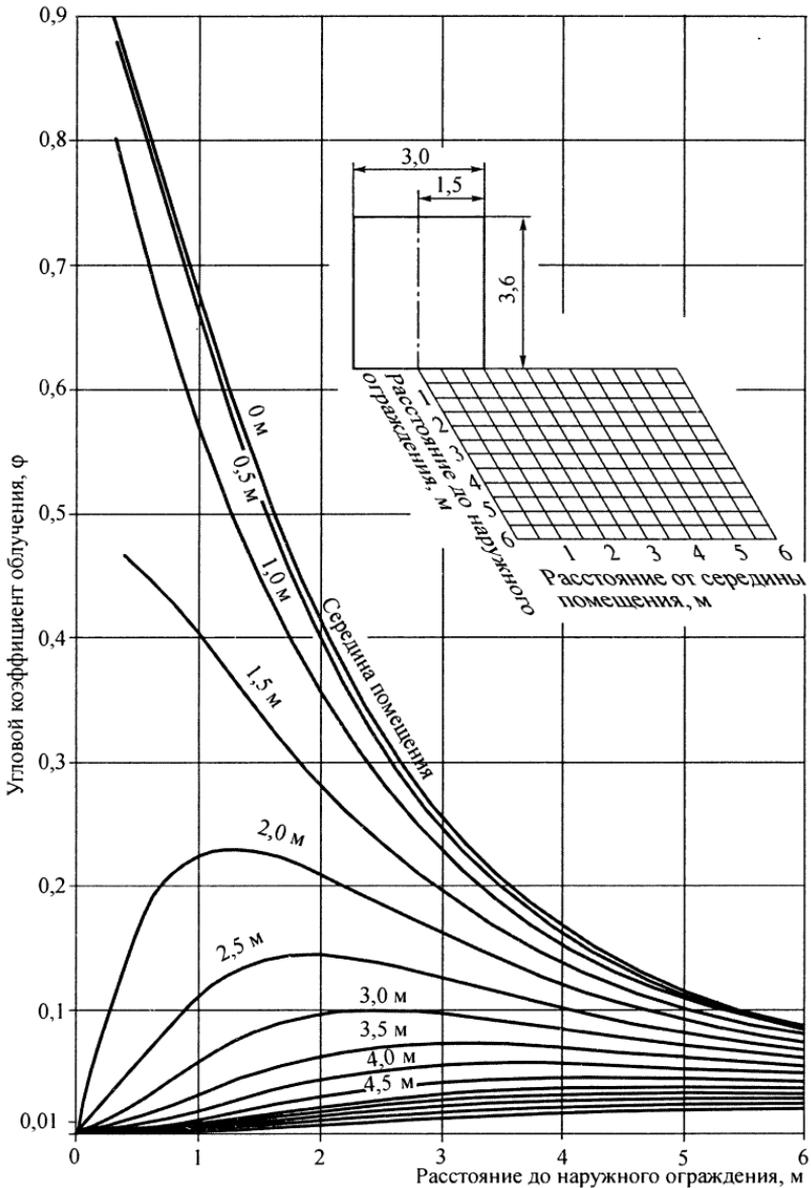


Рис. П9.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,6 × 3,0 м

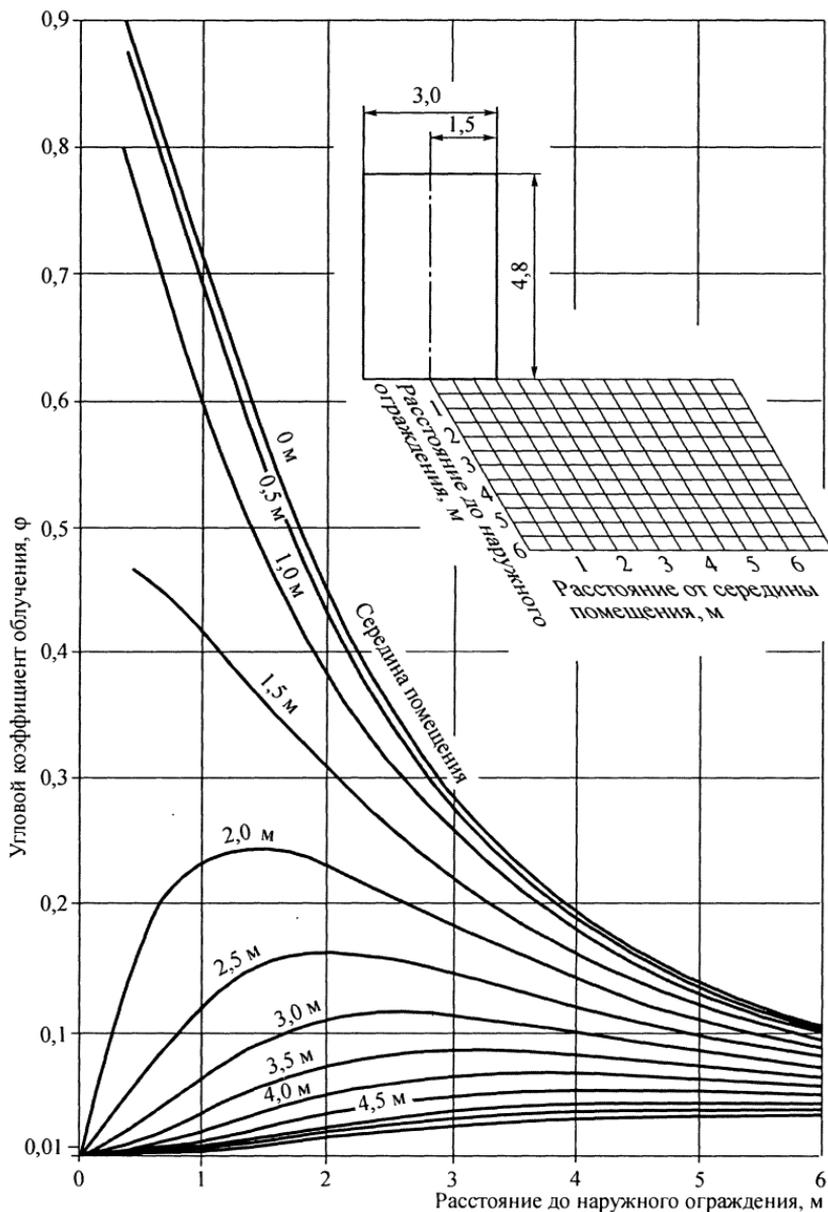


Рис. П9.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $4,8 \times 3,0$  м

Приложение П10

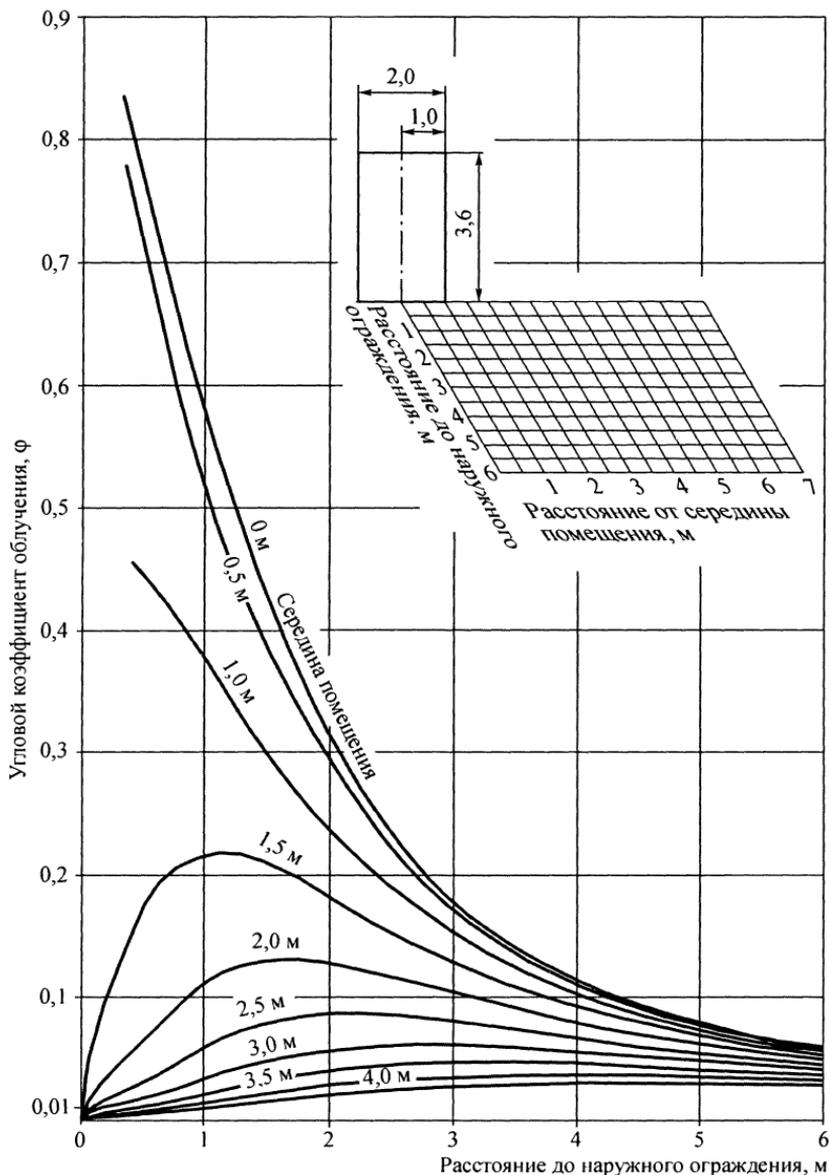


Рис. П10.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,6 × 2,0 м

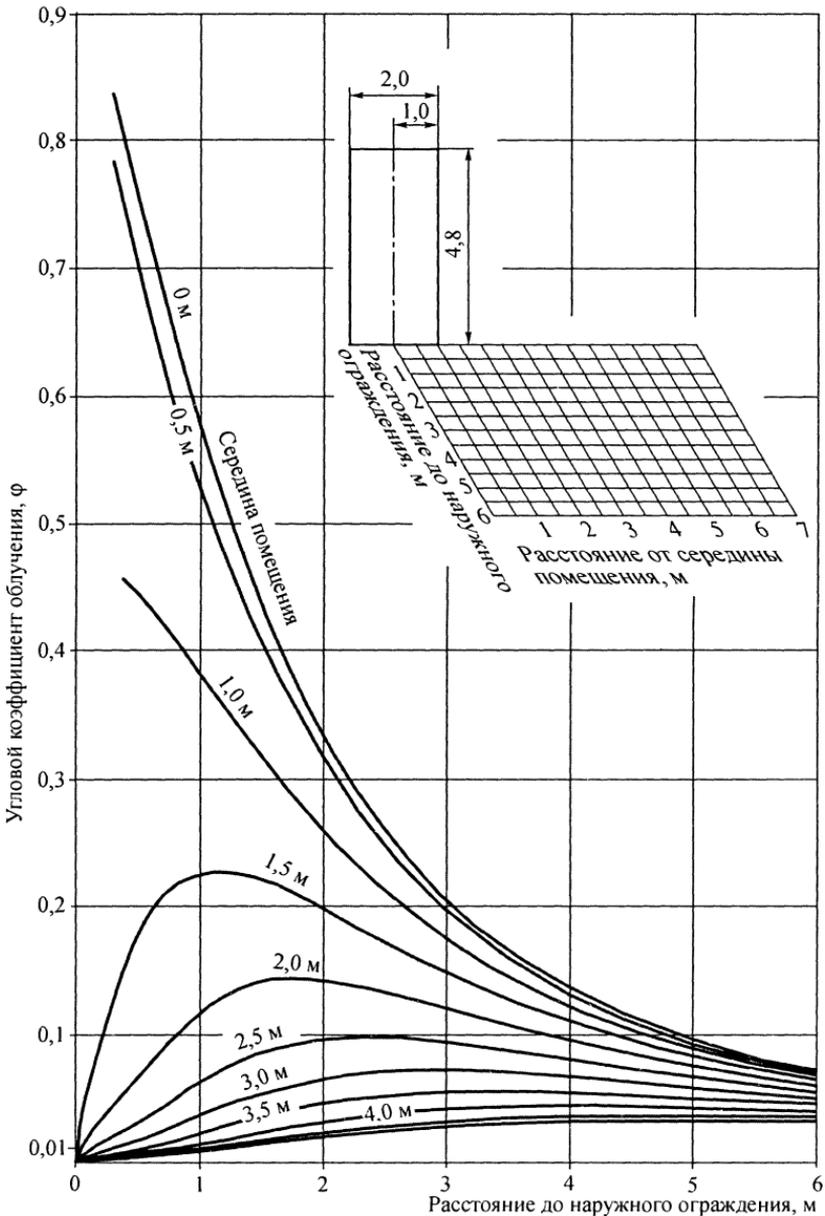


Рис. П10.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $4,8 \times 2,0$  м

