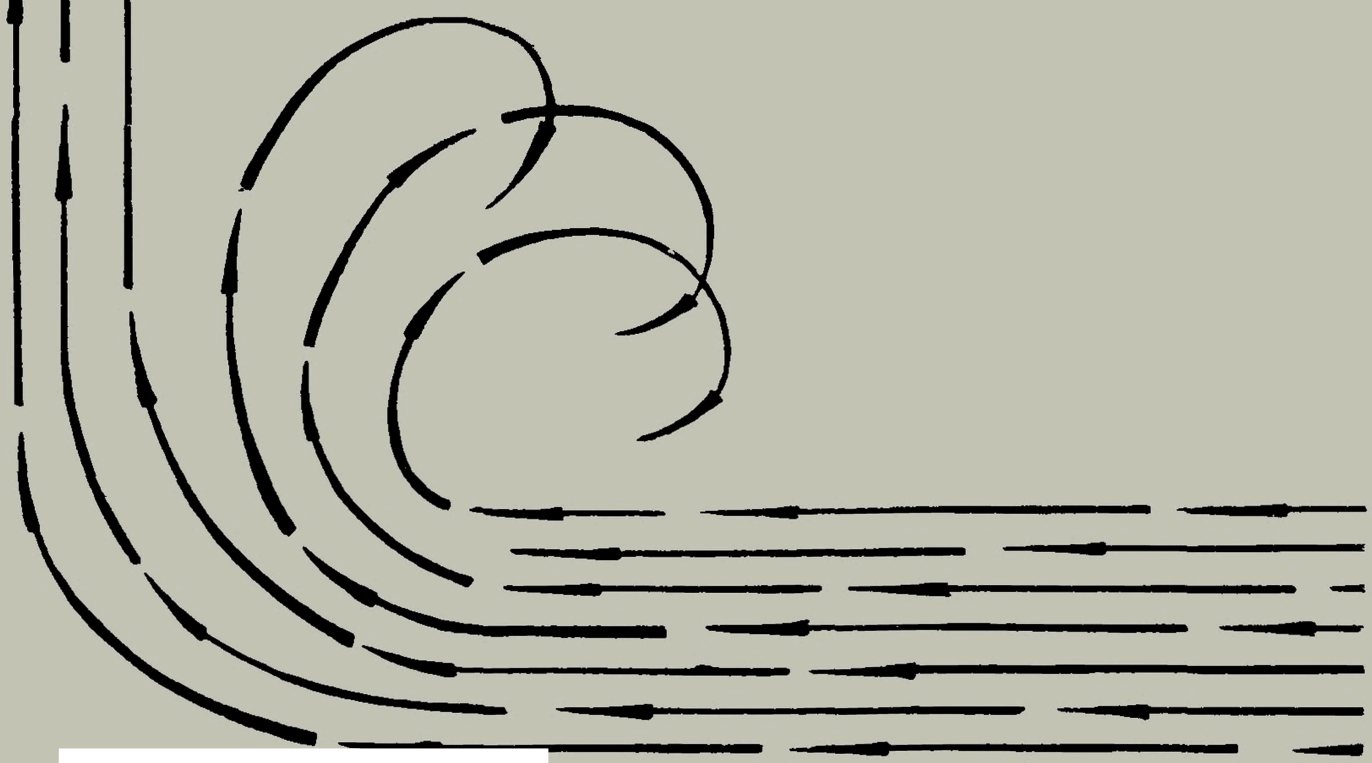
ВСЕСОЮЗНЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОХРАНЫ ТРУДА ВЦСПС

# Указания

## ПО РАСЧЕТУ АЭРАЦИИ ЦЕХОВ С ТЕПЛО-ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯМИ В ТЕПЛЫЙ, ПЕРЕХОДНЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА



gost.e-ecolog.ru

МОСКВА · 1971

В Ц С П С

ВСЕСОЮЗНЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОХРАНЫ ТРУДА

# У К А З А Н И Я

# ПО РАСЧЕТУ АЭРАЦИИ ЦЕХОВ С ТЕПЛО-, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯМИ В ТЕПЛЫЙ, ПЕРЕХОДНЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА

Москва 1970

Настоящие "Указания" составлены Всесоюзным центральным научно-исследовательским институтом охраны труда В Ц С П С (г. Москва) на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований естественной вентиляции промышленных зданий с тепло- и газовыделениями.

"Указания" предназначены для инженерно-технических работников проектных организаций и заводов, технической инспекции ЦК профсоюзов и санитарного надзора, занимающихся вопросами улучшения условий труда в горячих цехах.

"Указания" согласованы с ЦК профсоюзов рабочих машиностроения, нефтяной и химической промышленности и утверждены зам.министрами министерств:

автомобильной промышленности;

тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения;

химического и нефтяного машиностроения;

станкостроительной и инструментальной промышленности;

химической промышленности.

Автор канд.техн.наук Н.В.Акинчев

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящие указания распространяются на проектирование аэрации вновь строящихся, реконструируемых и действующих цехов с тепло- и газовыделениями.

2. Аэрация - организованная управляемая естественная вентиляция, осуществляемая под действием теплового или совместного действия теплового и ветрового давлений.

3. Эффективность аэрации зависит от:

архитектурно-строительного оформления здания (высота, ширина и количество пролетов, форма и профиль кровли, тип фонаря, размещение в стенках и фонарях открывающихся створок, количества межэтажных перекрытий и размещение в них аэрационных проемов и решеток);

компоновки и размеров технологического оборудования, являющегося источником нагревания и загрязнения воздуха;

направления и скорости ветра;

- эксплуатации аэрируемого здания (возможность регулирования площади открытых аэрационных проемов в зависимости от наружной температуры и внутренних температурных условий).

4. Аэрацию надлежит предусматривать, если при ее помощи могут быть обеспечены нормируемые условия воздушной среды в помещениях и если она допустима по технологическим условиям.

5. Естественный приток наружного воздуха должен осуществляться:

а) в теплый период года непосредственно в рабочую зону (на уровне 0,3 ÷ 1,8 м до низа проема), в холодный период года - на уровне $h_1 = (0,5 \div 0,6)\ H$, но не ниже 4-х м от пола до низа проема,

где: $h'$ – высота от пола до центра приточного отверстия;

$H$ – высота здания от пола до центра вытяжного отверстия;

б) как правило, через проемы, расположенные в обеих продольных стенах цеха, а также через проемы транспортных ворот.

6. В сблокированных зданиях участки с повышенными тепловыделениями для лучшего их проветривания следует размещать в крайних пролетах, оборудованных аэрационными фонарями.
Застройка продольных стен вновь строящихся и реконструируемых горячих цехов не допускается.

7. Все горячие цехи должны иметь аэрационные или аэрационно-световые фонари незадуваемого типа. Площадь открывающихся створок в фонаре должна быть достаточной для пропуска расчетного объема воздуха.

8. Аэрационные фонари и приточные проемы должны быть оборудованы механизмами для открывания створок с автоматическим дистанционным управлением.

9. В цехах, имеющих три пролета и более, из которых один пролет горячий, а другой холодный, в теплый период года допускается поступление воздуха через фонарь холодного пролета. При этом вдоль линии раздела пролетов устраиваются свешивающиеся легкие перегородки, не доходящие до пола на 2÷3 м.

ПРИМЕЧАНИЕ. Приток через фонарь холодного пролета допускается, если расстояние между створками фонарей не менее 10 м.

10. В цехах теплоотдающее оборудование должно располагаться с учетом возможности проветривания средних продольных проходов между источниками тепла. Рабочие места при этом следует распола-

гать со стороны приточных проемов.

II. Расчет аэрации цехов с тепло- и газовыделениями проводится, как правило, с учетом теплового давления в теплый, переходный и холодный периоды года с проверкой достаточности естественного воздухообмена для разбавления концентраций газов до ПДК.

I2. Расчет аэрации горячих цехов проводится на максимальные тепловыделения и базируется на закономерностях распространения свободных тепловых турбулентных струй.

I3. Горячие цехи, теплоотдающее оборудование по длине которых расположено неравномерно, разбиваются на участки и расчет аэрации проводится для каждого участка в отдельности.

ПРИМЕЧАНИЕ. Расчет аэрации по методу, изложенному в настоящих указаниях, допускается проводить для помещений с механическим удалением воздуха, объем которого не превышает 40% общего естественного воздухообмена.

I4. С целью определения общего воздухообмена и условий работы приточных отверстий с заветренной стороны проводится поверочный расчет аэрации при совместном действии теплового и ветрового давлений.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если при работе окажется, что отверстия с заветренной стороны работают на вытяжку, то расчет надо вести с учетом закрытия части отверстий с наветренной стороны.

I5. Исходными данными для расчета аэрации являются:

- строительные размеры здания и характеристика всех проемов для подачи и удаления воздуха (окна, фонари, ворота и т.д.);

- коэффициенты расхода или местного сопротивления приточных проемов и фонарей;

- расположение теплоотдающего оборудования и его размеры;

- количество тепла, выделяющееся от единицы стационарного оборудования, $Q_{пост.}$ $\frac{ккал}{сек}$;

- количество конвективного и лучистого тепла, выделяющееся от единицы стационарного оборудования, $Q_{конв.}$ ккал/сек; $Q_{луч.}$ ккал/сек.

ПРИМЕЧАНИЕ. Количество конвективного и лучистого тепла, отдающее стационарным оборудованием, задается технологами. При температуре поверхности источников тепла до 250°С можно принять $Q_{конв.} = 0{,}5\,Q_{пост.}$

- тепло, поступающее за счет солнечной радиации, от нагретых материалов, трубопроводов, искусственного освещения, электродвигателей, от людей и т.п., учитывается при определении количества избыточного тепла;

- теплопотери цеха, $Q_{пот.}$ ккал/сек;

- валовые газовыделения в цехе, $G_{газа}$ мг/сек (по данным технологов или натурных испытаний);

- температура воздуха в рабочей зоне, $t_{р.з.}$; наружного приточного воздуха, $t_{н.}$ и концентрация вредных газов в рабочей зоне, $K_{р.з.}$ мг/м³ (согласно СН 245-63 и СН и П П-Г.7-62).

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Если приточный воздух поступает из соседнего помещения, то за $t_{н.}$ принимается темпе-

ратура воздуха соседнего помещения.

2.Если часть приточного воздуха поступает снаружи, а другая часть из соседних помещений, то за расчетную температуру принимается температура наружного воздуха - $t_{н.}$;

- скорость и господствующее направление ветра (по СНиП П-А. 6-62);

- аэродинамические коэффициенты аэрируемого здания (на основании результатов продувок моделей зданий в аэродинамической трубе).

I6. Расчет аэрации при решении прямой задачи сводится к определению расчетного воздухообмена и площади аэрационных проемов.

Для этого определяют:

- количество конвективного тепла, отдаваемого каждой единицей оборудования;

- объем и температуру воздуха в свободной конвективной струе на уровне вытяжных отверстий (аэрационный фонарь, шахта и др.);

- температуру уходящего воздуха;

- количество избыточного тепла

$$Q_{изб.} = Q_{пост.} - Q_{пот.} \quad ккал/сек;$$

- объемные и весовые расходы аэрационного воздуха;

- располагаемые давления и скорости воздуха в аэрационных проемах;

- площади аэрационных проемов.

I7. Расчет аэрации при решении обратной задачи сводится к определению температуры воздуха в рабочей зоне по заданным теплоизбыткам и площадям аэрационных проемов.

Для этого определяется:

- количество конвективного тепла, отдаваемого каждой единицей оборудования;
- объем и температура воздуха в свободной конвективной струе на уровне вытяжных отверстий;
- количество избыточного тепла;
- температура уходящего воздуха;
- температура воздуха в рабочей зоне.