Приложение П11

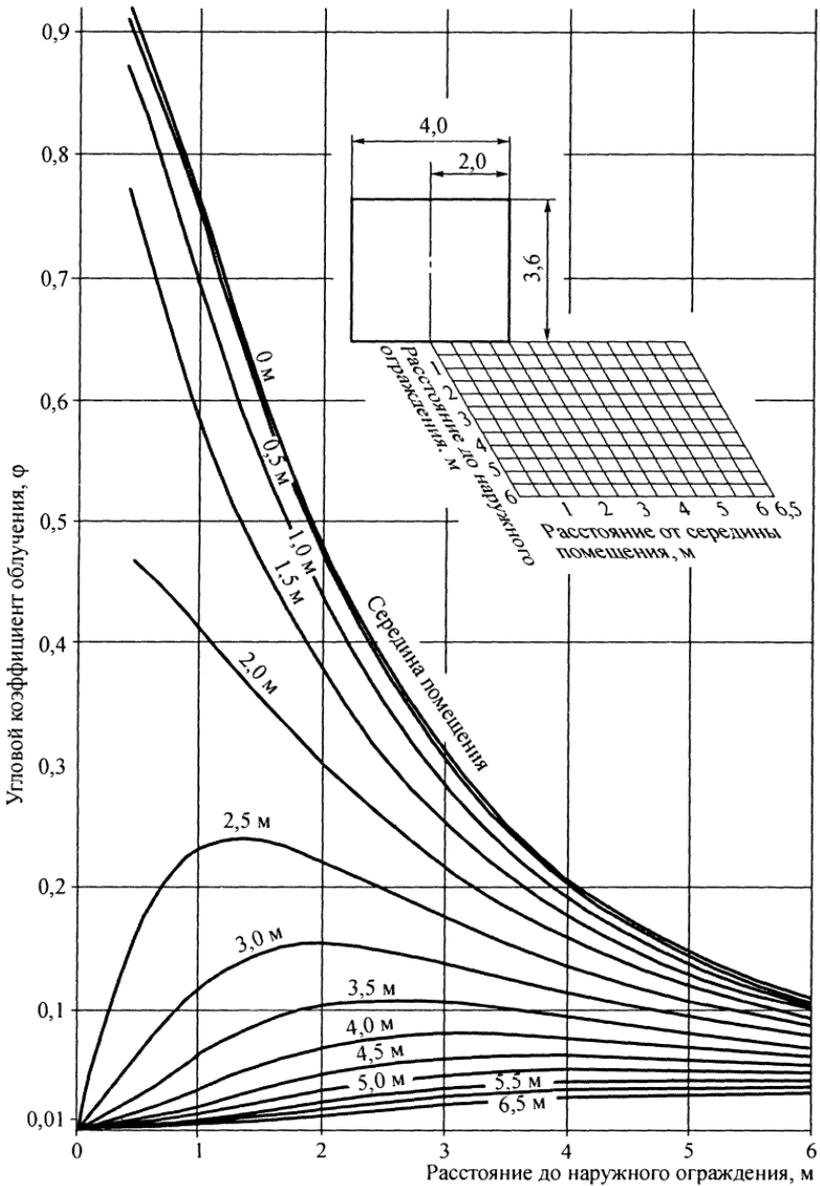


Рис. П11.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,6 × 4,0 м

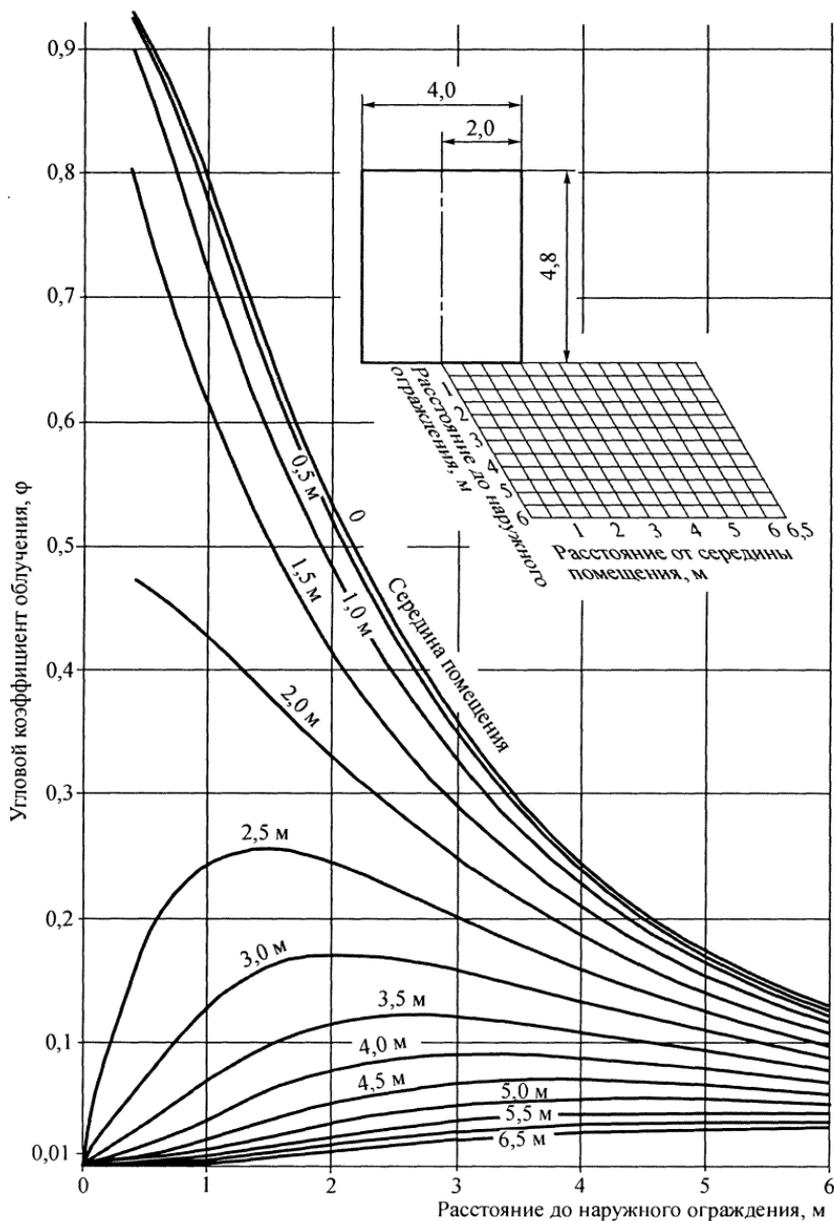


Рис. П11.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером  $4,8 \times 4,0$  м

Приложение П12

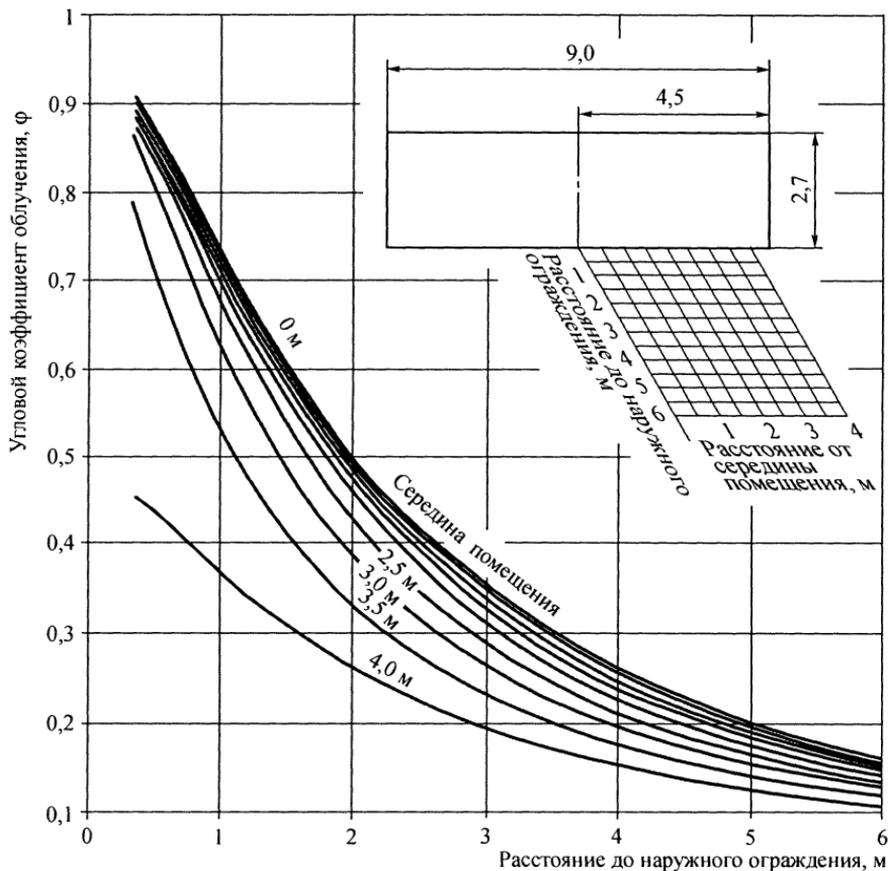


Рис. П12.1. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 2,7 × 9,0 м

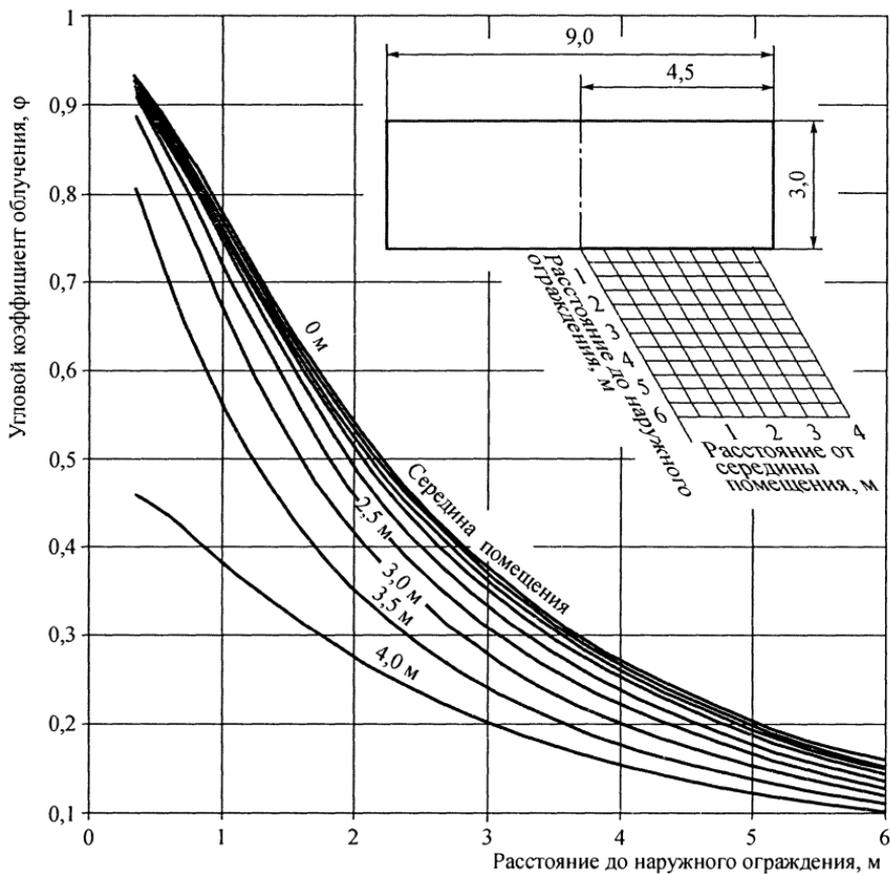


Рис. П12.2. Коэффициент облучения с поверхности тела человека на вертикальную поверхность размером 3,0 × 9,0 м



| Участок поверхности тела | Вид материала                         | Толщина материала, мм | Масса 1 м <sup>2</sup> , кг | Объемная масса ткани, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности, (Вт/м °С) | Термическое сопротивление слоя материала, м <sup>2</sup> °С/Вт |       | Полный охват участка тела, м | Масса 1 м <sup>2</sup> пакета одежды, кг | Объемный вес 1 м <sup>2</sup> пакета одежды, кг/м <sup>3</sup> | Общая толщина пакета одежды, м | Величина прибавки, м | Средняя воздушных прослоек, м | Термическое сопротивление теплопередаче воздушной прослойки, м <sup>2</sup> °С/Вт | $\frac{L_p}{L_1 + 2n\delta_x}$ | Термическое сопротивление теплопередаче пакета одежды на участке тела с учетом его кривизны, м <sup>2</sup> °С/Вт |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|---|--|-------|------------------------------|--|--|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|
|                          |                                       |                       |                             |   |   | 0,013  | 0,022 |                              |  |  |                                |                      |                               |   |                                |   |
| Плечо и предплечье       | Сорочка хлопчатобумажная, полилиновая | 0,55                  | 0,15                        | 220                                     | 0,052                                   | 0,013  | 0,013 | 0,25                         | 0,55                                     | 253  | 0,000183                       | 0,016                | 0,0007                        | 0,018   | 0,96                           | $0,069 \times 0,96 = 0,067$   |
|                          |                                       | 1,0                   | 0,3                         | 300                                     | 0,044                                   | 0,022  | 0,022 |                              |  |  |                                |                      |                               |   |                                |   |
|                          |                                       | 0,28                  | 0,1                         | 150                                     | 0,046                                   | 0,014  | 0,014 |                              |  |  |                                |                      |                               |   |                                |   |
| Бедро                    | Брюки полушерстяные                   | 1,0                   | 0,3                         | 300                                     | 0,044                                   | 0,022  | 0,022 | 0,46                         | 0,4                                      | 267,1  | 0,000128                       | 0,02                 | 0,0019                        | 0,049   | 0,97                           | $0,085 \times 0,97 = 0,082$   |
|                          |                                       | 0,28                  | 0,1                         | 150                                     | 0,046                                   | 0,014  | 0,014 |                              |  |  |                                |                      |                               |   |                                |   |
| Голень                   | Брюки полушерстяные                   | 1,0                   | 0,3                         | 300                                     | 0,044                                   | 0,022  | 0,022 | 0,35                         | 0,4                                      | 300  | 0,0001                         | 0,025                | 0,003                         | 0,69  | 0,97                           | $0,091 \times 0,97 = 0,089$   |

## Приложение П14

**Значения давления (максимальная упругость) насыщенного водяного пара  $E$ , Па, для различных температур при  $B = 100\ 666$  Па (755 мм рт. ст.)\***

| $t, ^\circ\text{C}$  | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ |
|--|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| <i>Для температур от 0 до <math>-45\ ^\circ\text{C}</math> (над льдом)</i> |                |                     |                |                     |                |                     |                |                     |                |
| 0  | 611            | -5,4                | 388            | -10,6               | 245            | -16                 | 151            | -23                 | 77             |
| -0,2   | 601            | -5,6                | 381            | -10,8               | 241            | -16,2               | 148            | -23,5               | 73             |
| -0,4   | 592            | -5,8                | 375            | -11                 | 237            | -16,4               | 145            | -24                 | 69             |
| -0,6   | 581            | -6                  | 368            | -11,2               | 233            | -16,6               | 143            | -24,5               | 65             |
| -0,8   | 573            | -6,2                | 363            | -11,4               | 229            | -16,8               | 140            | -25                 | 63             |
| -1   | 563            | -6,4                | 356            | -11,6               | 225            | -17                 | 137            | -25,5               | 60             |
| -1,2   | 553            | -6,6                | 351            | -11,8               | 221            | -17,2               | 135            | -26                 | 56             |
| -1,4   | 544            | -6,8                | 344            | -12                 | 217            | -17,4               | 132            | -27                 | 51             |
| -1,6   | 535            | -7                  | 337            | -12,2               | 213            | -17,6               | 129            | -28                 | 45             |
| -1,8   | 527            | -7,2                | 332            | -12,4               | 209            | -17,8               | 128            | -29                 | 41             |
| -2   | 517            | -7,4                | 327            | -12,6               | 207            | -18                 | 125            | -30                 | 37             |
| -2,2   | 509            | -7,6                | 321            | -12,8               | 203            | -18,2               | 123            | -31                 | 33,6           |
| -2,4   | 500            | -7,8                | 315            | -13                 | 199            | -18,4               | 120            | -32                 | 30,3           |
| -2,6   | 492            | -8                  | 309            | -13,2               | 195            | -18,6               | 117            | -33                 | 27,3           |
| -2,8   | 484            | -8,2                | 304            | -13,4               | 191            | -18,8               | 116            | -34                 | 24,7           |
| -3   | 476            | -8,4                | 299            | -13,6               | 188            | -19                 | 113            | -35                 | 22,3           |
| -3,2   | 468            | -8,6                | 293            | -13,8               | 184            | -19,2               | 111            | -36                 | 20,0           |
| -3,4   | 460            | -8,8                | 289            | -14                 | 181            | -19,4               | 109            | -37                 | 17,9           |
| -3,6   | 452            | -9                  | 284            | -14,2               | 179            | -19,6               | 107            | -38                 | 15,9           |
| -3,8   | 445            | -9,2                | 279            | -14,4               | 175            | -19,8               | 105            | -39                 | 14,0           |
| -4   | 437            | -9,4                | 273            | -4,6                | 172            | —                   | —              | -40                 | 12,4           |
| -4,2   | 429            | -9,6                | 268            | -14,8               | 168            | -20                 | 103            | -41                 | 10,9           |
| -4,4   | 423            | -9,8                | 264            | -15                 | 165            | -20,5               | 99             | -42                 | 9,6            |
| -4,6   | 415            | —                   | —              | -15,2               | 163            | -21                 | 93             | -43                 | 8,4            |
| -4,8   | 408            | -10                 | 260            | -15,4               | 159            | -21,5               | 89             | -44                 | 7,3            |
| -5   | 401            | -10,2               | 255            | -15,6               | 156            | -22                 | 85             | -45                 | 6,4            |
| -5,2   | 395            | -10,4               | 251            | -15,8               | 153            | -22,5               | 81             | —                   | —              |

Продолжение прил. П14

| $t, ^\circ\text{C}$                 | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $E, \text{Па}$ |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| <i>Для температур от 0 до 50 °С</i> |                |                     |                |                     |                |                     |                |                     |                |                     |                |
| 0                                   | 611            | 615                 | 620            | 624                 | 629            | 633                 | 639            | 643                 | 648            | 652                 | 0              |
| 1                                   | 657            | 661                 | 667            | 671                 | 676            | 681                 | 685            | 691                 | 696            | 701                 | 1              |
| 2                                   | 705            | 711                 | 716            | 721                 | 727            | 732                 | 737            | 743                 | 748            | 753                 | 2              |
| 3                                   | 759            | 764                 | 769            | 775                 | 780            | 785                 | 791            | 796                 | 803            | 808                 | 3              |
| 4                                   | 813            | 819                 | 825            | 831                 | 836            | 843                 | 848            | 855                 | 860            | 867                 | 4              |
| 5                                   | 872            | 879                 | 885            | 891                 | 897            | 904                 | 909            | 916                 | 923            | 929                 | 5              |
| 6                                   | 935            | 941                 | 948            | 955                 | 961            | 968                 | 975            | 981                 | 988            | 995                 | 6              |
| 7                                   | 1001           | 1023                | 1016           | 1023                | 1029           | 1037                | 1044           | 1051                | 1059           | 1065                | 7              |
| 8                                   | 1073           | 1080                | 1088           | 1095                | 1103           | 1109                | 1117           | 1125                | 1132           | 1140                | 8              |
| 9                                   | 1148           | 1156                | 1164           | 1172                | 1180           | 1188                | 1196           | 1204                | 1212           | 1220                | 9              |
| 10                                  | 1228           | 1236                | 1244           | 1253                | 1261           | 1269                | 1279           | 1287                | 1295           | 1304                | 10             |
| 11                                  | 1312           | 1321                | 1331           | 1339                | 1348           | 1357                | 1364           | 1375                | 1384           | 1393                | 11             |
| 12                                  | 1403           | 1412                | 1421           | 1431                | 1440           | 1449                | 1459           | 1468                | 1479           | 1488                | 12             |
| 13                                  | 1497           | 1508                | 1517           | 1527                | 1537           | 1547                | 1557           | 1568                | 1577           | 1588                | 13             |
| 14                                  | 1599           | 1609                | 1619           | 1629                | 1640           | 1651                | 1661           | 1672                | 1683           | 1695                | 14             |
| 15                                  | 1705           | 1716                | 1727           | 1739                | 1749           | 1761                | 1772           | 1784                | 1795           | 1807                | 15             |
| 16                                  | 1817           | 1829                | 1841           | 1853                | 1865           | 1877                | 1889           | 1901                | 1913           | 1925                | 16             |
| 17                                  | 1937           | 1949                | 1963           | 1975                | 1987           | 2000                | 2012           | 2025                | 2037           | 2051                | 17             |
| 18                                  | 2064           | 2077                | 2089           | 2103                | 2116           | 2129                | 2143           | 2156                | 2169           | 2183                | 18             |
| 19                                  | 2197           | 2211                | 2225           | 2239                | 2252           | 2267                | 2281           | 2295                | 2309           | 2324                | 19             |
| 20                                  | 2339           | 2352                | 2367           | 2381                | 2396           | 2412                | 2427           | 2441                | 2456           | 2472                | 20             |
| 21                                  | 2487           | 2503                | 2517           | 2533                | 2548           | 2564                | 2580           | 2596                | 2612           | 2628                | 21             |
| 22                                  | 2644           | 2660                | 2676           | 2692                | 2709           | 2725                | 2743           | 2759                | 2776           | 2792                | 22             |
| 23                                  | 2809           | 2827                | 2843           | 2860                | 2877           | 2895                | 2913           | 2931                | 2948           | 2965                | 23             |
| 24                                  | 2984           | 3001                | 3020           | 3039                | 3056           | 3075                | 3093           | 3112                | 3131           | 3149                | 24             |
| 25                                  | 3168           | 3187                | 3205           | 3224                | 3244           | 3263                | 3283           | 3301                | 3321           | 3341                | 25             |
| 26                                  | 3361           | 3381                | 3401           | 3421                | 3441           | 3461                | 3483           | 3503                | 3528           | 3544                | 26             |
| 27                                  | 3565           | 3587                | 3608           | 3628                | 3649           | 3672                | 3693           | 3715                | 3736           | 3759                | 27             |
| 28                                  | 3780           | 3801                | 3824           | 3847                | 3869           | 3891                | 3913           | 3937                | 3960           | 3983                | 28             |
| 29                                  | 4005           | 4029                | 4052           | 4076                | 4100           | 4123                | 4147           | 4171                | 4195           | 4219                | 29             |