I8. К проекту аэрации должна прилагаться инструкция для эксплуатационников по регулированию открытой площади аэрационных проемов в зависимости от наружной температуры, направления и скорости ветра.

## П. РАСЧЕТ АЭРАЦИИ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОГО ДАВЛЕНИЯ

### Прямая задача

I9. Определяется расстояние от точки пересечения границ основного участка тепловой струи (полюса струи) до середины вытяжных отверстий ( см. условные обозначения. Приложение I):

$$Z = Z_в + Z_п \quad м,$$

где: $Z_в$ - расстояние от верхней грани теплоисточника до середины вытяжных отверстий, м;

$Z_п$ - расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточника, м.

$$Z_п = I,7\ A \quad м,$$

где A - определяющий размер источника тепла.

Для источника круглой формы $A = d$ ; для прямоугольного с соотношением сторон не более I : 3

$$A = \frac{2a \times в}{a + в} \quad м,$$

где: $d$ - диаметр источника тепла, м;

a,в - линейные размеры верхней грани источника тепла, м.

20. Находится объемный расход воздуха:

а) в основном участке свободной конвективной струи по формуле

$$L_{стр} = 0{,}0862 \cdot Q_{конв.}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad м^3/сек \qquad (2)$$

или по номограмме (приложение II);

б) если вытяжные отверстия расположены на высоте разгонного участка тепловой струи или ниже его, то расход воздуха определяется по формуле разгонного участка свободной конвективной струи:

$$L_{стр} = 0{,}65\, Q_{конв}^{1/3} \cdot f^{2/3} \cdot z_1^{1/3} \quad м^3/сек, \qquad (3)$$

где: $f$ – площадь верхней грани теплоисточника, $м^2$;

$z_1$ – расстояние от верхней грани источника до рассматриваемого уровня, м.

или по номограмме (приложение III).

ПРИМЕЧАНИЕ. Высота разгонного участка круглой тепловой струи равна, примерно 1,5А.

в) в плоской свободной конвективной струе ( с соотношением сторон верхней грани источника более 1:3) по формуле

$$L_{стр} = 0{,}154\, Q_{конв}^{1/3} \cdot a^{2/3} \cdot z_в \quad м^3/сек, \qquad (3а)$$

где $a$ – больший размер верхней грани теплоисточника (длина), м.

или по номограмме (приложение IIIа).

ПРИМЕЧАНИЕ. Формула 3а) справедлива для теплоисточника с соотношением меньшего размера (ширины) верхней грани к высоте вертикальной грани не более 1:4.

21. Определяется средняя температура воздуха в каждой свободной конвективной струе на уровне центра вытяжных отверстий

$$t_{стр} = \frac{Q_{конв}}{0{,}24\, \gamma_{стр}\, L_{стр}} + t_н \quad град, \qquad (4)$$

где: $\gamma_{стр}$ – удельный вес воздуха в тепловой струе, кг/м

$t_н$ - расчетная температура наружного воздуха, град.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для положительных наружных температур принимается $\gamma_{стр.} = 1{,}17$ кг/м$^3$, для отрицательных $\gamma_{стр.} = 1{,}35$ кг/м$^3$ и вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{353}{273 + t} \text{ кг/м}^3.$$

22. Определяется средняя температура воздуха в тепловых струях на уровне центра вытяжных отверстий ($z$ или $z_1$)

$$t_{стр.} = \frac{Q_{конв.1} + Q_{конв.2} + \ldots}{0{,}24\ (\gamma_{стр.1} L_{стр.1} + \gamma_{стр.2} L_{стр.2} + \ldots} \frac{\ldots + Q_{конв.п.}}{\ldots + \gamma_{стр.п.} L_{стр.п.})} + t_{н.} \text{ град.} \quad (5)$$

23. Вычисляется температура уходящего воздуха

$$t_{ух.} = 1{,}2\ (t_{р.з.} + t_{стр.} - t_{н.}), \text{ град;} \quad (6)$$

где 1,2 - опытный коэффициент.

$$t_{р.з.} = t_{н.} + \Delta t_{расч.}$$

$$\Delta t_{расч.} = n \cdot \Delta t_{р.з.}$$

где $\Delta t_{расч.}$ - расчетный перепад температур в рабочей зоне, град;

$\Delta t_{р.з.}$ - допустимая разность (перепад) температур воздуха в рабочей зоне и наружного принимается в соответствии с нормами СН 245-63, град.

$n$ - коэффициент, показывающий повышение температуры в рабочей зоне в зависимости от относительного разрыва между оборудованием, определяется по графику (приложение IУ).

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Расчет аэрации в теплый период года проводится по заданному нормами перепаду температур в рабочей зоне $\Delta t_{р.з.}$ для наиболее неблагоприятно расположенных рабочих мест. При $\frac{a'}{a}$ = = 4,5 следует принимать $\Delta t_{расч.} = \Delta t_{р.з.}$

2. При заданном расположении теплоотдающего оборудования размеры "а" и "а'" (приложение 1) принимаются в зависимости от направления распространения приточных струй, т.е. в зависимости от расположения приточных проемов.

24. Определяется расчетный естественный воздухообмен

$$G_в = \frac{Q_{изб.}}{0{,}24\ (t_{ух.} - t_{н.})} \quad кг/сек, \qquad (7)$$

где $G_в$ - весовой расход аэрационного воздуха, кг/сек;

$Q_{изб.}$ - теплоизбытки в помещении, ккал/сек.

25. Определяется располагаемое тепловое давление

$$\Delta P_{т.} = h\ (\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) \quad кг/м^2, \qquad (8)$$

где $h$ - расстояние между центрами приточных и вытяжных отверстий, м;

$\gamma_{н.}$ - удельный вес наружного воздуха, $кг/м^3$;

$\gamma_{вн.}$ - удельный вес внутреннего воздуха, $кг/м^3$, определяемый по среднеарифметической температуре в рабочей зоне и уходящего воздуха:

$$t_{вн.} = 0{,}5\ (t_{р.з.} + t_{ух.}), \quad град. \qquad (9)$$

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Так как максимальный естественный воздухообмен и минимальная температура воздуха в рабочей зоне и уходящего, наблюдаются при равенст-

ве $\mu_{пр} F_{пр} = \mu_{выт} F_{выт}$, то расчет аэрации следует проводить при $\Delta P_{пр} = \Delta P_{выт} = 0{,}5\,\Delta P_{т}$.

2. В отдельных случаях допускается принимать

$$\Delta P_{выт} \geq 0{,}3\,\Delta P_{т},$$

где: $\mu_{пр}$; $\mu_{выт}$ – коэффициенты расхода приточных и вытяжных проемов

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta}};$$

$\zeta$ – коэффициент местного сопротивления отверстия принимается по таблицам I и 2 (приложение У);

$F_{пр}$; $F_{выт}$ – площади приточных и вытяжных отверстий, м;

$\Delta P_{пр}$; $\Delta P_{выт}$ – потеря давления на проход воздуха через приточные и вытяжные отверстия, кГ/м$^2$.

После расчета допускается уменьшение площади вытяжных отверстий (фонаря) не более чем на 25% при соответственном увеличении площади приточных проемов. Не допускается уменьшение площади приточных проемов.

26. Вычисляется скорость воздуха:

а) в приточных отверстиях

$$V_{пр} = \mu_{пр}\sqrt{\frac{2g}{\gamma_{н}}\Delta P_{пр}} \quad \text{м/сек,} \qquad (10)$$

б) в вытяжных отверстиях

$$V_{выт} = \mu_{выт}\sqrt{\frac{2g}{\gamma_{ух}}\Delta P_{выт}} \quad \text{м/сек,} \qquad (11)$$

где $\gamma_{ух}$ – удельный вес уходящего воздуха, кг/м$^3$

$g$ – ускорение силы тяжести, м/сек.$^2$

27. Определяется площадь:

а) приточных отверстий

$$F_{пр} = \frac{G_{а}}{\mu_{пр}\sqrt{2g \cdot \gamma_{н}\,\Delta P_{выт}}}, \text{ м}^2 \qquad (12)$$

б) вытяжных отверстий

$$F_{выт.} = \frac{G_a}{\mu_{выт.}\sqrt{2g\gamma_{ух}\cdot\Delta P_{выт}}} \quad м^2. \qquad (13)$$

28. Определяется концентрация газа в уходящем воздухе:

$$\Delta K_{ух} = \frac{G_{газа}\,\gamma_{ух}}{G_a} \quad мг/м^3, \qquad (14)$$

где $G_{газа}$ - газовыделения, мг/сек.

29. Определяется относительная концентрация газа в рабочей зоне $\bar{K}_{р.з.}$ в зависимости от $\frac{Q_{изб}}{G_a}$ (*приложение УI*),

где $K_{р.з.} = \frac{\Delta K_{р.з}}{\Delta K_{ух}}$ - относительная концентрация газа в воздухе рабочей зоны;

$\Delta K_{ух} = K_{ух} - K_н$ - прирост концентрации газа в уходящем воздухе, мг/м$^3$;

$\Delta K_{р.з.} = K_{р.з.} - K_н$ - прирост концентрации газа в воздухе рабочей зоны, мг/м$^3$;

$K_н$ - концентрация газа в наружном воздухе, мг/м$^3$

$\frac{Q_{изб}}{G_a}$ - теплосодержание аэрационного воздуха, $\frac{ккал}{кг}$.

Примечание. Если концентрация газа в рабочей зоне окажется выше нормы, то воздухообмен следует увеличить для разбавления газовых вредностей до ПДК.

30. В теплый период года расчет аэрации помещений с механической вытяжной вентиляцией ($G_м \leq 0{,}4G_a$), удаляющей воздух из рабочей зоны (*общеобменная, местная от теплоотдающего оборудования и холодного*), проводится по методике, изложенной в разделе II настоящих указаний. При этом вычисленная площадь аэрационных проемов остается без изменения.

Обратная задача.

3I. Обратная задача решается при проектировании аэрации реконструируемых и действующих цехов при изменении их мощности или технологии. Сравнивается полученный при расчете перепад $-\Delta t_{р.з.}$ с требуемым санитарными нормами.

32. Определяется температура воздуха в свободных конвективных струях на уровне вытяжных отверстий (формулы I; 2; 3; 4 и 5).

33. Определяется температура уходящего воздуха

$$t_{ух.} = \frac{8{,}5 \cdot Q_{изб.}^{2/3}}{(\mu F)^{2/3} \cdot h^{1/3}} + t_{н.}, \quad \text{град.} \qquad (I5)$$

34. Вычисляется температура воздуха в рабочей зоне

$$t_{р.з.} = \frac{t_{ух.} - I{,}2\,(t_{стр.} - t_{н.})}{I{,}2} \quad \text{град.} \qquad (I6)$$

## Ш. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ АЭРАЦИИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО И ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЙ

35. Поверочный расчет сводится к определению естественного воздухообмена и условий работы приточных отверстий с заветренной стороны здания и производится при известных уже площадях вентиляционных проемов, количестве избыточного тепла, скорости ветра и аэродинамических коэффициентах.

36. Предлагаемый в указаниях метод расчета базируется на уравнении воздушного баланса.

$$G_{a_I} + G_{a_2} + \ldots + G_{a_п} = 0, \qquad (I7)$$

где $G_{a_1}$; $G_{a_п}$ – весовые расходы аэрационного воздуха, кг/сек.

Величина $G_a$ принимается со знаком "плюс" - для притока и "минус" - для вытяжки.