Окончание прил. П14

| t, °C | E, Па  | t, °C  | E, Па  | t, °C  | E, Па  | t, °C  | E, Па  | t, °C  | E, Па  | t, °C  | E, Па |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 30    | 4243   | 4268   | 4292   | 4317   | 4341   | 4367   | 4391   | 4416   | 4441   | 4467   | 30    |
| 31    | 4493   | 4519   | 4544   | 4571   | 4596   | 4623   | 4648   | 4675   | 4701   | 4728   | 31    |
| 32    | 4755   | 4783   | 4809   | 4836   | 4864   | 4891   | 4919   | 4947   | 4975   | 5003   | 32    |
| 33    | 5031   | 5059   | 5088   | 5116   | 5144   | 5173   | 5203   | 5232   | 5261   | 5291   | 33    |
| 34    | 5320   | 5349   | 5379   | 5409   | 5440   | 5469   | 5500   | 5531   | 5561   | 5592   | 34    |
| 35    | 5624   | 5655   | 5685   | 5717   | 5749   | 5781   | 5813   | 5845   | 5877   | 5909   | 35    |
| 36    | 5941   | 5975   | 6007   | 6040   | 6073   | 6107   | 6140   | 6173   | 6208   | 6241   | 36    |
| 37    | 6276   | 6309   | 6344   | 6379   | 6413   | 6448   | 6484   | 6519   | 6555   | 6589   | 37    |
| 38    | 6625   | 6661   | 6697   | 6735   | 6769   | 6807   | 6843   | 6880   | 6920   | 6955   | 38    |
| 39    | 6992   | 7031   | 7068   | 7105   | 7144   | 7183   | 7221   | 7260   | 7299   | 7337   | 39    |
| 40    | 7376   | 7415   | 7455   | 7495   | 7535   | 7575   | 7615   | 7655   | 7696   | 7737   | 40    |
| 41    | 7779   | 7820   | 7861   | 7903   | 7944   | 7987   | 8029   | 8072   | 8115   | 8157   | 41    |
| 42    | 8200   | 8243   | 8285   | 8329   | 8373   | 8417   | 8461   | 8505   | 8549   | 8595   | 42    |
| 43    | 8640   | 8685   | 8731   | 8776   | 8821   | 8868   | 8915   | 8961   | 9008   | 9055   | 43    |
| 44    | 9101   | 9148   | 9196   | 9244   | 9292   | 9340   | 9388   | 9436   | 9485   | 9535   | 44    |
| 45    | 9584   | 9633   | 9683   | 9732   | 9781   | 9832   | 9883   | 9933   | 9984   | 10 035 | 45    |
| 46    | 10 087 | 10 139 | 10 191 | 10 243 | 10 295 | 10 347 | 10 400 | 10 453 | 10 507 | 10 560 | 46    |
| 47    | 10 613 | 10 667 | 10 721 | 10 776 | 10 831 | 10 885 | 10 940 | 10 995 | 11 049 | 11 105 | 47    |
| 48    | 11 161 | 11 217 | 11 275 | 11 332 | 11 389 | 11 447 | 11 504 | 11 561 | 11 619 | 11 677 | 48    |
| 49    | 11 736 | 11 795 | 11 853 | 11 912 | 11 972 | 12 032 | 12 092 | 12 152 | 12 212 | 12 273 | 49    |
| 50    | 12 335 | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —     |

Таблица взята из книги: К. Ф. Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю. А. Табунщикова и В. Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006.

Технические характеристики действующего оборудования в швейном цехе

| № | Наименование оборудования                   | Габариты машины, мм | Скорость об/мин | Вес, кг | Установленная мощность электродвигателя, кВт | Кэффицент спроса $K_{сн}$ | Кэффицент выделения тепла в помещении $K_{в}$ | Средняя удельная тепловыделность машины, Вт/(кг °С) | Развернутая поверхность машины, м <sup>2</sup> | Количество машин в цехе |
|---|---|---------------------|-----------------|---------|--|---------------------------|---|---|--|-------------------------|
| 1 | Швейная машина класса 887-260 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 260     | 5000            | 35      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 12                      |
| 2 | Швейная машина класса 885-260 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 350     | 5000            | 35      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 56                      |
| 3 | Швейная машина класса 881-260 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 260     | 5000            | 35      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 8                       |
| 4 | Швейная машина класса 830-161 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 350     | 4250            | 35      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 4                       |
| 5 | Швейная машина класса 830-103 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 260     | 5000            | 30      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 8                       |
| 6 | Швейная машина класса 831-130 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 260     | 4250            | 30      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 5                       |
| 7 | Швейная машина класса 832-100 фирмы «Некки» | 475 × 178 × 250     | 3150            | 30      | 0,4  | 0,66                      | 1   | 0,133   | 0,41   | 1                       |

| №  | Наименование оборудования                      | Габариты машины, мм | Скорость об/мин | Вес, кг | Установленная мощность электродвигателя, кВт | Коэффициент спроса $K_{сп}$ | Коэффициент выделения тепла в помещении $K_{в}$ | Средняя удельная теплоемкость машины, Вт/(кг °С) | Развернутая поверхность машины, м <sup>2</sup> | Количество машин в цехе |
|----|--|---------------------|-----------------|---------|--|-----------------------------|---|--|--|-------------------------|
| 8  | Швейная машина класса 830-103 фирмы «Некки»    | 475 × 178 × 360     | 5000            | 30      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,41   | 7                       |
| 9  | Швейная машина класса ДД-155 фирмы «Джуки»     | 477 × 178 × 250     | 5000            | 36      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,41   | 5                       |
| 10 | Петельная машина класса 405-100 фирмы «Некки»  | 520 × 230 × 380     | 2600            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,43   | 6                       |
| 11 | Петельная машина класса 403-100 фирмы «Некки»  | 520 × 230 × 380     | 2600            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,43   | 3                       |
| 12 | Петельная машина класса 401-110 фирмы «Некки»  | 520 × 230 × 380     | 2600            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,43   | 4                       |
| 13 | Пуговичная машина класса 440-100 фирмы «Некки» | 550 × 300 × 400     | 1200            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,40   | 6                       |
| 14 | Пуговичная машина класса 440-200 фирмы «Некки» | 550 × 300 × 400     | 1200            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,40   | 2                       |
| 15 | Пуговичная машина класса 440-210 фирмы «Некки» | 550 × 300 × 400     | 1200            | 45      | 0,4  | 0,66                        | 1   | 0,133  | 0,40   | 3                       |

## Приложение П16

## Расчетные параметры наружного воздуха

| Город        | Расчетная географическая широта, град с.ш. | Период года        | Параметры А             |                          |                     | Параметры Б             |                            |                     |
|--------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
|              |  |                    | Температура воздуха, °С | Удельная энергия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с | Температура воздуха, °С | Удельная энтальпия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с |
| Астрахань    | 48   | Теплый<br>Холодный | 29,5<br>-8              | 61,1<br>-4,2             | 3,6<br>9            | 33<br>-23               | 64,5<br>-21,9              | 3,6<br>8            |
| Барнаул      | 52   | Теплый<br>Холодный | 23,9<br>-23             | -51,9<br>-22,2           | 1<br>2,9            | 28,3<br>-39             | 55,7<br>-38,9              | 1<br>2              |
| Благовещенск | 52   | Теплый<br>Холодный | 25,1<br>-25             | 57,8<br>-24,3            | 1<br>2,5            | 28,5<br>-34             | 63,6<br>-33,9              | 4,2<br>1            |
| Брянск       | 52   | Теплый<br>Холодный | 22,5<br>-13             | 49,8<br>-10,5            | 1<br>5,2            | 27,3<br>-26             | 53,2<br>-25                | 1<br>6              |
| Великие Луки | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,7<br>-12             | 49<br>-9,2               | 1<br>4              | 25,7<br>-27             | 53,2<br>-26,8              | 1<br>3,2            |
| Владивосток  | 44   | Теплый<br>Холодный | 23,6<br>-16             | 57,8<br>-14,2            | 4,7<br>14,8         | 23,4<br>-24             | 61,5<br>-25,3              | 4,7                 |
| Владимир     | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,4<br>-16             | 49,4<br>-14,2            | 3,3<br>4,4          | 26,7<br>-28             | 52,8<br>-27,8              | 3,3<br>3,5          |
| Вологда      | 60   | Теплый<br>Холодный | 21,1<br>-16             | 50,2<br>-14,2            | 1<br>5,8            | 27,2<br>-31             | 55,3<br>-30,6              | 1<br>5,2            |
| Волгоград    | 48   | Теплый<br>Холодный | 28,6<br>-13             | 55,3<br>-10,5            | 5,2<br>9,1          | 33<br>-25               | 57,8<br>-23,9              | 5,2<br>8            |
| Воронеж      | 52   | Теплый<br>Холодный | 24,2<br>-14             | 52,3<br>-11,7            | 3,3<br>6            | 28,9<br>-26             | 54,8<br>-25,3              | 3,3<br>5,7          |
| Екатеринбург | 56   | Теплый<br>Холодный | 20,7<br>-20             | 48,1<br>-18,8            | 4<br>4,7            | 28,7<br>-35             | 51,1<br>-34,6              | 4<br>5,2            |
| Енисейск     | 60   | Теплый<br>Холодный | 22,3<br>-28             | 48,1<br>-27,6            | 1<br>2,8            | 27,7<br>-46             | 52,8<br>-46,3              | 1<br>2              |
| Иваново      | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,2<br>-16             | 49,8<br>-14,2            | 2,8<br>-29          | 27<br>-29               | 52,8<br>-28,6              | 2,8<br>3,6          |
| Иркутск      | 52   | Теплый<br>Холодный | 22,7<br>-25             | 50,2<br>-24,3            | 2,2<br>2            | 26,9<br>-37             | 53,6<br>-37,1              | 2,2<br>2,8          |

Продолжение прил. П16

| Город           | Расчетная географическая широта, град с.ш. | Период года        | Параметры А             |                          |                     | Параметры Б             |                            |                     |
|-----------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
|                 |  |                    | Температура воздуха, °С | Удельная энергия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с | Температура воздуха, °С | Удельная энтальпия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с |
| Казань          | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,8<br>-18             | 51,1<br>-16,3            | 3,8<br>4            | 27,3<br>-35             | 54,8<br>-31,7              | 3,8<br>4            |
| Калининград     | 56   | Теплый<br>Холодный | 20,6<br>-7              | 48,6<br>-2,9             | 4,3<br>7,8          | 24,1<br>-18             | 52,8<br>-16,3              | 4,3<br>7            |
| Калуга          | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,4<br>-14             | 50,2<br>-11,7            | 1<br>4,8            | 26,3<br>-27             | 53,6<br>-26,5              | 1<br>3,2            |
| Кемерово        | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,8<br>-24             | 50,2<br>-24,3            | 1<br>3,7            | 27,3<br>-39             | 53,2<br>-38,9              | 1<br>3,2            |
| Киров           | 60   | Теплый<br>Холодный | 20,9<br>-19             | 50,7<br>-17,6            | 4<br>8,4            | 28,1<br>-33             | 56,9<br>-32,6              | 4<br>5,4            |
| Кострома        | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,1<br>-16             | 49,8<br>-14,2            | 4,2<br>4,8          | 25,8<br>-31             | 53,6<br>+30,7              | 4,2<br>4            |
| Краснодар       | 44   | Теплый<br>Холодный | 28,6<br>-5              | 59,5<br>0                | 1<br>4,4            | 30,8<br>-19             | 63,6<br>-17,6              | 1<br>3,1            |
| Красноярск      | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,5<br>-22             | 4,-9,4<br>-20,9          | 1<br>1,8            | 25,9<br>-40             | 51,9<br>-40,2              | 1<br>1              |
| Курск           | 52   | Теплый<br>Холодный | 22,9<br>-14             | 51<br>-11,7              | 3,5<br>6,7          | 27,8<br>-26             | 53,6<br>-25                | 3,5<br>6,3          |
| Липецк          | 52   | Теплый<br>Холодный | 24,4<br>-15             | 50,2<br>-13              | 4,1<br>5,6          | 28,7<br>-27             | 54,8<br>-26,5              | 4,1<br>5,4          |
| Магнитогорск    | 52   | Теплый<br>Холодный | 22,8<br>-22             | 49,4<br>-20,9            | 1<br>4,1            | 27,4<br>-34             | 52,3<br>-33,9              | 1<br>4              |
| Махачкала       | 44   | Теплый<br>Холодный | 26,9<br>-2              | 63,6<br>-4,2             | 4,9<br>9            | 31,6<br>-14             | 67<br>-11,7                | 4,9<br>7,2          |
| Москва          | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,3<br>-15             | 49,4<br>-11,7            | 1<br>4,7            | 28,5<br>-26             | 54<br>-25,3                | 1,4                 |
| Мурманск        | 68   | Теплый<br>Холодный | 16,6<br>-18             | 41,4<br>-16,3            | 3,8<br>8,7          | 22<br>-27               | 42,7<br>-26,6              | 3,8<br>8,4          |
| Нижний Новгород | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,2<br>-16             | 51,1<br>-14,2            | 1<br>4,1            | 26,8<br>-30             | 54,9<br>-29,7              | 1<br>4              |

Продолжение прил. П16

| Город                    | Расчетная географическая широта, град с.ш. | Период года        | Параметры А             |                          |                     | Параметры Б             |                            |                     |
|--------------------------|--|--------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
|                          |  |                    | Температура воздуха, °С | Удельная энергия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с | Температура воздуха, °С | Удельная энтальпия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с |
| Новгород                 | 60   | Теплый<br>Холодный | 20,8<br>-12             | 48,6<br>-9,2             | 4<br>5              | 24,5<br>-27             | 52,8<br>-26,8              | 4<br>5              |
| Новокузнецк              | 52   | Теплый<br>Холодный | 24,1<br>-23             | 51,5<br>-22,2            | 1<br>2,5            | 27,5<br>-39             | 54,4<br>-38,1              | 1<br>2              |
| Новосибирск              | 44   | Теплый<br>Холодный | 22,7<br>-24             | 50,2<br>-23              | 1<br>3,7            | 28,4<br>-39             | 54,8<br>-38,9              | 2<br>27             |
| Омск                     | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,4<br>-23             | 49,4<br>-22,2            | 3,7<br>6            | 27,7<br>-37             | 53,6<br>-36,8              | 3,7<br>5            |
| Орел                     | 52   | Теплый<br>Холодный | 23,1<br>-13             | 49,8<br>-10,5            | 3,9<br>5,2          | 27,7<br>-26             | 53,6<br>-25,3              | 3,9<br>5            |
| Оренбург                 | 52   | Теплый<br>Холодный | 26,9<br>-20             | 51,9<br>-18,8            | 3,9<br>4,6          | 31,4<br>-31             | 54,4<br>-30,5              | 3,9<br>4,9          |
| Пенза                    | 52   | Теплый<br>Холодный | 23,8<br>-17             | 51,1<br>-15,5            | 1<br>4,4            | 28,4<br>-29             | 54<br>-28,8                | 1<br>3,8            |
| Пермь                    | 56   | Теплый<br>Холодный | 21,8<br>-20             | 50,2<br>-18,9            | 1<br>1,9            | 26,3<br>-35             | 53,2<br>-34,9              | 1<br>4,2            |
| Петропавловск-Камчатский | 56   | Теплый<br>Холодный | 23<br>-24               | 49<br>-23                | 4,5<br>5            | 28,8<br>-36             | 51,9<br>-36,2              | 4,5<br>6            |
| Пятигорск                | 44   | Теплый<br>Холодный | 26,3<br>-8              | 61,5<br>-4,2             | 1<br>6,3            | 30,6<br>-18             | 63,6<br>-16,3              | 1<br>5,3            |
| Ростов-на-Дону           | 48   | Теплый<br>Холодный | 27,3<br>-8              | 57,4<br>-4,2             | 3,6<br>12           | 31,9<br>-22             | 60,7<br>-20,9              | 3,6<br>8            |
| Рязань                   | 56   | Теплый<br>Холодный | 22,8<br>-16             | 49,8<br>-14,2            | 4,1<br>4,8          | 27,3<br>-27             | 53,6<br>-26,8              | 4,1<br>3            |
| Самара                   | 52   | Теплый<br>Холодный | 24,3<br>-18             | 52,8<br>-16,3            | 3,2<br>4,6          | 29,7<br>-30             | 55,3<br>-29,8              | 3,2<br>5            |
| Санкт-Петербург          | 60   | Теплый<br>Холодный | 20,6<br>-11             | 48,1<br>-8               | 1<br>3,5            | 24,8<br>-26             | 51,5<br>-25,3              | 1<br>3              |
| Саратов                  | 52   | Теплый<br>Холодный | 25,4<br>-16             | 53,6<br>-14,2            | 4,3<br>5,3          | 30,5<br>-27             | 56,5<br>-26,3              | 4,3<br>5            |

Окончание прил. П16

| Город     | Расчетная географическая широта, град с.ш. | Период года | Параметры А             |                          |                     | Параметры Б             |                            |                     |
|-----------|--|-------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
|           |  |             | Температура воздуха, °С | Удельная энергия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с | Температура воздуха, °С | Удельная энтальпия, кДж/кг | Скорость ветра, м/с |
| Смоленск  | 56   | Теплый      | 20,8                    | 49                       | 3,2                 | 25,3                    | 53,2                       | 3,2                 |
|           |  | Холодный    | -13                     | -10,5                    | 4,7                 | -26                     | -25,5                      | 4,2                 |
| Сочи      | 44   | Теплый      | 25,9                    | 66,2                     | 1                   | 30,2                    | 69,5                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | 2                       | 9,6                      | 5,2                 | -3                      | 2,1                        | 4                   |
| Тамбов    | 52   | Теплый      | 24,5                    | 52,3                     | 2,8                 | 28,9                    | 54,4                       | 2,8                 |
|           |  | Холодный    | -15                     | -13                      | 4,5                 | -28                     | -27,8                      | 3                   |
| Тверь     | 56   | Теплый      | 21,7                    | 49,4                     | 1                   | 26,6                    | 52,8                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | -15                     | -13                      | 4,7                 | -29                     | -27,6                      | 3,2                 |
| Томск     | 56   | Теплый      | 21,7                    | 49                       | 1                   | 25,9                    | 52,8                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | -25                     | -24,3                    | 4,7                 | -40                     | -40,2                      | 3                   |
| Тула      | 56   | Теплый      | 22,2                    | 50,2                     | 3,4                 | 27                      | 53,6                       | 3,4                 |
|           |  | Холодный    | -14                     | -11,7                    | 4,5                 | -27                     | -26,6                      | 3                   |
| Тюмень    | 56   | Теплый      | 22,4                    | 51,5                     | 1                   | 28                      | 55,3                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | -21                     | -19,7                    | 5,6                 | -37                     | -37,2                      | 4,6                 |
| Уфа       | 56   | Теплый      | 23,4                    | 50,7                     | 1                   | 28                      | 54,4                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | -19                     | -17,6                    | 3,4                 | -35                     | -34,5                      | 4,2                 |
| Хабаровск | 48   | Теплый      | 24,1                    | 60,7                     | 4,6                 | 28,4                    | 65                         | 4,6                 |
|           |  | Холодный    | -23                     | -22,2                    | 8,4                 | -31                     | -30,8                      | 6,8                 |
| Чебоксары | 56   | Теплый      | 22,9                    | 51,1                     | —                   | 27                      | 54,4                       | —                   |
|           |  | Холодный    | -18                     | -16,3                    | 5,4                 | -32                     | -31,6                      | 4,8                 |
| Челябинск | 56   | Теплый      | 22,8                    | 48,1                     | 3,2                 | 27,3                    | 52,3                       | 3,2                 |
|           |  | Холодный    | -21                     | -18,8                    | 5                   | -34                     | -33,5                      | 4,8                 |
| Чита      | 52   | Теплый      | 24                      | 49,4                     | 1                   | 25,2                    | 53,2                       | 1                   |
|           |  | Холодный    | -31                     | -29,7                    | 1                   | -38                     | -38,1                      | 1                   |
| Ярославль | 56   | Теплый      | 21,6                    | 49,8                     | 3,9                 | 25,8                    | 52,8                       | 3,9                 |
|           |  | Холодный    | -16                     | -14,2                    | 4,8                 | -31                     | -30,6                      | 4                   |