37. Уравнение (I7) в развернутой форме записывается

$$\mu_1 F_1 \sqrt{2g\left[H'_1 (\gamma_н - \gamma_{вн.}) - P_{в_1}\right]\gamma} + \ldots$$
$$\ldots + \mu_п F_п \sqrt{2g\left[H'_п (\gamma_н - \gamma_{вн.}) - P_{в_п}\right]\gamma} = 0, \qquad (I8)$$

где $H'_1$ - расстояние от нейтральной зоны (уровень отсчетов) до середины отверстия I, м;

$H'_п$ - расстояние от нейтральной зоны (уровень отсчетов) до центра п-го отверстия, м;

$P_{в_1}, P_{в_п}$ - ветровое давление на данное отверстие, кГ/м$^2$;

$\gamma$ - удельный вес воздуха принимается равным $\gamma_н$ или $\gamma_{вн.}$ в зависимости от того, на приток или на вытяжку работает отверстие.

ПРИМЕЧАНИЯ: I. В подкоренных величинах уравнения (I8) знаки разностей давлений указывают лишь на их направление и при подстановке числовых значений всегда следует вычитать из больших значений меньшее.

2. Уравнение (I8) решается подстановкой различных значений $H'$, пока будет достигнуто равенство $G_{пр.} = G_{выт.}$.

38. Определяется разность давлений в аэрационных отверстиях

$$P = H' (\gamma_н - \gamma_{вн.}) - P_в \qquad кГ/м^2, \qquad (I9)$$

где $H'$ - расстояние от центра рассматриваемого отверстия до уровня отсчета (со знаком "плюс", когда центр отверстия расположен выше уровня отсчетов, и "минус" - когда

ниже уровня отсчетов, м (рис.I).

ПРИМЕЧАНИЕ. Уровень отсчетов выбирается относительно какого-либо одного отверстия, например, относительно приточного отверстия с наветренной стороны здания.

39. Определяется ветровое давление на данное отверстие,

$$P_в = k \frac{V_в^2 \cdot \gamma}{2g} \quad кГ/м^2, \qquad (20)$$

где $k$ - аэродинамический коэффициент принимается на основании результатов продувки глухих моделей зданий в аэродинамической трубе или по таблице (приложение УII);

$V_в$ - средняя скорость ветра, м/сек; принимается по СНиП П-А.6-62.

## IУ. РАСЧЕТ АЭРАЦИИ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОГО ДАВЛЕНИЯ.

### Прямая задача.

40. Определяется температура в свободной конвективной струе на уровне вытяжных отверстий по формулам (I), (2), (3), (4), (5), а температура уходящего воздуха по формуле (6).

4I. Расстояние от пола до середины приточного отверстия (высота подачи наружного воздуха) $h'$ принимается равным:

$$h' = (0{,}5 \div 0{,}6)\, H, \quad м, \qquad (2I)$$

предел $h' > 4{,}0$ м.

42. Определяется избыточное тепловое давление в приточном отверстии по формуле (8), а скорости воздуха - по формуле (I0).

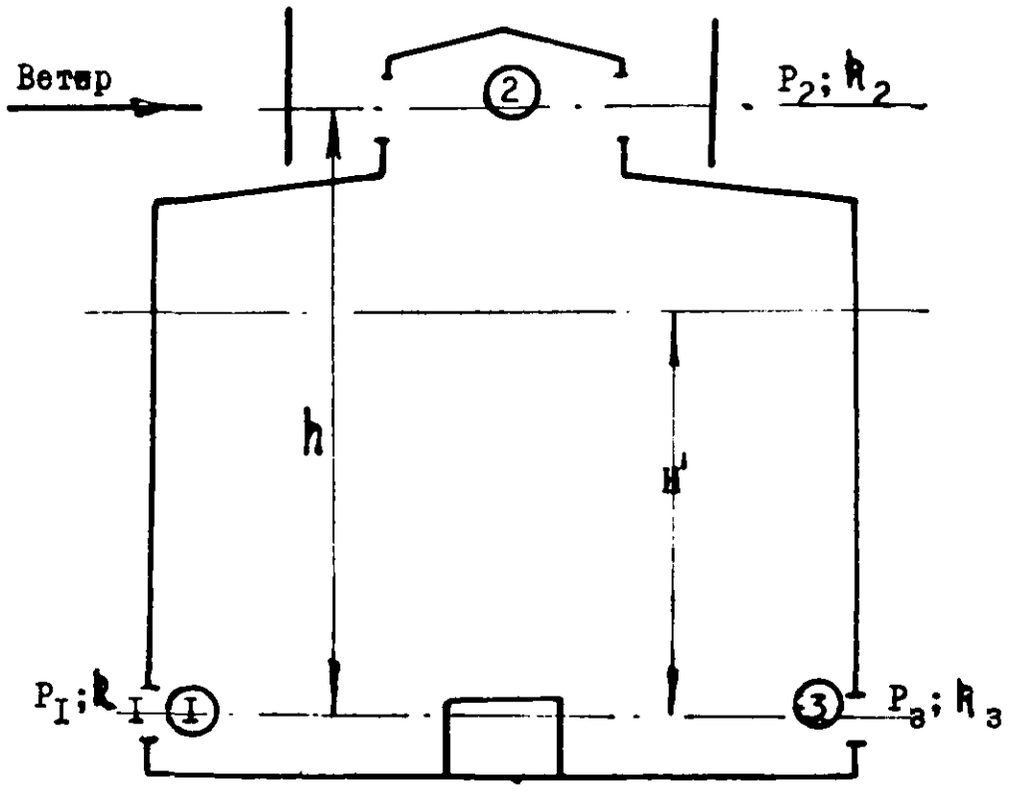



Рис.I.

ПРИМЕЧАНИЕ. Расчет аэрации в холодный период года проводится при равенстве:

$$M_{пр.} \cdot F_{пр.} = M_{выт.} \cdot F_{выт.}, \text{ т.е. при } \Delta P_{пр.} = \Delta P_{выт.} = 0{,}5\,\Delta P_{т.}.$$

43. Вычисляется естественный воздухообмен и площади аэрационных проемов соответственно по формулам (7), (I2), (I3).

44. Определяется критерий Архимеда, задаваясь характерным линейным размером приточного отверстия - $\ell$ (4):

$$Ar_a = \frac{0{,}5\,\gamma_{н.}\,\ell\,(t_{н.} - t_{вн.})}{M^2_{пр.} \cdot \Delta P_{пр.}\,(273 + t_{вн.})}, \qquad (22)$$

где $t_{вн.}$ - температура внутреннего воздуха, град;

$\ell$ - характерный размер, м (для плоской струи $\ell = b_0$ - полуширина струи; для осесимметричной струи $\ell = r$ - радиус струи).

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Отрицательное значение критерия Архимеда указывает, что струя направлена вниз. При возведении в дробную степень число берется со знаком "плюс".

2. Приточную струю считают плоской, если она поступает в помещение через проемы с соотношением сторон более I:5.

45. Определяется относительная высота распространения приточной струи от центра приточного отверстия до верхней границы рабочей зоны.

$$\bar{y} = \frac{h' - 2}{\ell}, \qquad (23)$$

где 2 - расстояние от пола до верхней границы рабочей зоны, м.

46. Находится относительное расстояние от наружной стены помещения до места пересечения оси приточной струи с верхней границей рабочей зоны - $\bar{X}$:

а) для плоской струи по уравнению

$$\bar{x} = \frac{\bar{y}^{2/5}}{0{,}914 \cdot A z_a^{2/5} \left( \frac{T_н.}{T_{вн.}} \right)^{1/5}} \qquad (24)$$

или по номограмме (приложение VIII);

б) для круглой струи по уравнению

$$\bar{x} = \frac{\bar{y}^{1/3}}{0{,}463 \cdot A z_a^{1/3} \left( \frac{T_н.}{T_{вн.}} \right)^{1/6}} \qquad (25)$$

или по номограмме (приложение IX),

где $T_н = 273 + t_н$ - абсолютная температура наружного воздуха, град. абс.;

$T_{вн} = 273 + t_{вн}$ - абсолютная температура внутреннего воздуха, град. абс.

47. Определяется расстояние от наружной стены до места пересечения оси струи с верхней границей рабочей зоны

$$x = \bar{x} \cdot \ell \qquad м. \qquad (26)$$

48. Определяется минимальная температура воздуха в приточной струе на уровне рабочей зоны (приложение X)

$$\frac{t_{min} - t_{вн.}}{t_н. - t_{вн.}} = f\left( \frac{h'}{H} \right),$$

где $t_{min}$ - минимальная температура в приточной струе на уровне рабочей зоны, град.

ПРИМЕЧАНИЕ. Допускается разность температур

$$t_{р.з.} - t_{min} \leq 8^{\circ}C.$$

В другом случае делается заново расчет аэрации в холодный период года.

49. Определяется концентрация газа в уходящем воздухе (I4), а концентрация газа в рабочей зоне из условия, что относительные величины равны $\bar{K}_{р.з.} = \bar{t}_{р.з.}$. По значению относительной температуры $\bar{t}_{рз.} = \frac{\Delta t_{р.з.}}{\Delta t_{ух.}}$ и концентрации газа в уходящем воздухе определяется концентрация газа в рабочей зоне

$$\Delta K_{р.з.} = \Delta K_{ух.} \cdot \bar{t}_{р.з.}$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Если при расчетах концентрация газа превышает ПДК, то воздухообмен должен быть увеличен. При этом температура воздуха в рабочей зоне может резко понизиться.

## Обратная задача.

50. Обратная задача решается при проектировании аэрации реконструируемых и действующих цехов при изменении их мощности и технологии. Сравниваются полученные температуры $t_{р.з.}$ и $t_{min}$ с нормируемыми.

51. Определяется температура в свободной конвективной струе на уровне вытяжных отверстий (I), (2), (3), (4), (5).

52. Определяется температура уходящего воздуха (I5) и температура воздуха в рабочей зоне (I6).

53. Определяется траектория приточной струи (2I), (22), (23) (24) и (25) и минимальная температура на уровне рабочей зоны (приложение IX).

## У. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ АЭРАЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫТЯЖКОЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА (без механического притока)

Расчет проводится по методике, изложенной в разделе IУ настоящих указаний.

54. Определяем площадь приточных отверстий из условия, что через них поступит в помещение только часть аэрационного воздуха:

$$G_{пр.} = G_{а} - G_{м.в} \quad кг/сек, \qquad (27)$$

где $G_{м.в}$ - объем воздуха, удаляемого механической вентиляцией из рабочей зоны, кг/сек.

55. Величина располагаемого теплового давления определяется по формуле (8).

56. Площадь проточного проема по формуле (I2)

$$F'_{пр.} = \frac{G_{пр.}}{\mu \sqrt{2g\gamma_{н.} \cdot \Delta P_{пр.}}} \quad м^2. \qquad (28)$$

57. Среднюю скорость в приточном проеме при действии теплового давления и разрежения, создаваемого механической вытяжкой.

$$V_{ср.} = \frac{G_{пр.} + G_{м.в.}}{F_{пр.} \cdot \gamma_{н}} \quad м/сек. \qquad (29)$$

58. Давление в приточном отверстии

$$\Delta P_{пр.} = \frac{V^2_{ср.} \cdot \gamma_{н}}{\mu^2 \, 2g} \quad кГ/м^2. \qquad (30)$$

59. Дальнейший расчет проводится согласно разделу Ш.

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Указанный метод расчета дает возможность определить при механической вытяжке заданную температуру в струе при входе ее в рабочую зону.

2. Часть объема наружного воздуха будет

удаляться из помещения через аэрационный фонарь.

## УI. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ АЭРАЦИИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО И ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЙ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА

60. Расчет сводится к определению величины естественного воздухообмена и условий работы приточного отверстия на заветренной стороне здания при совместном действии теплового и ветрового давлений. Расчет проводится по известным уже площадям приточных и вытяжных проемов, количеству избыточного тепла, скорости ветра и аэродинамическим коэффициентам.