## Приложение П17

Солнечная радиация  $\left( \frac{\text{прямая}}{\text{рассеянная}} \right)$ , поступающая в июле на горизонтальную поверхность при безоблачном небе, Вт/м<sup>2</sup>

| Широта,<br>град<br>с.ш. | Часы суток до полудня    |                 |                  |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   | Сумма<br>за<br>сутки | Среднее<br>суточное<br>количество |
|-------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
|                         | 2-3                      | 3-4             | 4-5              | 5-6              | 6-7              | 7-8               | 8-9               | 9-10              | 10-11             | 11-12             |                      |                                   |
| 38                      | -                        | -               | -                | $\frac{49}{42}$  | $\frac{161}{84}$ | $\frac{328}{105}$ | $\frac{516}{119}$ | $\frac{635}{133}$ | $\frac{754}{136}$ | $\frac{802}{140}$ | $\frac{6490}{1518}$  | 334                               |
| 40                      | -                        | -               | $\frac{1}{2}$    | $\frac{56}{42}$  | $\frac{168}{84}$ | $\frac{338}{105}$ | $\frac{509}{119}$ | $\frac{635}{126}$ | $\frac{743}{135}$ | $\frac{788}{140}$ | $\frac{6476}{1506}$  | 333                               |
| 42                      | -                        | -               | $\frac{3}{5}$    | $\frac{70}{49}$  | $\frac{174}{84}$ | $\frac{349}{105}$ | $\frac{509}{119}$ | $\frac{628}{126}$ | $\frac{733}{134}$ | $\frac{775}{140}$ | $\frac{6482}{1524}$  | 334                               |
| 44                      | -                        | -               | $\frac{9}{7}$    | $\frac{77}{49}$  | $\frac{181}{84}$ | $\frac{349}{102}$ | $\frac{509}{112}$ | $\frac{621}{126}$ | $\frac{718}{131}$ | $\frac{761}{133}$ | $\frac{6450}{1488}$  | 331                               |
| 46                      | -                        | -               | $\frac{15}{8}$   | $\frac{91}{49}$  | $\frac{195}{84}$ | $\frac{349}{99}$  | $\frac{502}{112}$ | $\frac{607}{126}$ | $\frac{701}{128}$ | $\frac{747}{133}$ | $\frac{6414}{1478}$  | 329                               |
| 48                      | -                        | -               | $\frac{16}{13}$  | $\frac{91}{56}$  | $\frac{209}{84}$ | $\frac{356}{99}$  | $\frac{495}{112}$ | $\frac{593}{126}$ | $\frac{685}{129}$ | $\frac{733}{133}$ | $\frac{6356}{1504}$  | 328                               |
| 50                      | -                        | -               | $\frac{17}{17}$  | $\frac{105}{56}$ | $\frac{216}{84}$ | $\frac{364}{98}$  | $\frac{495}{112}$ | $\frac{585}{126}$ | $\frac{669}{129}$ | $\frac{726}{133}$ | $\frac{6356}{1510}$  | 328                               |
| 52                      | -                        | -               | $\frac{33}{21}$  | $\frac{119}{56}$ | $\frac{223}{84}$ | $\frac{364}{100}$ | $\frac{495}{112}$ | $\frac{586}{119}$ | $\frac{666}{126}$ | $\frac{719}{133}$ | $\frac{6410}{1502}$  | 329                               |
| 54                      | -                        | -               | $\frac{49}{24}$  | $\frac{133}{56}$ | $\frac{223}{82}$ | $\frac{364}{101}$ | $\frac{488}{112}$ | $\frac{579}{119}$ | $\frac{663}{122}$ | $\frac{712}{126}$ | $\frac{6422}{1484}$  | 329                               |
| 56                      | -                        | -               | $\frac{62}{27}$  | $\frac{140}{56}$ | $\frac{237}{77}$ | $\frac{359}{96}$  | $\frac{482}{105}$ | $\frac{572}{119}$ | $\frac{650}{122}$ | $\frac{691}{126}$ | $\frac{6386}{1456}$  | 327                               |
| 58                      | -                        | $\frac{14}{2}$  | $\frac{73}{28}$  | $\frac{154}{56}$ | $\frac{244}{77}$ | $\frac{356}{91}$  | $\frac{468}{105}$ | $\frac{565}{112}$ | $\frac{637}{122}$ | $\frac{670}{126}$ | $\frac{6362}{1438}$  | 325                               |
| 60                      | -                        | $\frac{23}{6}$  | $\frac{83}{31}$  | $\frac{160}{56}$ | $\frac{251}{77}$ | $\frac{359}{87}$  | $\frac{468}{91}$  | $\frac{544}{105}$ | $\frac{615}{105}$ | $\frac{663}{105}$ | $\frac{6332}{1323}$  | 319                               |
| 62                      | -                        | $\frac{37}{9}$  | $\frac{91}{35}$  | $\frac{160}{56}$ | $\frac{251}{77}$ | $\frac{363}{84}$  | $\frac{468}{84}$  | $\frac{530}{98}$  | $\frac{597}{93}$  | $\frac{649}{91}$  | $\frac{6292}{1254}$  | 314                               |
| 64                      | $\frac{15}{7}$           | $\frac{57}{21}$ | $\frac{105}{41}$ | $\frac{174}{56}$ | $\frac{253}{77}$ | $\frac{333}{84}$  | $\frac{468}{84}$  | $\frac{523}{98}$  | $\frac{588}{92}$  | $\frac{628}{91}$  | $\frac{6358}{1302}$  | 319                               |
| 66                      | $\frac{31}{14}$          | $\frac{77}{81}$ | $\frac{119}{45}$ | $\frac{195}{68}$ | $\frac{265}{77}$ | $\frac{363}{84}$  | $\frac{461}{84}$  | $\frac{523}{98}$  | $\frac{579}{91}$  | $\frac{614}{91}$  | $\frac{6454}{1356}$  | 325                               |
| 68                      | $\frac{48}{21}$          | $\frac{97}{42}$ | $\frac{133}{50}$ | $\frac{216}{63}$ | $\frac{272}{77}$ | $\frac{333}{84}$  | $\frac{461}{84}$  | $\frac{523}{91}$  | $\frac{570}{92}$  | $\frac{607}{91}$  | $\frac{6580}{1393}$  | 332                               |
| Широта,<br>град<br>с.ш. | Часы суток после полудня |                 |                  |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                      |                                   |
|                         | 21-22                    | 20-21           | 19-20            | 18-19            | 17-18            | 16-17             | 15-16             | 14-15             | 13-14             | 12-13             |                      |                                   |

Продолжение прил. П17

Солнечная радиация  $\left( \frac{\text{прямая}}{\text{рассеянная}} \right)$ , поступающая в июле на вертикальную поверхность южной ориентации при безоблачном небе, Вт/м<sup>2</sup>

| Широта,<br>град<br>с.ш. | Часы суток до полудня    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Сумма<br>за<br>сутки | Среднее<br>суточное<br>количество |      |      |      |
|-------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-----------------------------------|------|------|------|
|                         | 1-2                      | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   | 7-8   | 8-9   | 9-10  | 10-11 | 11-12 |                      |                                   |      |      |      |
| 38                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 44    | 126   | 197   | 230   | 1194                 | 101                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 24    | 72    | 96    | 105   | 106   | 106   | 106   | 1230                 |                                   |      |      |      |
| 40                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 60    | 150   | 222   | 257   | 1378                 | 110                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 27    | 72    | 95    | 106   | 106   | 109   | 110   | 1250                 |                                   |      |      |      |
| 42                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 4     | 78    | 174   | 249   | 285   | 1580                 | 119                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 30    | 72    | 95    | 106   | 108   | 112   | 113   | 1272                 |                                   |      |      |      |
| 44                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 7     | 99    | 199   | 276   | 314   | 1790                 | 128                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 31    | 73    | 96    | 106   | 110   | 113   | 114   | 1286                 |                                   |      |      |      |
| 46                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 10    | 121   | 224   | 302   | 343   | 2000                 | 138                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 2     | 33    | 73    | 99    | 108   | 114   | 115   | 1320                 |                                   |      |      |      |
| 48                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 28    | 137   | 242   | 327   | 370   | 2208                 | 149                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 7     | 36    | 73    | 99    | 110   | 116   | 118   | 120                  |                                   | 1358 |      |      |
| 50                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 46    | 154   | 260   | 351   | 398   | 2418                 | 159                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 9     | 40    | 76    | 100   | 114   | 119   | 122   | 123                  |                                   | 1406 |      |      |
| 52                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 58    | 171   | 283   | 378   | 424   | 2628                 | 168                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 10    | 43    | 80    | 102   | 114   | 119   | 121   | 123                  |                                   | 1424 |      |      |
| 54                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 70    | 188   | 306   | 405   | 451   | 2840                 | 178                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 13    | 46    | 80    | 105   | 115   | 119   | 121   | 123                  |                                   | 1444 |      |      |
| 56                      | -                        | -     | -     | -     | -     | -     | 83    | 207   | 327   | 428   | 479   | 3048                 | 187                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 16    | 46    | 78    | 101   | 114   | 120   | 122   | 124                  |                                   | 1442 |      |      |
| 58                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 5     | 95    | 226   | 349   | 451   | 508   | 3268                 | 196                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 5     | 20    | 46    | 74    | 96    | 113   | 120   | 124                  |                                   | 126  | 1448 |      |
| 60                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 5     | 108   | 250   | 369   | 471   | 534   | 3474                 | 204                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 7     | 21    | 46    | 72    | 94    | 109   | 116   | 122                  |                                   | 123  | 1420 |      |
| 62                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 7     | 134   | 274   | 388   | 491   | 558   | 3704                 | 213                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 9     | 23    | 46    | 70    | 93    | 106   | 113   | 121                  |                                   | 122  | 1406 |      |
| 64                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 9     | 136   | 279   | 412   | 518   | 582   | 3872                 | 221                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 10    | 28    | 49    | 71    | 93    | 106   | 114   | 121                  |                                   | 121  | 1426 |      |
| 66                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 12    | 140   | 300   | 438   | 543   | 609   | 4084                 | 231                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 6     | 15    | 31    | 51    | 73    | 93    | 106   | 115                  |                                   | 121  | 121  | 1464 |
| 68                      | -                        | -     | -     | -     | -     | 14    | 145   | 320   | 465   | 568   | 637   | 4298                 | 241                               |      |      |      |
|                         |                          |       |       |       | 6     | 10    | 17    | 31    | 51    | 73    | 93    | 106                  |                                   | 115  | 121  | 121  |
| Широта,<br>град<br>с.ш. | Часы суток после полудня |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                      |                                   |      |      |      |
|                         | 22-23                    | 21-22 | 20-21 | 19-20 | 18-19 | 17-18 | 16-17 | 15-16 | 14-15 | 13-14 | 12-13 |                      |                                   |      |      |      |

Солнечная радиация  $\left( \frac{\text{прямая}}{\text{рассеянная}} \right)$ , поступающая в июле на вертикальные поверхности восточной и южной ориентации при безоблачном небе, Вт/м<sup>2</sup>