61. Определяется ветровое давление в отверстиях (20) и разность давлений в аэрационных проемах (19).

62. Составляется уравнение воздушного баланса (18) и решается при различных значениях $h'$, пока будет достигнуто равенство $\leq G_{пр.} = \leq G_{выт.}$.

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА АЭРАЦИИ.

### ПРИМЕР I.

Рассчитать аэрацию однопролетного здания (Рис.2) для теплого периода года с учетом теплового давления.

В цехе размером 250 х 27м при высоте от пола до центра вытяжных проемов H= I8м теловыделяющее оборудование (I2 нагревательных печей и 6 прессов) расположено в один ряд.

I группа - камерные печи размером в плане а х в = 2,5 х 2,5 и высотой 2,5м - 4 шт.

II группа - термические печи размером 2,0 х 3,5 м и высотой 3м - 4 шт.

III группа - методические печи размером 2,5 х 5,0 х 3,0 м -4 шт.

IVгруппа - прессы размером I,5 х 2,0 х 4,5 м - 6 шт.

Количество тепла, выделяющееся от каждой еденицы оборудования, составляет:

от камерной печи $-Q_{пост.}$ = 70 ккал/сек,

от термической печи $-Q_{пост.}$ = 50 ккал/сек,

от методической печи $-Q_{пост.}$ =I00 ккал/сек,

от пресса $-Q_{пост.}$ = 30 ккал/сек.

Теплопоступления за счет солнечной радиации $-Q_{пост.}$ = = I5 ккал/сек; от нагретого металла $-Q_{пост.}$ = I0 ккал/сек и других - $Q_{пост.}$ = 5 ккал/сек.

Теплоизбытки в цехе составляют $Q_{изб.}$ = I090 ккал/сек.

Расчетная температура наружного воздуха $t_{н.}$ = 22°С ($\gamma_{н.}$ = = I,I96 кг/м$^3$). допустимая разница температур воздуха рабочей зоны и наружного $-\Delta t_{р.з.}$ = 5°С. Рабочие места расположены со стороны приточных проемов. Поэтому при определении $\Delta t_{расч.}$ влияние

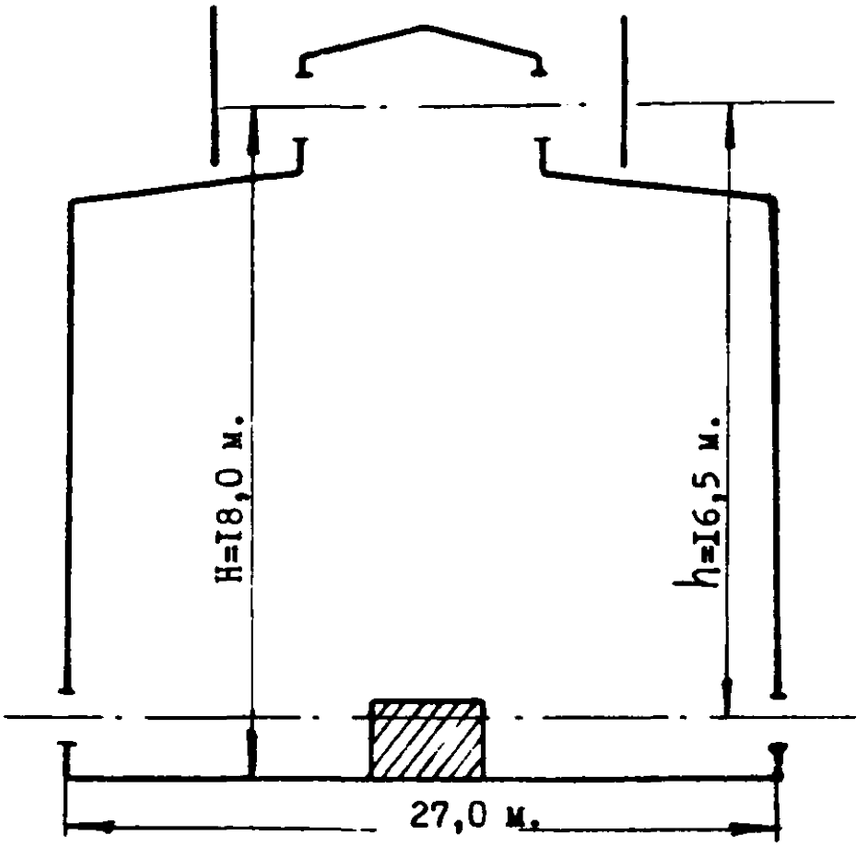



Рис. 2.

разрыва между печами не учитывается. Расстояние от наружных стен до источников тепла B=IIм, а между центрами приточных и вытяжных отверстий $h$ = I65 м. Створки приточных проемов - верхнеподвесные ($h/\beta$ = I), $\alpha = 60^0$; $\zeta$ = 3,I; $\mu_{пр.}$ = 0,56.

Фонарь конструкции КТИС. Коэффициент местного сопротивления $\zeta$ = 4,3; $\mu_{ф}$ = 0,5. (См. таблицы I и 2, приложение У).

Требуется определить величину воздухообмена и необходимые площади аэрационных проемов.

РЕШЕНИЕ.

I. Определяющий размер источников тепла для I группы печей

$$A = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 2,5}{2,5+2,5} = 2,5 \text{ м};$$

Для II группы печей

$$A = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 2,0 \cdot 3,5}{2,0+3,5} = 2,55 \text{ м};$$

для III группы - A = 3,34 м;

для IУ группы - A = I,72 м.

Так как высота разгонного участка тепловых струй ($\mathcal{Z}_1$ = = I,5 · A = I,5 · 3,34 = 5,0 м) значительно меньше I5 м, то определяются параметры основного участка тепловой струи.

2. Расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточников

Для группы I

$$\mathcal{Z}_п = I,7 \cdot A = I,7 \times 2,5 = 4,25 \text{ м};$$

для II группы

$$\mathcal{Z}_п = 4,33 \text{ м};$$

для III группы

$$\mathcal{Z}_п = 5,67 \text{ м};$$

для IУ группы

$$z_{п} = 2{,}92 \text{ м.}$$

3. Расстояние от полюса струи до центра вытяжных отверстий

$$z = z_{в} + z_{п} \quad \text{м.}$$

Для I группы печей $z = (18 - 2{,}5) + 4{,}25 = 19{,}75$ м,

для II группы печей $z = 19{,}33$ м,

для III группы печей $z = 20{,}67$ м,

для IУ группы печей $z = 16{,}42$ м.

4. Объемный расход воздуха в основном участке конвективной струи (2) или по номограмме (приложение П) для I группы печей

$$L = 0{,}0862\ Q_{кон.}^{1/3}\ z^{5/3} = 0{,}0862 \cdot 35^{1/3} \times 19{,}75^{5/3} = 41 \text{ м}^3/\text{сек},$$

для II группы печей

$$L = 0{,}0862 \cdot 25^{1/3} \cdot 19{,}33^{5/3} = 36 \text{ м}^3/\text{сек},$$

для III группы печей

$$L = 0{,}0862 \cdot 50^{1/3} \cdot 20{,}67^{5/3} = 50 \text{ м}^3/\text{сек},$$

для IУ группы печей

$$L = 0{,}0862 \cdot 15^{1/3} \cdot 16{,}42^{5/3} = 25 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

5. Средняя температура в тепловых струях на высоте центра вытяжных отверстий – H = 18м

$$t_{стр.} = \frac{4\,(35 + 25 + 50) + 15 \cdot 6}{0{,}24 \cdot 1{,}17 \cdot 4\,(41 + 36 + 50) + 25 \cdot 6} + 22 = 24^{0}\text{C}.$$

6. Температура уходящего воздуха (6). Так как рабочие места расположены в крайних проходах помещения, то

$$\Delta t_{расч.} = \Delta t_{р.з.}.$$ Следовательно, $t_{р.з.} = 27^{0}\text{C}.$

$$t_{ух.} = 1{,}2\ (t_{р.з.} + t_{стр.} - t_{н.}) =$$

$$= 1{,}2\ (27 + 24{,}0 - 22) = 35{,}0^{0}C.$$

7. Весовой расход аэрационного воздуха (7)

$$G_{в} = \frac{Q_{изб.}}{0{,}24\ (t_{ух.} - t_{н.})} = \frac{1090}{0{,}24\ (35{,}0-22)} = 350 \text{ кг/сек.}$$

8. Избыточное тепловое давление (8)

$$\Delta P_{т.} = h\ (\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = 16{,}5\ (1{,}196 - 1{,}158) =$$

$$= 0{,}628 \text{ кГ/м}^2.$$

Принимаем удельный вес внутреннего воздуха по средней температуре внутри помещения

$$t_{вн.} = 0{,}5\ (t_{ух.} + t_{р.з.}) = 0{,}5\ (35{,}0+27) = 31{,}0^{0}C$$

$$\gamma_{вн.} = 1{,}158 \text{ кГ/м}^3.$$

Принимаем $\Delta P_{пр.} = \Delta P_{выт.} = 0{,}5\Delta P_{т.} = 0{,}5 \cdot 0{,}628 = 0{,}314$ кГ/м$^2$.

9. Площадь вытяжных проемов (13)

$$F_{выт.} = \frac{G_{в}}{\mu_{выт.}\sqrt{2g \cdot \gamma_{ух.} \cdot \Delta P_{выт.}}} =$$

$$= \frac{350}{0{,}5\ \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}145 \cdot 0{,}314}} = 263 \text{ м}^2.$$

10. Площадь приточных проемов (12)

$$F_{пр.} = \frac{G_{в}}{\mu_{пр.}\sqrt{2g \cdot \gamma_{н.} \cdot \Delta P_{пр.}}} =$$

$$= \frac{350}{0{,}56\ \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}196 \cdot 0{,}314}} = 230 \text{ м}^2.$$

ПРИМЕР 2.

Поверочный расчет аэрации при совместном действии теплового и ветрового давлений.

(Для условий примера I).

Определить величину воздухообмена и условия работы отверстия с заветренной стороны здания (на приток или на вытяжку).

Дано: $Q_{изб.}$ = 1090 ккал/сек; $\gamma_{вн.}$ = 1,158 кГ/м$^3$; $\gamma_{н.}$ = = 1,196 кГ/м$^3$; скорость ветра $V_{в.}$ = 5 м/сек; аэродинамические коэффициенты для приточного отверстия с наветренной стороны $k_1$ = 0,5; для приточного отверстия с заветренной стороны $k_3$ = - 0,3; для вытяжного отверстия $k_2$ = - 0,5; площадь отверстий: $F_1$ = 108 м$^2$ ; $F_3$ = = 108 м$^2$ ; $F_2$ = 247 м$^2$ .

1. Ветровое давление в отверстии 1

$$P_{в_1} = k_1 \frac{V^2_{в.} \gamma_{н.}}{2g} = 0,5 \frac{5^2 \cdot 1,196}{2 \cdot 9,81} = 0,76 кГ/м^2$$

в отверстии 2

$$P_{в_2} = k_2 \frac{V^2_{в.} \gamma_{н.}}{2g} = -0,5 \frac{5^2 \cdot 1,196}{19,62} = - 0,76 кГ/м^2$$

в отверстии 3

$$P_{в_3} = k_3 \frac{V^2_{в.} \gamma_{н.}}{2g} = -0,3 \frac{5^2 \cdot 1,196}{19,62} = - 0,456 кГ/м^2$$

2. Разность удельных весов наружного и внутреннего воздуха

$$\gamma_{н.} - \gamma_{вн.} = 1,196 - 1,158 = 0,038 кг/м^3.$$

3. Задаемся предварительно высотой уровня отсчетов - $H'$ = = - 10 м. Так как приточное отверстие I расположено ниже уровня

отсчета (рис. 3), то ставится знак "минус". Запишем уравнение воздушного баланса (индексы, означают №№ отверстий). Примем, что отверстие 3 работает на приток:

$$\Sigma G_a = \mu_1 F_1 \sqrt{2g\gamma_н [P_{в_1} - H' (\gamma_н - \gamma_{вн})]} -$$

$$- \mu_2 F_2 \sqrt{2g \cdot \gamma_{вн} [(h - H')(\gamma_н - \gamma_{вн}) - P_{в_2}]} +$$

$$+ \mu_3 F_3 \sqrt{2g \cdot \gamma_н [H'(\gamma_н - \gamma_{вн}) - P_{в_3}]} =$$

$$= 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [0{,}76 - (-10 \times 0{,}038)]} -$$

$$- 0{,}5 \times 247 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}158 [(16{,}5 - 10) \times 0{,}038 + 0{,}76]} +$$

$$+ 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [(-10 \times 0{,}038) + 0{,}456]};$$

$$\Sigma G_a = 312 - 592 + 80{,}5 = -200 \text{ кг/сек.}$$

Принимаем H = – 25 м

$$\Sigma G_a = 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [0{,}76 - (-25 \times 0{,}038)]} -$$

$$- 0{,}5 \times 247 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}158 [(-8{,}5 \times 0{,}038) + 0{,}76]} +$$

$$+ 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [-0{,}456 - (-25 \times 0{,}038)]};$$

$$\Sigma G_a = 383 - 387 + 206 = +202 \text{ кг/сек.}$$

Принимаем H = – 18 м.

$$\Sigma G_a = 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [0{,}76 - (-18 \times 0{,}038)]} -$$

$$- 0{,}5 \times 247 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}196 [(-1{,}5 \times 0{,}038) + 0{,}76]} +$$

$$+ 0{,}56 \times 108 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}158 [-0{,}456 - (-18 \times 0{,}038)]};$$

$\Sigma G_a = 350 - 490 + 140 = 0$, т.е. при наличии ветра $V_в$=5м/сек воздухообмен в помещении увеличится с 329кг/сек до 490кг/сек. Отверстие 3 с заветренной стороны будет работать на приток. Площадь аэрационных проемов уменьшать не следует.

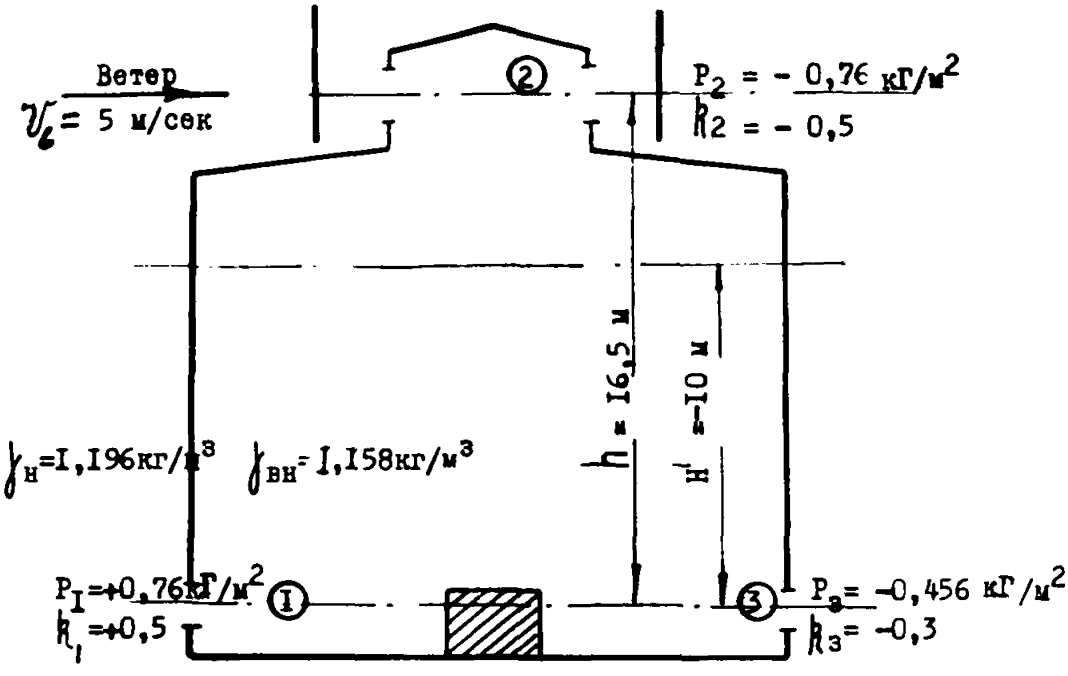

Ветер
$v_в$ = 5 м/сек
$P_2$ = - 0,76 кГ/м$^2$
$k_2$ = - 0,5
h = I6,5 м
H = I0 м
$\gamma_н$=I,I96кг/м$^3$
$\gamma_{вн}$= I,I58кг/м$^3$
$P_I$=+0,76кГ/м$^2$
$k_1$=+0,5
$P_3$= -0,456 кГ/м$^2$
$k_3$= -0,3

Рис. 3.

ПРИМЕР 3.

Рассчитать аэрацию однопролетного цеха в холодный период года (рис. 4), исходные данные см. пример I.

Дано: $Q_{изб.}$ = 800 ккал/сек; $t_{н.}$ = - I5°С; $t_{р.з.}$ = + I8°С; высота подачи наружного воздуха $h'$ = I0 м; $\frac{h'}{H}$ =0,555. Створки приточных проемов одинарные, среднеподвесные ($h/b$ = = I,0) с углом открытия $\alpha$ = 45°; коэффициент расхода $\mu_{пр.}$ = 0,44. Фонарь конструкции КТИС. $\mu_{выт.}$ = 0,50. Требуется определить на каком расстоянии от наружной стены струя пересечет верхнюю границу рабочей зоны и какая минимальная температура воздуха при этом будет.

РЕШЕНИЕ:

I. Расстояние от полюса струи до центра вытяжных отверстий (пример I):

для I группы печей - $z$ = I9,75 м;

для II группы печей - $z$ = I9,33 м;

для III группы печей - $z$ = 20,67 м;

для IУ группы печей - $z$ = I6,42 м.

2. Объемный расход воздуха в основном участке конвективной струи по формуле (2) или по номограмме (приложение II), принимая $Q_{конв.} = 0,5\ Q_{пост.}$:

для I группы печей - $L_{стр.}$ = 4I м³/сек;

для II группы печей - $L_{стр.}$ = 36 м³/сек;

для III группы печей - $L_{стр.}$ = 50 м³/сек;

для IУ группы печей - $L_{стр.}$ = 25 м³/сек.

3. Температура в свободной тепловой струе на высоте (h=I8м) по формуле (4), примем $\gamma_{стр.}$ = I,35 кг/м³:

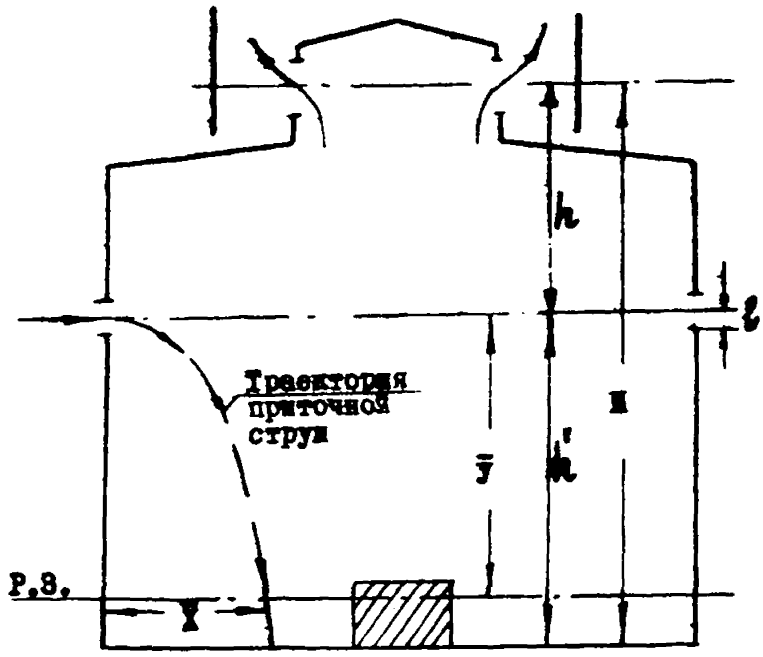



Рис. 4.

$$t_{стр.} = \frac{Q_{конв.}}{0{,}24\ \gamma_{стр.}\ L_{стр.}} + t_{н.} \quad \text{град.}$$

для I группы печей

$$t_{стр.} = \frac{35}{0{,}24 \cdot 1{,}36 \cdot 41} - 15 = -12{,}37^{\circ}C$$

для $t_{стр.} = -12{,}37^{\circ}C$ $\quad \gamma_{стр.} = 1{,}35$ кг/м$^3$.

Для II группы печей - $t_{стр.} = -12{,}86^{\circ}C$;

для III группы печей - $t_{стр.} = -11{,}9^{\circ}C$;

для IУ группы печей - $t_{стр.} = -13^{\circ}C$.

4. Средняя температура в тепловых струях на высоте $Z$ по формуле (5)

$$t_{стр.} = \frac{(35 + 25 + 50 + 15) \cdot 4}{0{,}24\ (1{,}35 \cdot 41 + 1{,}358 \cdot 36 + 1{,}352 \cdot 50 + 1{,}358 \cdot 25) \cdot 4} - 15 = -12{,}43^{\circ}C.$$

5. Температура уходящего воздуха при воздухообмене по формуле (6)

$$t_{ух.} = 1{,}2\ (t_{р.з.} + t_{стр.} - t_{н.}) = 1{,}2(18 - 12{,}43 + 15) = 24{,}6^{\circ}C.$$

6. Температура внутреннего воздуха по формуле (9)

$$t_{вн.} = 0{,}5(t_{ух.} + t_{р.з.}) = 0{,}5\ (24{,}6 + 18) = 21{,}9^{\circ}C.$$

7. Избыточное давление в приточном отверстии

$$P_{пр.} = \frac{H - h'}{2}\ (\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = \frac{18 - 10}{2}(1{,}369 - 1{,}199) = 0{,}68\ кГ/м^2.$$

8. Воздухообмен (7)

$$G_a = \frac{Q_{изб.}}{0{,}24\ (t_{ух.} - t_{н.})} = \frac{800}{0{,}24(24{,}6 + 15)} = 84{,}3\ кг/сек.$$

9. Определяем площади:

а) приточных отверстий

$$F_{пр.} = \frac{G_в}{\mu_{пр.}\sqrt{2g \cdot \gamma_{н.} \cdot \Delta P_{пр.}}} = \frac{84,3}{0,44\sqrt{19,62 \cdot 1,369 \cdot 0,68}} =$$

$$= 44,8 \text{ м}^2;$$

б) вытяжных проемов

$$F_{выт.} = \frac{84,3}{0,50\sqrt{19,62 \cdot 1,188 \cdot 0,68}} = 42,1 \text{ м}^2.$$

Принимая высоту приточного проема 0,25 м, определим длину приточных отверстий. Наружный воздух будет поступать с двух продольных сторон цеха через проемы длиной 90 м. Приток будет осуществляться плоскими струями через проемы 6,0 х 0,25 м. Характерный размер для плоской струи $\ell = 0,125$ м.