| Широта, град. с.ш. | Часы суток для восточной ориентации |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          | Среднее суточное количество |     |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------------------------|-----|
|                    | 1-2                                 | 2-3       | 3-4       | 4-5       | 5-6        | 6-7        | 7-8        | 8-9        | 9-10       | 10-11      | 11-12      | 12-13     | 13-14   | 14-15   | 15-16   | 16-17   | 17-18   | 18-19   | 19-20    | 20-21    | 21-22    |                             |     |
| 38                 | -                                   | -         | -         | 5<br>1    | 188<br>49  | 445<br>150 | 541<br>180 | 523<br>165 | 433<br>134 | 273<br>113 | 98<br>101  | -<br>91   | -<br>85 | -<br>85 | -<br>84 | -<br>73 | -<br>59 | -<br>28 | -<br>111 | -<br>111 | -<br>111 | 2506<br>1398                | 163 |
| 40                 | -                                   | -         | -         | 16<br>2   | 243<br>63  | 476<br>151 | 561<br>179 | 542<br>164 | 442<br>134 | 276<br>110 | 101<br>99  | -<br>88   | -<br>84 | -<br>83 | -<br>81 | -<br>73 | -<br>59 | -<br>28 | -<br>111 | -<br>111 | -<br>111 | 2657<br>1399                | 169 |
| 42                 | -                                   | -         | -         | 28<br>5   | 299<br>78  | 506<br>151 | 570<br>178 | 561<br>163 | 451<br>134 | 279<br>108 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>80 | -<br>80 | -<br>74 | -<br>59 | -<br>28 | -<br>111 | -<br>111 | -<br>111 | 2799<br>1404                | 175 |
| 44                 | -                                   | -         | -         | 51<br>7   | 332<br>79  | 514<br>151 | 579<br>177 | 563<br>163 | 452<br>135 | 279<br>108 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>81 | -<br>80 | -<br>73 | -<br>59 | -<br>30 | -<br>111 | -<br>111 | -<br>111 | 2875<br>1409                | 180 |
| 46                 | -                                   | -         | -         | 76<br>8   | 365<br>80  | 523<br>151 | 578<br>174 | 565<br>163 | 454<br>136 | 279<br>108 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>81 | -<br>80 | -<br>72 | -<br>59 | -<br>31 | -<br>2   | -<br>111 | -<br>111 | 2945<br>1411                | 182 |
| 48                 | -                                   | -         | -         | 90<br>16  | 371<br>88  | 536<br>155 | 590<br>174 | 565<br>164 | 454<br>135 | 279<br>110 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>79 | -<br>78 | -<br>72 | -<br>59 | -<br>34 | -<br>6   | -<br>-   | -<br>-   | 2990<br>1436                | 184 |
| 50                 | -                                   | -         | -         | 105<br>23 | 377<br>96  | 549<br>158 | 601<br>174 | 565<br>164 | 454<br>135 | 279<br>113 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>77 | -<br>77 | -<br>72 | -<br>59 | -<br>36 | -<br>9   | -<br>-   | -<br>-   | 3035<br>1459                | 187 |
| 52                 | -                                   | -         | -         | 160<br>29 | 422<br>99  | 564<br>160 | 607<br>174 | 572<br>166 | 457<br>135 | 280<br>113 | 105<br>98  | -<br>87   | -<br>81 | -<br>77 | -<br>77 | -<br>72 | -<br>59 | -<br>39 | -<br>13  | -<br>-   | -<br>-   | 3167<br>1478                | 194 |
| 54                 | -                                   | -         | -         | 5<br>1    | 218<br>33  | 468<br>101 | 579<br>164 | 614<br>174 | 579<br>169 | 461<br>133 | 281<br>113 | 105<br>96 | -<br>87 | -<br>81 | -<br>77 | -<br>72 | -<br>59 | -<br>41 | -<br>16  | -<br>-   | -<br>-   | 3310<br>1496                | 200 |
| 56                 | -                                   | -         | -         | 38<br>4   | 258<br>36  | 482<br>101 | 594<br>156 | 621<br>165 | 579<br>155 | 461<br>121 | 283<br>102 | 105<br>91 | -<br>85 | -<br>79 | -<br>76 | -<br>74 | -<br>65 | -<br>58 | -<br>41  | -<br>17  | -<br>-   | 3421<br>1426                | 201 |
| 58                 | -                                   | -         | -         | 73<br>5   | 299<br>40  | 497<br>101 | 609<br>149 | 629<br>156 | 573<br>141 | 461<br>106 | 285<br>93  | 105<br>86 | -<br>81 | -<br>78 | -<br>74 | -<br>72 | -<br>64 | -<br>57 | -<br>41  | -<br>17  | -<br>1   | 3531<br>1362                | 203 |
| 60                 | -                                   | -         | -         | 108<br>10 | 328<br>49  | 509<br>105 | 623<br>144 | 632<br>149 | 586<br>134 | 461<br>104 | 285<br>88  | 105<br>81 | -<br>76 | -<br>72 | -<br>69 | -<br>67 | -<br>62 | -<br>54 | -<br>41  | -<br>20  | -<br>5   | 3637<br>1330                | 206 |
| 62                 | -                                   | -         | -         | 143<br>10 | 356<br>57  | 523<br>108 | 629<br>140 | 635<br>143 | 594<br>128 | 462<br>101 | 286<br>84  | 106<br>77 | -<br>70 | -<br>66 | -<br>63 | -<br>63 | -<br>58 | -<br>51 | -<br>41  | -<br>23  | -<br>9   | 3734<br>1299                | 209 |
| 64                 | -                                   | -         | -         | 17<br>5   | 166<br>27  | 363<br>66  | 535<br>115 | 635<br>141 | 655<br>143 | 597<br>129 | 463<br>101 | 106<br>84 | -<br>77 | -<br>70 | -<br>66 | -<br>63 | -<br>63 | -<br>57 | -<br>50  | -<br>42  | -<br>27  | 3822<br>1340                | 215 |
| 66                 | 4<br>1                              | 100<br>10 | 244<br>36 | 405<br>76 | 547<br>122 | 649<br>142 | 663<br>143 | 604<br>130 | 471<br>101 | 291<br>84  | 106<br>77  | -<br>70   | -<br>65 | -<br>63 | -<br>63 | -<br>56 | -<br>49 | -<br>42 | -<br>29  | -<br>17  | -<br>8   | 4084<br>1384                | 227 |
| 68                 | 41<br>2                             | 163<br>16 | 297<br>39 | 436<br>85 | 572<br>129 | 663<br>143 | 669<br>143 | 611<br>131 | 480<br>101 | 297<br>84  | 106<br>77  | -<br>70   | -<br>66 | -<br>63 | -<br>63 | -<br>57 | -<br>50 | -<br>42 | -<br>31  | -<br>21  | -<br>9   | 4333<br>1422                | 239 |
| Широта, град. с.ш. | Часы суток для западной ориентации  |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |           |         |         |         |         |         |         |          |          |          |                             |     |
|                    | 22-23                               | 21-22     | 21-21     | 19-20     | 18-19      | 17-18      | 16-17      | 15-16      | 14-15      | 13-14      | 12-13      | 11-12     | 10-11   | 9-10    | 8-9     | 7-8     | 6-7     | 5-6     | 4-5      | 3-4      | 2-3      |                             |     |

**Приложение П18****Вещества с остронаправленным механизмом действия**

| №  | Наименование веществ  | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Класс опасности |
|----|---|-----------------------|-----------------|
| 1  | Азиридин <sup>+</sup> (этиленимин)                          | 0,02                  | 1               |
| 2  | Азота диоксид   | 2                     | 3               |
| 3  | Азота оксиды (в пересчете на NO <sub>2</sub> )              | 5                     | 3               |
| 4  | Арсин (водород мышьяковистый)                               | 0,1                   | 1               |
| 5  | Бора трифторид  | 1                     | 2               |
| 6  | Бром <sup>+</sup>   | 0,5                   | 2               |
| 7  | Гидроцианид (водород цианистый)                             | 0,3                   | 1               |
| 8  | Гидроцианида соли <sup>+</sup> (в пересчете на гидроцианид) | 0,3                   | 1               |
| 9  | Гидробромид   | 2                     | 2               |
| 10 | Гидросульфид <sup>+</sup> (сероводород)                     | 10                    | 2               |
| 11 | Гидрохлорид   | 5                     | 2               |
| 12 | Кобальт гидридотетракарбонил (по Co)                        | 0,01                  | 1               |
| 13 | Метилэтилнитрит (изопропилнитрат)                           | 1                     | 2               |
| 14 | Натрия нитрит   | 0,1                   | 1               |
| 15 | Озон  | 0,1                   | 1               |
| 16 | Углерода оксид (II)   | 20                    | 4               |
| 17 | Фенилизоцианат <sup>+</sup>                                 | 0,5                   | 2               |
| 18 | Формальдегид <sup>+</sup>                                   | 0,5                   | 2               |
| 19 | Фосген (хлорокись углерода)                                 | 0,5                   | 2               |
| 20 | Фосфин (водород фосфористый)                                | 01                    | 1               |
| 21 | Хлора диоксид <sup>+</sup>                                  | 01                    | 1               |
| 22 | Хлор  | 1                     | 2               |

*Примечание:* индекс «+» означает, что требуется специальная защита кожи и глаз.

**Приложение П19****Вещества раздражающего действия**

| №  | Наименование веществ  | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Класс опасности |
|----|---|-----------------------|-----------------|
| 1  | Азотная кислота <sup>+</sup>  | 2                     | 3               |
| 2  | Акриловой кислоты хлорангидрид <sup>+</sup>                               | 0,3                   | 2               |
| 3  | Аммиак  | 20                    | 4               |
| 4  | Ацетальдегид <sup>+</sup>   | 5                     | 3               |
| 5  | Ацетангидрид <sup>+</sup>   | 3                     | 3               |
| 6  | Бериллия растворимые соли: хлорид, фторид, сульфат<br>(в пересчете на Be) | 0,001                 | 1               |
| 7  | Бутановый ангидрид <sup>+</sup> (масляный ангидрид)                       | 1                     | 2               |
| 8  | N-Винилпирролид-2-он <sup>+</sup>   | 1                     | 2               |
| 9  | Гексановая кислота (капроновая кислота)                                   | 5                     | 3               |
| 10 | Диметил [4-фторфенил хлорсилан (по HCl)]                                  | 1                     | 2               |
| 11 | Дифосфор пентаоксид <sup>+</sup> (фосфорный ангидрид)                     | 1                     | 2               |
| 12 | Йод <sup>+</sup>  | 1                     | 2               |
| 13 | Карбобензоксихлорид <sup>+</sup>  | 0,5                   | 2               |
| 14 | 2-Метилпроп-2-еновая (метакриловая) кислота                               | 10                    | 3               |
| 15 | 2-Метилпентановой кислоты хлорангидрид <sup>+</sup>                       | 3                     | 3               |
| 16 | Муравьиная кислота <sup>+</sup>   | 1                     | 2               |
| 17 | Натрия хлорид <sup>+</sup>  | 1                     | 3               |
| 18 | 4-Оксо-5-хлорпентилацетат <sup>+</sup> (хлорацетопропилацетат)            | 2                     | 3               |
| 19 | Пентан-1-ол <sup>+</sup> (спирт амиловый)                                 | 10                    | 3               |
| 20 | Пропен-2-аль (акролеин)   | 0,2                   | 2               |
| 21 | Пропиональдегид <sup>+</sup>  | 5                     | 3               |
| 22 | Серы хлорид <sup>+</sup>  | 0,3                   | 2               |

## Окончание прил. П19

| №  | Наименование веществ                               | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Класс опасности |
|----|--|-----------------------|-----------------|
| 23 | Серная кислота <sup>+</sup>                        | 1                     | 2               |
| 24 | Серы диоксид <sup>+</sup>                          | 10                    | 3               |
| 25 | Серы триоксид <sup>+</sup>                         | 1                     | 2               |
| 26 | Спирты непредельного ряда (аллиловый, кротилловый) | 2                     | 3               |
| 27 | Уксусная кислота <sup>+</sup>                      | 5                     | 3               |
| 28 | Фосфора трихлорид <sup>+</sup>                     | 0,2                   | 2               |
| 29 | Фосфора пентахлорид <sup>+</sup>                   | 0,2                   | 2               |
| 30 | 1-Хлорэтилметилкетон (1-хлорбутан-2-он)            | 10                    | 3               |
| 31 | Хлорметилбензол                                    | 0,5                   | 1               |
| 32 | Хлоруксусная кислота <sup>+</sup>                  | 1                     | 2               |
| 33 | Хлоруксусной кислоты хлорангидрид <sup>+</sup>     | 0,3                   | 2               |
| 34 | Щелочи едкие <sup>+</sup> (в пересчете на NaOH)    | 0,5                   | 2               |

*Примечание:* индекс «+» означает, что требуется специальная защита кожи и глаз.