10. Значение критерия Архимеда (22)

$$Ar_а = \frac{0,5 \cdot \gamma_{н.} \cdot \ell \,(t_н - t_{вн})}{\mu^2_{пр.} \cdot \Delta P_{пр.} \,(273 + t_{вн.})} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot 1,369 \cdot 0,125 \,(-15 - 21,3)}{0,44^2 \cdot 0,68 \,(273 + 21,3)} = -0,08.$$

11. Относительная высота приточной струи

$$\bar{y} = \frac{h' - 2}{\ell} = \frac{10 - 2}{0,125} = 64.$$

12. Относительное расстояние от наружной стены до точки пересечения плоской струи с верхней границей рабочей зоны по формуле (24) или по номограмме (приложение УП):

$$\bar{x} = \frac{\bar{y}^{2/5}}{0,914 \; Ar_а^{2/5} \left(\frac{T_н.}{T_{вн.}}\right)^{1/5}} = \frac{64}{0,914 \cdot 0,08^{2/5} \left(\frac{273 - 15}{273 + 21,3}\right)^{1/5}} = 16,2$$

Расстояние от наружной стены до точки пересечения плоской струи с верхней границей рабочей зоны равно

$$x = \bar{x} \cdot \ell = 16,2 \cdot 0,125 = 2,0 \text{ м}.$$

13. Минимальная температура в струе на уровне рабочей зоны по приложению IX. При $\frac{h'}{H} = 0{,}555$

$$\frac{t_{min} - t_{вн.}}{t_{н.} - t_{вн.}} = 0{,}27$$

$t_{min} = 0{,}27\,(t_{н.} - t_{вн.}) + t_{вн.} = 0{,}27(-15 - 21{,}3) + 21{,}3 = +11{,}5^{\circ}C$.
Разность температур $t_{р.з.} - t_{min} = 18 - 11{,}5 = 6{,}5^{\circ}C$, меньше требуемой – $8^{\circ}C$.

ПРИМЕР 4.

Рассчитать аэрацию однопролетного цеха в холодный период года (рис. 4) с механической вытяжкой из рабочей зоны в объеме 40% от общего естественного воздухообмена. Исходные данные изложены в условиях примера 3.

Дано: $G_{а} = 84{,}3$ кг/сек; $G_{м.в} = 0{,}4 \cdot 84{,}3 = 33{,}7$ кг/сек;
$\Delta P_{пр.} = 0{,}68$ кГ/м$^2$.

РЕШЕНИЕ:

1. Находим площадь приточных отверстий для пропуска через них части аэрационного воздуха

$$F'_{пр.} = \frac{G_{а} - G_{м.в}}{\mu_{пр.}\sqrt{2g \cdot \gamma_{н.} \cdot \Delta P_{пр.}}} =$$

$$= \frac{84{,}3 - 33{,}7}{0{,}44\sqrt{19{,}62 \cdot 1{,}369 \cdot 0{,}68}} = 27 \text{ м}^2.$$

2. Средняя скорость в приточном проеме при действии теплового давления и разрежения, создаваемого механической вытяжкой,

$$V_{ср.} = \frac{G_{пр.} + G_{м.в}}{F_{пр.} \times \gamma_{н.}} = \frac{84,3}{27 \cdot 1,369} = 2,3 \text{ м/сек.}$$

3. Давление в приточном отверстии

$$\Delta P_{пр.} = \frac{V^2_{ср.} \gamma_{н}}{\mu^2 2g} = \frac{2,3^2 \cdot 1,369}{0,44^2 \cdot 19,62} = 1,86 \text{ кГ/м}^2.$$

4. Суммарная длина приточных отверстий 108 м, высота $b_0$ = = 0,25м.

Приток осуществляется плоскими струями через отверстия 6,0 х 0,25 м с двух продольных сторон цеха.

Характерный размер для плоской струи $\ell = \frac{b_0}{2} = 0,125$м.

5. Значение критерия Архимеда

$$Ar_a = \frac{0,5 \times 1,369 \times 0,125 (-15 - 21,3)}{0,44^2 \times 1,86 \ (273 + 21,3)} = - 0,029.$$

6. Относительная высота приточной струи

$$\bar{y} = \frac{h - 2}{\ell} = \frac{10 - 2}{0,125} = 64.$$

7. Относительное расстояние $\bar{x}$ по номограмме (приложение УП)

$$\bar{x} = 23.$$

8. Расстояние от наружной стены до точки пересечения плоской струи с верхней границей рабочей зоны

$$x = \bar{x} \cdot \ell = 23 \times 0,125 = 2,88 \text{ м.}$$

9. Минимальная температура воздуха в струе на уровне рабочей зоны составит (пример 3)

$$t_{min} = + 11,5^{\circ}C.$$

ПРИМЕР 5.

Рассчитать аэрацию 3 пролетного цеха в теплый период года. В цехе крайние пролеты горячие, средний - холодный (рис.5).

Длина пролетов - 150 м, ширина - 27 м, высота H = 20 м. Расстояние между серединами аэрационных проемов - $h$ = 17 м.

В первом пролете расположено теплоотдающее оборудование (10 печей размером 4,0 x 2,5 м при высоте - 3,0 м). Разрыв между печами $\frac{a'}{a}$ = 2,0; $Q_{пост.}$ = $10^3$ ккал/сек; $Q_{изб.}$=1,2 x x $10^3$ ккал/сек; $Q_{конв.}$ = 0,5 $Q_{пост.}$; $t_{н.}$ = + 20°С. Согласно санитарным нормам рабочая разность температур $\Delta t_{р.з.}$ = 5°С. В пролете Ш в один ряд расположены 3 источника тепла размером 12,0 x 5,0 и высотой 13 м. Разрыв между печами $\frac{a'}{a}$ = 2,0. Теплопоступления от 3 печей $Q_{пост.}$=1,5 x $10^3$ ккал/сек; $Q'_{изб.}$ = 1,6 x $10^3$ ккал/сек; $Q_{конв.}$ = 0,5 $Q_{пост.}$

Створки приточных проемов (I и 3) одинарные, среднеподвесные ($h/\beta$ = 1) с углом открытия $\alpha$ = 60°; $\mu$ = 0,56. Коэффициент расхода для отверстий 6 и 7 - $\mu_{6-7}$ = 0,6.

Над I и Ш пролетами фонари П-образные с ветрозащитными панелями с углом открытия створок $\alpha$ = 70°, $\mu_{I-III}$ = 0,46. Над пролетом II фонарь П-образный без ветрозащитных панелей с углом открытия створок $\alpha$ = 70°, $\mu_{II}$ = 0,44.

Требуется определить воздухообмен и площади аэрационных проемов для каждого пролета.

РЕШЕНИЕ:.

Пролет I.

I. Находим определяющий размер источника тепла

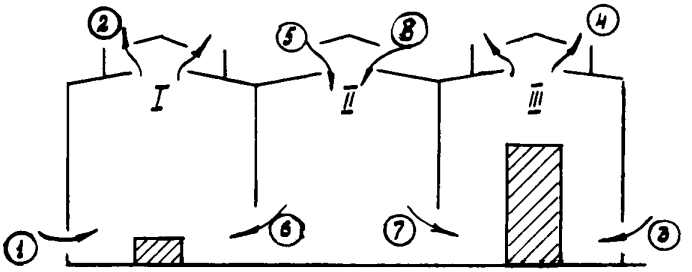



Рис. 5

$$A = \frac{2\,ав}{а + в} = \frac{2,0 \times 4,0 \times 2,5}{4,0 + 2,5} = 2,08 \text{ м.}$$

2. Расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточника

$$z_п = I,7 \cdot A = I,7 \times 3,08 = 5,23 \text{ м.}$$

3. Расстояние от полюса струи до середины вытяжных отверстий

$$z = z_п + z_в = 5,23 + (20 - 3) = 22,23 \text{ м.}$$

4. Количество конвективного тепла от одного теплоисточника

$$Q_{конв.} = \frac{I000}{I0,0} \cdot 0,5 = 50 \text{ ккал/сек.}$$

5. Объемный расход воздуха в конвективной струе на уровне $z$ (приложение II)

$$L_{стр.} = 55 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

6. Средняя температура в тепловой струе на уровне $z$ (4)

$$t_{стр.} = \frac{Q_{конв.}}{0,24\,\gamma_{стр.} L_{стр.}} + t_{н.} = \frac{50}{0,24 \quad I,I7 \quad 55} + 20 =$$

$$= 23,24^{\circ}C.$$

В I пролете оборудование расположено в один ряд, чистый воздух поступает с двух сторон - снаружи и из II пролета. Поэтому расчетная температура воздуха в рабочей зоне принимается равной

$$t_{р.з.} = t_{н.} + \Delta t_{р.з.} = 20 + 5 = 25^{\circ}C.$$

7. Температура уходящего воздуха (6)

$$t_{ух.} = I,2(t_{р.з.} + t_{стр.} - t_{н.}) = I,2(25+23,24-20) = 34^{\circ}C.$$

8. Температура внутреннего воздуха (9)

$$t_{вн.} = 0,5\,(t_{ух.} + t_{р.з.}) = 0,5\,(34 + 25) = 29,5^{\circ}C.$$

9. Располагаемое тепловое давление в отверстии I

$$\Delta P_1 = 0{,}5h(\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = 0{,}5 * 17(1{,}205 - 1{,}166) = 0{,}33 \text{ кГ/м}^2.$$

10. Расчетный воздухообмен

$$G_a = \frac{Q_{изб.}}{0{,}24(t_{ух.} - t_{н.})} = \frac{1200}{0{,}24\ (34 - 20)} = 357 \text{ кг/сек.}$$

11. Площадь вытяжных отверстий 2

$$F_2 = \frac{357}{0{,}46\sqrt{2 * 9{,}81 * 1{,}166 * 0{,}33}} = 282 \text{ м}^2.$$

12. Площадь приточного проема 1 определяется из предположения, что через него будет поступать 2/3 объема аэрационного воздуха, а остальная часть через отверстие 5 и 6:

$$F_1 = \frac{0{,}667 * 357}{0{,}56\sqrt{2 * 9{,}81 * 1{,}205 * 0{,}33}} = 153 \text{ м}^2.$$

13. Потери давления на проход воздуха через отверстие 6, принимая: $F_6 = F_1$ и $\zeta_6 = 2{,}78$, составят

$$\Delta P_6 = \frac{\zeta_6}{2g * \gamma_{в.}} \left(\frac{G_6}{F_6}\right)^2 = \frac{2{,}78}{19{,}62 * 1{,}205} \left(\frac{0{,}333 * 357}{153}\right)^2 = 0{,}072 \text{ кг/м}^2.$$

14. Давление в отверстии 5

$$\Delta P_5 = \Delta P_1 - \Delta P_6 = 0{,}33 - 0{,}072 = 0{,}258 \text{ кГ/м}^2.$$

$$F_5 = \frac{0{,}333 * 357}{0{,}44\sqrt{2 * 9{,}81 * 1{,}205 * 0{,}258}} = 108 \text{ м}^2.$$

Пролет Ш.

1. Средняя температура в тепловых струях на уровне вытяжных отверстий

$$A = \frac{2ав}{а + в} = \frac{2 * 12 * 5}{12 + 5} = 7{,}08 \text{ м.}$$

Расстояние от верхней грани печей до середины вытяжных от-

верстий - 7,0 м, а длина разгонного участка тепловой струи равна $Z_1 = 1,5 \cdot A = 1,5 \times 7,08 = 10,6$ м.

Объем воздуха в разгонном участке тепловой струи по номограмме (приложение 4). Площадь верхней грани теплоисточника $f = 12 \times 5 = 60$ м$^2$.

Количество конвективного тепла, выделяющееся от одного источника:

$$Q_{конв.} = \frac{0,5 \times 1500}{3} = 250 \text{ ккал/сек.}$$

Уровень, на котором определяется объемный расход воздуха в струе, $Z_1 = 7,0$ м.