# Оглавление

---

---

|  |           |
|--|-----------|
| Предисловие .....  | 3         |
| Список условных обозначений .....  | 9         |
| Введение .....   | 11        |
| <b>1. МИКРОКЛИМАТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ<br/>НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ .....</b>  | <b>15</b> |
| 1.1. Технологические процессы и температурно-влажностный<br>режим производственных помещений .....   | 15        |
| 1.1.1. Обрывность нити и температурно-влажностный<br>режим .....   | 15        |
| 1.1.2. Деформация кожаных материалов<br>от температурно-влажностного режима<br>воздушной среды .....   | 21        |
| 1.1.3. Статическое электричество нитей и тканей<br>в зависимости от относительной<br>влажности воздуха .....                                     | 26        |
| 1.2. Теплоощущения человека и нормирование<br>микроклимата .....   | 29        |
| <b>2. ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ<br/>В ОДЕЖДЕ .....</b>   | <b>39</b> |
| 2.1. Расчетная теплофизическая модель теплоотдачи<br>кожного покрова в одежде и метод расчета<br>сопротивления теплопередаче пакета одежды ..... | 39        |
| 2.2. Моделирование конвективного теплообмена<br>человека в одежде с воздушной средой помещения .....   | 45        |
| 2.3. Моделирование лучистого теплообмена человека<br>с внутренними поверхностями помещения .....   | 52        |
| 2.4. Метод расчета сопротивления теплопередаче<br>пакета одежды с учетом его кривизны .....  | 72        |

|  |            |
|--|------------|
| 2.5. Термическое сопротивление воздушной прослойки в пакете одежды человека . . . . .  | 76         |
| 2.6. Метод расчета средней температуры внешней поверхности одежды человека и открытых участков тела . . . . .  | 84         |
| 2.7. Сопоставление результатов теплотехнического расчета пакетов одежды с экспериментальными исследованиями . . . . .  | 89         |
| 2.8. Метод расчета тепловлажностных процессов в пакете одежды с созданием экологически влажностного комфорта в воздушной пододежной прослойке при различном уровне энергозатрат человека . . . . . | 93         |
| 2.8.1. Диффузионные процессы в пакете одежды при различном уровне энергозатрат человека . . . . .  | 93         |
| 2.8.2. Расчет влажностного режима в пакете одежды при стационарных условиях диффузии водяного пара . . . . .   | 99         |
| <b>3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .</b>                                       | <b>121</b> |
| 3.1. Средняя температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций в помещениях предприятий сервиса . . . . .  | 121        |
| 3.1.1. Производственные помещения . . . . .  | 121        |
| 3.1.2. Административные помещения . . . . .  | 126        |
| 3.1.3. Помещения для отдыха . . . . .  | 128        |
| 3.2. Экспериментальные исследования температурных полей на внутренней поверхности окон с двойным и тройным остеклением . . . . .   | 130        |
| 3.3. Конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна . . . . .   | 135        |
| 3.3.1. Уравнения конвективного теплообмена для внутренней поверхности окна . . . . .   | 138        |
| 3.3.2. Свободный конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна . . . . .   | 139        |
| 3.3.3. Осложненный конвективный теплообмен у внутренней поверхности окна при воздействии восходящей воздушной струи от отопительного прибора . . . . .   | 146        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3.4. Анализ полученных уравнений конвективного теплообмена у внутренней поверхности окна при ниспадающей и восходящей неизотермических струях . . . . .                | 157        |
| 3.4. Воздухопроницаемость окон и температура внутренней поверхности остекления . . . . .   | 165        |
| <b>4. ТЕПЛОВОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМФОРТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СЕРВИСА С ПОСТОЯННЫМИ РАБОЧИМИ МЕСТАМИ . . . . .</b>  | <b>176</b> |
| 4.1. Теплозащитные свойства одежды и тепловой комфорт . . . . .  | 176        |
| 4.2. Метод расчета границы теплового комфорта и дискомфорта с учетом теплозащитных свойств одежды человека . . . . .   | 179        |
| 4.2.1. Зоны теплового комфорта и дискомфорта в пристенном участке помещения швейных предприятий . . . . .  | 181        |
| 4.2.2. Зоны теплового комфорта и дискомфорта в административно-вспомогательном помещении . . . . .   | 190        |
| <b>5. СЕРВИСНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И ФОРМ СОБСТВЕННОСТИ . . . . .</b>  | <b>198</b> |
| 5.1. Расчет зон теплового комфорта и дискомфорта для проектируемых, реконструируемых и эксплуатируемых предприятий . . . . .   | 198        |
| 5.2. Объемно-планировочное решение швейного предприятия . . . . .  | 205        |
| 5.3. Зона теплового комфорта и дискомфорта в швейном цехе . . . . .  | 209        |
| <b>6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СЕРВИСА . . . . .</b>   | <b>219</b> |
| 6.1. Метод расчета гигиенически целесообразной температуры для окон и наружных стен с учетом теплозащитных свойств одежды и размера зоны теплового дискомфорта . . . . . | 219        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.2. Повышение уровня теплового комфорта за счет теплозащитных свойств одежды, окон и наружных стен . . . . .  | 226        |
| 6.3. Конструктивные мероприятия по созданию тепловых комфортных условий в производственных помещениях . . . . .                                      | 236        |
| 6.3.1. Теплозащитные свойства одежды и тепловой комфорт на швейных предприятиях . . . . .  | 236        |
| 6.3.2. Эффективная воздухозадача и тепловой комфорт в помещениях предприятий . . . . .   | 242        |
| 6.3.3. Повышение уровня теплового комфорта за счет использования перспективных светопрозрачных конструкций . . . . .                                 | 246        |
| <b>7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ . . . . .</b>  | <b>259</b> |
| 7.1. Диаграмма $J-d$ влажного воздуха . . . . .  | 259        |
| 7.2. Создание системами вентиляции искусственного микроклимата и благоприятных тепловых условий для человека в производственных помещениях . . . . . | 263        |
| 7.2.1. Прядильное производство . . . . .   | 266        |
| 7.2.2. Швейное производство . . . . .  | 283        |
| 7.2.3. Трикотажное производство . . . . .  | 295        |
| 7.2.4. Обувное производство . . . . .  | 307        |
| <b>8. СОЗДАНИЕ КОМФОРТНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПРИ ВЛАЖНОСТНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ОДЕЖДЫ . . . . .</b>                          | <b>322</b> |
| 8.1. Оборудование для стабилизации форм деталей одежды при ВТО . . . . .   | 322        |
| 8.2. Параметры воздушной среды в зоне работы оператора ВТО деталей одежды . . . . .  | 325        |
| 8.3. Теплофизическая модель технологического процесса влажностно-тепловой обработки . . . . .  | 331        |
| 8.3.1. Теплофизическая модель пресса влажностно-тепловой обработки полочек пиджака . . . . .   | 332        |
| 8.3.2. Теплофизическая модель пресса влажностно-тепловой обработки верхнего оката рукава . . . . .   | 340        |

|  |            |
|--|------------|
| 8.4. Конвективно-лучистый теплообмен между человеком и оборудованием для стабилизации формы деталей одежды . . . . .                   | 342        |
| 8.4.1. Конвективный теплообмен при формовании полочек пиджака . . . . .  | 342        |
| 8.4.2. Лучистый теплообмен при формовании полочек пиджака . . . . .  | 345        |
| 8.5. Зона теплового комфорта и дискомфорта на технологическом потоке влажно-тепловой обработки деталей одежды . . . . .                | 346        |
| <b>9. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ . . . . .</b>                    | <b>354</b> |
| 9.1. Воздействие экологически вредных веществ на человека . . . . .  | 354        |
| 9.2. Выделения экологически вредных веществ в производственные помещения при технологических процессах . . . . .                       | 359        |
| 9.3. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредных веществ в воздушной среде производственных помещений . . . . . | 362        |
| 9.3.1. Влияние загазованности производственных помещений на условия труда [35] . . . . .   | 365        |
| 9.3.2. Влияние аэрозолей преимущественно фиброгенного действия на условия труда . . . . .  | 367        |
| 9.4. Воздухообмен в помещениях сервисных предприятий . . . . .   | 370        |
| 9.4.1. Нормируемые температуры воздуха и воздухообмен в помещениях предприятий сервиса . . . . .                                       | 371        |
| 9.4.2. Необходимый воздухообмен при одновременном удалении теплоты и влаги на предприятиях сервиса . . . . .                           | 378        |
| 9.4.3. Местные отсосы на предприятиях . . . . .  | 380        |
| 9.5. Борьба с запахами на сервисных предприятиях . . . . .   | 388        |
| <b>Заключение . . . . .</b>  | <b>393</b> |
| <b>Список литературы . . . . .</b>   | <b>395</b> |
| <b>Приложение П1 . . . . .</b>   | <b>398</b> |

---

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>Приложение П2</b> . . . . .  | 400 |
| <b>Приложение П3</b> . . . . .  | 402 |
| <b>Приложение П4</b> . . . . .  | 404 |
| <b>Приложение П5</b> . . . . .  | 407 |
| <b>Приложение П6</b> . . . . .  | 411 |
| <b>Приложение П7</b> . . . . .  | 413 |
| <b>Приложение П8</b> . . . . .  | 415 |
| <b>Приложение П9</b> . . . . .  | 417 |
| <b>Приложение П10</b> . . . . . | 419 |
| <b>Приложение П11</b> . . . . . | 421 |
| <b>Приложение П12</b> . . . . . | 423 |
| <b>Приложение П13</b> . . . . . | 425 |
| <b>Приложение П14</b> . . . . . | 427 |
| <b>Приложение П15</b> . . . . . | 430 |
| <b>Приложение П16</b> . . . . . | 432 |
| <b>Приложение П17</b> . . . . . | 436 |
| <b>Приложение П18</b> . . . . . | 439 |
| <b>Приложение П19</b> . . . . . | 440 |

**Умняков Павел Николаевич**

## **Тепловой и экологический комфорт**

**Проектирование процессов оказания услуг**

Редактор *Н. Е. Овчеренко*

Корректор *Г. С. Шушкакова*

Компьютерная верстка *И. В. Кондратьевой*

Оформление серии *Л. Зарецкой*

Сдано в набор 31.05.2008. Подписано в печать 01.02.2009. Формат 60 × 90/16.

Печать офсетная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 28,0. Уч.-изд. л. 28,6.

Бумага офсетная. Тираж 700 экз. Заказ № 1621.

Издательство «ФОРУМ»

101990, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а

Тел./факс: (495) 625-32-07, 625-52-43

E-mail: mail@forum-books.ru

***По вопросам приобретения книг обращайтесь:***

*Отдел продаж издательства «ФОРУМ»*

101990, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а

Тел./факс: (495) 625-32-07, 625-52-43

E-mail: natali@forum-books.ru

*Отдел продаж «ИНФРА-М»*

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в

Тел.: (495) 380-05-40 (доб. 252)

Факс: (495) 363-92-12

E-mail: ati@infra-m.ru

*Центр комплектования библиотек*

119019, Москва, ул. Моховая, д. 16

(Российская государственная библиотека, кор. К)

Тел.: (495) 202-93-15

*Магазин «Библиосфера» (розничная продажа)*

109147, Москва, ул. Марксистская, д. 9

Тел.: (495) 670-52-18, (495) 670-52-19

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»

«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».

214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.



**Умняков Павел  
Николаевич** – академик  
Международной  
академии наук экологии  
и безопасности  
жизнедеятельности  
(МАНЭБ), доктор  
технических наук,

профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой «Экологии и безопасности жизнедеятельности» Российского заочного института текстильной и легкой промышленности.

В НИИ Строительной физики Госстроя СССР (1956-1977) прошел путь от научного сотрудника до руководителя Центральной лаборатории теплофизических исследований.

В течение многих лет занимается проблемой теплового и экологического комфорта в промышленных зданиях. Им разработаны новые методы оценки уровня теплового и экологического комфорта человека на рабочих местах с учетом теплофизических свойств одежды, технологических процессов и теплозащитных свойств ограждающих конструкций.

Автор более 150 печатных работ, учебников и учебных пособий для вузов, статей и нормативных документов.

ISBN 978-5-91134-230-2



9 785911 342302