Тогда $L_{стр.} = 123$ м$^3$/сек.

**Температура в тепловой струе на высоте $Z$** определяется по формуле (4)

$$t_{стр.} = \frac{250}{0,24 \times 1,17 \times 123} + 20 = 27,2^{\circ}C.$$

Температура уходящего воздуха (рабочие места расположены со стороны приточных проемов) - $t_{р.з.} = 25^{\circ}C$

$$t_{ух.} = 1,2 \ (25 + 27,2 - 20) = 38,6^{\circ}C.$$

3. Температура внутреннего воздуха

$$t_{вн.} = 0,5 \ (38,6 + 25) = 31,8^{\circ}C.$$

4. Избыточное давление в приточных отверстиях 3; 5 и 7 вычисляем по формуле (8)

$$\Delta P_{пр.} = 0,5 \times 17 \ (1,205 - 1,16) = 0,382 \text{ кГ/м}^2.$$

5. Объем аэрационного воздуха

$$G_a = \frac{Q_{изб.}}{0,24 \ (t_{ух.} - t_{н.})} = \frac{1600}{0,24 \ (38,6 - 20)} = 358 \text{ кг/сек.}$$

6. Площади проемов:

а) вытяжных 4

$$F_4 = \frac{358}{0,46\sqrt{19,62 \times 1,135 \times 0,382}} = 268\ м^2.$$

б) приточных для III пролета, считая, что объем аэрационного воздуха поступает поровну снаружи и из II пролета:

$$F_3 = \frac{0,5 \times 358}{0,56\sqrt{19,62 \times 1,205 \times 0,382}} = 106\ м^2.$$

7. Принимая $F_7 = 1,5 F_3$ и $\zeta = 2,4$, определяем $\Delta P_7$

$$\Delta P_7 = \frac{\zeta_7}{2g \times \gamma_н.} \left(\frac{G_7}{F_7}\right)^2 =$$

$$= \frac{2,4}{19,62 \times 1,205} \left(\frac{0,5 \times 358}{1,5 \times 106}\right)^2 = 0,129\ кГ/м^2.$$

8. Потери давления в отверстии 8

$$\Delta P_8 = \Delta P_3 - \Delta P_7 = 0,382 - 0,129 = 0,253\ кГ/м^2.$$

$$F_8 = \frac{0,5 \times 358}{0,44\sqrt{19,62 \times 1,205 \times 0,253}} = 166\ м^2.$$

ПРИМЕР 6.

В пролете III (рис.5) выделяется окись углерода в количестве

$$G_{газа} = 10000\ мг/сек; \quad K_{н.} = 2,5\ мг/м^3$$

ПДК для CO составляет 20мг/м$^3$. Требуется определить концентрацию окиси углерода в рабочей зоне при имеющемся воздухообмене.

РЕШЕНИЕ:

1. Определяем концентрацию CO в уходящем воздухе (14)

$$\Delta K_{ух.} = \frac{G_{газа}\ \gamma_{ух.}}{G_a} = \frac{10000 \times 1,135}{358} = 31,7\ мг/м^3$$

2. Определяем концентрацию газа в рабочей зоне

При $\frac{Q_{изб.}}{G_a} = \frac{1600}{358} = 4,47$ ккал/кг;

$$\bar{K}_{р.з.} = \frac{\Delta K_{р.з.}}{\Delta K_{ух}} = 0{,}127$$

(Приложение УI)

$$\Delta K_{р.з.} = 0{,}127 \times 3I{,}7 = 4 \text{ мг/м}^3$$

Тогда $K_{р.з.} = \Delta K_{р.з.} + K_{н.} = 4 + 2{,}5 = 6{,}5$ мг/м$^3$.

ПРИМЕР 7.

Рассчитать аэрацию 3 — пролетного цеха в теплый период года (все пролеты горячие, рис.6).

Длина пролетов 250 м, ширина - 27 м, высота первого пролета $H_1$ = 25 м, второго - $H_2$ = 30 м и третьего - $H_3$ = I8 м.

В первом пролете расположено в один ряд теплоотдающее оборудование (9 печей размером 3 х 5 м и высотой - 5 м; $Q_{пост.}$ = = I000 ккал/сек; 5 источников тепла размером $d$ = 4 м и высотой 8,0 м; $Q_{пост.}$ = 750 ккал/сек). Теплопоступления за счет солнечной радиации - $Q_{пост.}$ = 20 ккал/сек; от нагретого металла и других источников - $Q_{пост.}$ = 25 ккал/сек. Теплопотери - $Q_{пот.}$ = = I5 ккал/сек. Теплоизбытки - $Q_{изб.}$ = I780 ккал/сек. Относительный разрыв между печами - $\frac{a'}{a}$ = 2,5. Рабочие места расположены до и за печами.

В пролете П расположены в один ряд I2 печей размером 5 х 5м и высотой - I0 м; $Q_{пост.}$ = I000 ккал/сек; и 2 печи размером 4 х 9м; высотой - I5 м; $Q_{пост.}$ = 400 ккал/сек. Теплопоступления за счет солнечной радиации - $Q_{пост.}$ = I0 ккал/сек, от других источников - $Q_{пост.}$ = I5 ккал/сек. Теплопотери - $Q_{пот.}$ = I0 ккал/сек Теплоизбытки в пролете составляют - $Q_{изб.}$ = I4I5ккал/сек. Разрыв $\frac{a'}{a}$ = 3,0. Рабочие места расположены до и за печами. В пролете Ш расположены 5 печей, диаметром $d$ = 3м, высота печей - 5 м;

$Q_{пост.}$ = 500 ккал/сек ; $Q_{пот.}$ = I5 ккал/сек;

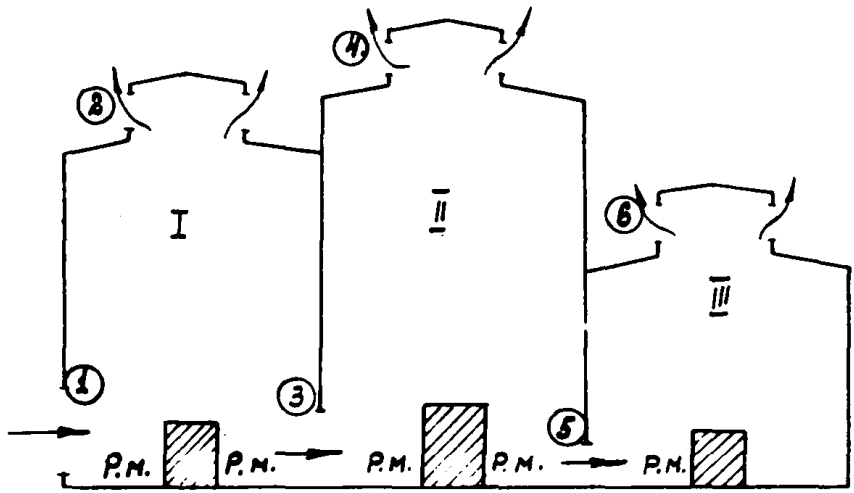



Рис. 6.

$Q_{изб.}$ = 485 ккал/сек; $\frac{a'}{a} > 5$. Рабочие места расположены со стороны приточных проемов (до источников тепла).

Фонари вытяжные П-образные с ветрозащитными панелями ($A/h$= = 3,3); $l/h$ = 2; $\alpha$ = 55; $\zeta_{выт.}$ = 5,I ; $\mu'_{выт.}$ = 0,44. Приточный воздух поступает во все пролеты через проемы в продольной стене I пролета. Конструкция приточных створок одинарная среднеподвесная - $\alpha$ = 60°; $h/b$ = I; $\zeta_1$ = 3,2 ; $\mu_1$ = 0,56. Коэффициенты расхода для приточных отверстий - 3 и 4 равны $\mu_3 = \mu_5$ = 0,64. Температура наружного воздуха $t_{н.}$ = + 20°С. Расчет аэрации проводится на обеспечение заданного нормами перепада температур в рабочей зоне Ш пролета - $\Delta t_{расч.}$ = 5°С.

Требуется определить воздухообмены и площади аэрационных проемов для каждого пролета.

РЕШЕНИЕ:

Пролет I.

I. Определяющий размер А для первой группы печей (печи одинаковые)

$$A = \frac{2 \times 3 \times 5}{3 + 5} = 3,75 \text{ м.}$$

2. Находим $z_п$

$$z_п = I,7 \times A = I,7 \times 3,75 = 6,37 \text{ м.}$$

3. Расстояние от полюса струи до середины вытяжных отверстий

$$z = 6,37 + (25 - 5) = 26,37 \text{ м.}$$

4. Количество конвективного тепла от одного источника, принимая: $Q_{конв.} = 0,5\, Q_{пост.}$

$$Q_{конв.} = \frac{1000}{9} - 0,5 = 55,7 \text{ ккал/сек.}$$

5. Объемный расход воздуха в свободной конвективной струе на уровне $z$ (приложение П)

$$L_{стр.} = 76,5 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

6. Определяющий размер для второй группы печей А = 4м; $z_п$ = = I,7 × 4 = 6,8.

7. Находим $z$

$$z = 6,8 + (25 - 8) = 23,6 \text{ м}.$$

8. Количество конвективного тепла, отдаваемого одной печью:

$$Q_{конв.} = \frac{750}{5} \cdot 0,5 = 75 \text{ ккал/сек}.$$

9. Расход в струе (приложение П)

$$L_{стр.} = 69,3 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

IO. Средняя температура в тепловых струях на уровне $z$ первого пролета

$$t_{стр.} = \frac{55,7 \times 9 + 75 \times 5}{0,24 \times I,I7(76,5 \times 9 + 69,3 \times 5)} + 20 = 23^{\circ}C.$$

II. Расчетная температура воздуха в рабочей зоне I пролета определяется в зависимости от принятой температуры в рабочей зоне Ш пролета и от относительного разрыва между печами каждого ряда источников тепла.

Расчетная температура в рабочей зоне Ш пролета - $t_{р.з.}$ = = 20 + 5 = 25°С. Для П пролета при $\frac{a'}{a}$ = 3,0 и п=0,76 (приложение IУ)

$$t_{р.з.} = t_{н.} + п \cdot \Delta t_{р.з.} = 20 + 0,76 \times 5 = 23,8^{\circ}C.$$

Для I пролета при $\frac{a'}{a}$ = 2,5 и п=0,72

$$t_{р.з.} = 20 + 0,76 \times 0,72 \times 5 = 22,74^{\circ}C.$$

I2. Температура уходящего воздуха через створки фонаря I пролета

$t_{ух.}$ = I,2 ( 22,74 + 23 - 20 ) = 30,8°С.

I3. Внутренняя температура воздуха

$$t_{вн.} = 0,5\ (30,8 + 22,74) = 26,8^{\circ}С.$$

I4. Располагаемое тепловое давление в отверстиях I и 2 при $h$ = 23 м

$$\Delta P_{пр.} = 0,5h\,(\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = 0,5 \times 23(I,205 - I,I78) = 0,3I \text{ кГ/м}^2.$$

I5. Расчетный воздухообмен

$$G_в = \frac{I780}{0,24\ (\ 30,8 - 20\ )} = 629 \text{ кг/сек.}$$

I6. Площадь вытяжных отверстий

$$F_2 = \frac{692}{0,44\sqrt{I9,62 \cdot I,I64 \cdot 0,3I}} = 592 \text{ м}^2.$$

Пролет П.

I7. Определяющий размер для первой группы печей

$$A = 5 \text{ м};\quad z_п = I,7 \cdot 5 = 8,5 \text{ м.}$$

I8. Вычисляем $z$

$$z = 8,5 + (30 - I0) = 28,5 \text{ м.}$$

I9. Количество конвективного тепла от одной печи равно (печи одинаковые)

$$Q_{конв.} = \frac{I000}{I2} \cdot 0,5 = 4I,7 \text{ ккал/сек.}$$

20. Расход в свободной тепловой струе на уровне $z$ (приложение П)

$$L_{стр.} = 78,2 \text{ м}^3\text{/сек.}$$

2I. Определяющий размер для второй группы печей

$$A = \frac{2 \cdot 4 \cdot 9}{4 + 9} = 5,55 \text{ м.}$$

Так как высота печей - I5 м, то определим высоту начального

участка струи

$$z_1 = 1{,}5\ A = 1{,}5 \times 5{,}55 = 8{,}3\ м.$$

Расстояние от верхней грани печей до центра вытяжных отверстий равно 15 м. Следовательно, расчет проводим для основного участка струи.

22. Определяем $z$

$$z = z_п + z_в = 1{,}7 \times 5{,}55 + (30 - 15) = 24{,}4\ м.$$

23. Количество конвективного тепла от одного источника

$$Q_{конв.} = \frac{400}{2} \cdot 0{,}5 = 100\ ккал/сек.$$

24. Расход воздуха в струе на уровне $z$ составит (номограмма II)

$$L = 81\ м^3/сек.$$

25. Средняя температура в тепловых струях на уровне $z$ второго пролета

$$t_{стр.} = \frac{41{,}7 \times 12 + 100 \times 2}{0{,}24 \cdot 1{,}17(78{,}2 \cdot 12 + 81 \cdot 2)} + 20 = 22{,}8^{\circ}C.$$

26. Температура уходящего воздуха во II пролете $t_{р.з.} = 23{,}8^{\circ}C$

$$t_{ух.} = 1{,}2(23{,}8 + 22{,}8 - 20) = 32^{\circ}C.$$

27. Температура внутреннего воздуха

$$t_{вн.} = 0{,}5\ (32 + 20) = 26^{\circ}C$$

28. Располагаемое тепловое давление в отверстии 4

$$\Delta P_{выт.} = 0{,}5h(\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = 0{,}5 \cdot 28(1{,}205 - 1{,}18) = 0{,}35\ кГ/м^2$$

29. Расчетный воздухообмен

$$G_a = \frac{1415}{0{,}24\ (32 - 20)} = 492\ кг/сек.$$

30. Площадь вытяжных проемов

$$F_4 = \frac{492}{0,44\sqrt{19,6 * 1,157 * 0,35}} = 397\ м^2.$$

Пролет Ш.

31. Определяем $z$

$$z = 1,7 * 3 + (18 - 5) = 18,1\ м.$$

32. Конвективное тепло от источника

$$Q_{конв.} = \frac{500}{5} \cdot 0,5 = 50\ ккал/сек.$$

33. Расход в струе (номограмма П)

$$L = 39,2\ кг/сек$$

34. Температура в струе на уровне

$$t_{стр.} = \frac{50}{0,24 * 1,17 * 39,2} + 20 = 24,52^oC.$$

35. Температура уходящего воздуха для $t_{р.з.} = 25^oC$

$$t_{ух.} = 1,2(25 + 24,52 - 20) = 35,4^oC.$$

36. Температура внутреннего воздуха

$$t_{вн.} = 0,5(35,4 + 25) = 30,2^oC$$

37. Располагаемое тепловое давление для отверстия 5, принимаемым равным 0,3 $\Delta P_т$.

$$\Delta P_б = 0,3\,h\,(\gamma_{н.} - \gamma_{вн.}) = 0,3 * 16(1,205-1,165)=0,193кГ/м^2.$$

38. Расчетный воздухообмен в Ш пролете

$$G_a = \frac{485}{0,24\ (35,4 - 20)} = 131\ кг/сек.$$

39. Площадь фонаря

$$F_б = \frac{131}{0,44\sqrt{19,6 * 1,144 * 0,193}} = 143\ м^2.$$

40. Находим площади приточных проемов I, 3, 5.

весовой расход воздуха через отверстие I.

$$G_1 = G_2 + G_4 + G_6 = 692 + 492 + 131 = 1215 \text{ кг/сек}$$

$$F_1 = \frac{G_1}{\mu_1 \sqrt{2g \cdot \gamma_{н.} \cdot \Delta P_1}} =$$

$$= \frac{1215}{0{,}56 \cdot \sqrt{19{,}62 \cdot 1{,}205 \cdot 0{,}31}} = 795 \text{ м}^2.$$

Потери давлений на проход воздуха через проемы 3 и 5

$$\Delta P_3 = \Delta P_{1;3;4} - \Delta P_1 - \Delta P_4 = 0{,}7 - 0{,}31 - 0{,}35 = 0{,}04 \text{ кг/м}^2.$$

$$\Delta P_5 = \Delta P_{1;3;5;6} - \Delta P_1 - \Delta P_3 - \Delta P_6 = 0{,}64 - 0{,}31 - 0{,}04 - 0{,}193 =$$
$$= 0{,}097 \text{ кГ/м}^2.$$

$$F_3 = \frac{G_4 + G_6}{\mu_3 \sqrt{2g \cdot \gamma_{р.з.} \cdot \Delta P_3}} =$$

$$= \frac{492 + 131}{0{,}64 \sqrt{19{,}62 \quad 1{,}193 \quad 0{,}04}} = 1050 \text{ м}^2.$$

$$F_5 = \frac{G_6}{\mu_5 \sqrt{2g \cdot \gamma_{р.з.} \cdot \Delta P_5}} =$$

$$= \frac{131}{0{,}64 \sqrt{19{,}62 \cdot 1{,}188 \cdot 0{,}097}} = 136 \text{ м}^2.$$

Пример 8. Рассчитать аэрацию двухэтажного здания (отделение газовой компрессии) в теплый период года (рис.7).

Длина здания 48 м, ширина - 24 м, высота первого этажа 6 м, второго - 16 м.

Теплоотдающее оборудование:

1) компрессор азотноводородной смеси размером в плане 5 х 11 м и высотой 2 м (над отметкой 6 м). Тепловыделения $Q_{пост}$ = 466 ккал/сек, из которых 60% выделяется в I этаже (от оборудования и трубопроводов);

2) компрессор воздушный размером в плане 5 х 11 м и высотой 2 м (над отметкой 6 м). Тепловыделения $Q_{пост}$ = 225 ккал/сек, из них 60% выделяется в пределах I этажа (от оборудования и трубопроводов);

3) компрессор природного газа размером в плане 3 х 7,5 м и высотой 1,5 м (над отметкой 6 м). Тепловыделения $Q_{пост}$ = 100 ккал/сек, из них 55% выделяется в пределах I этажа. Теплопоступления от солнечной радиации $Q_{рад.}$ = 42 ккал/сек. Теплопотери $Q_{пот}$ = 0.

Температура наружного воздуха $t_н$ = +22,8 °С.

Температура воздуха в рабочей зоне:

2-го этажа $t_{р.з.}$ = +28°С;

I-го этажа $t_{р.з.}$ = +30°С.

Пребывание рабочих в I этаже периодическое, во 2- ом этаже - постоянное. Фиксированных рабочих мест нет.

**Створки приточных проемов:**

а) двойные - наружная верхнеподвесная, внутренняя - нижнеподвесная $h/в$ = 0,5, $\alpha$ = 30°, $\zeta$ = II, $\mu$ = 0,3. Центры приточных проемов на отметках 2,1 м и 8,1 м;

б) одинарные - верхнеподвесные $h/в$ = 0,5, $\alpha$ = 30°, $\zeta$ = 6,9, $\mu$ = 0,38. Центры отверстий на отметках 9,9 м и 11,7 м.

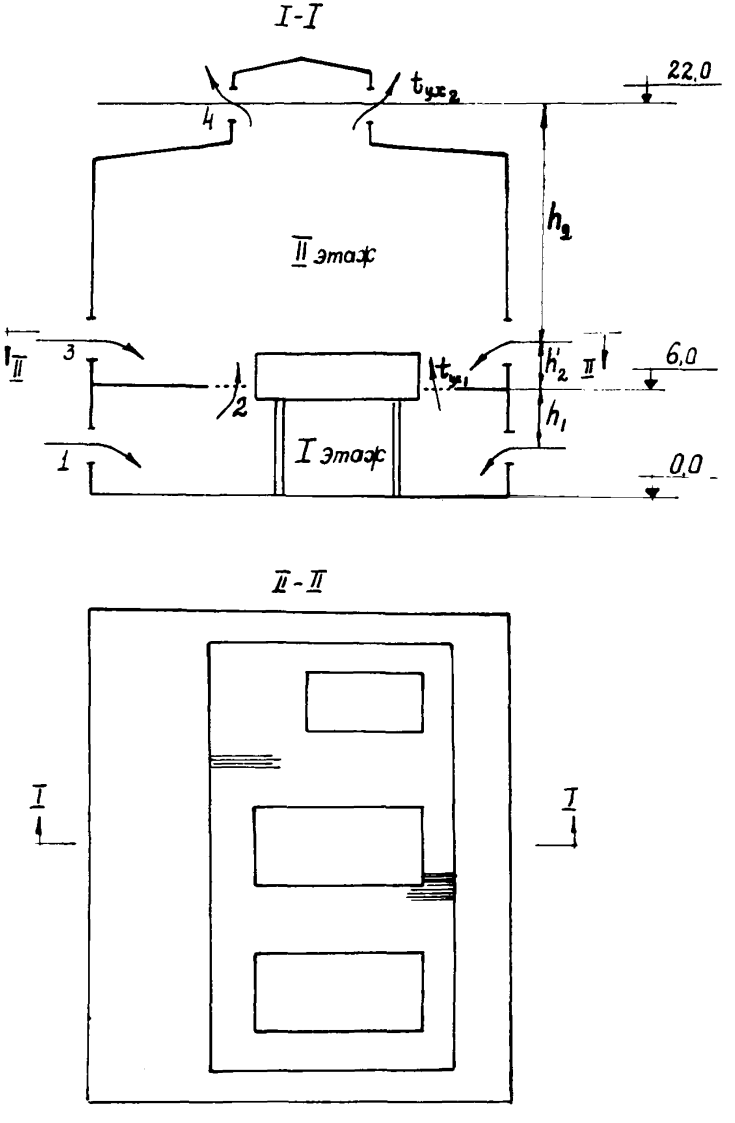



Рис. 7.

Этажи между собой сообщаются проемами, снабженными решетками $\zeta = 4{,}0$, $\mu = 0{,}5$. Фонарь конструкции КТИС. Коэффициент местного сопротивления $\zeta = 4{,}3$, $\mu = 0{,}48$. Приток наружного воздуха во второй этаж осуществляется с двух продольных сторон. (При определении $\Delta t_{р.з.}$ разрыв между источниками тепла не учитывается). Требуется определить величину воздухообмена и необходимые площади аэрационных проемов.

Р е ш е н и е

I. Определяющий размер источников тепла:

компрессор азотно-водородной смеси

$$A = \frac{2ab}{a + b} = \frac{2 \times 11 \times 5}{11 + 5} = 6{,}87 \text{ м};$$

компрессор воздушный

$$A = 6{,}87 \text{ м};$$

компрессор природного газа

$$A = \frac{2 \times 3 \times 7{,}5}{3 + 7{,}5} = 4{,}28 \text{ м}.$$

Так как высота разгонного участка тепловой струи ($Z_1 = 1{,}5 \times A = 1{,}5 \times 6{,}87 = 10{,}3$ м) меньше расстояния от верхней грани печи до центра отверстия в фонаре ( 16 − 2 = 14 м), то определяются параметры основного участка свободной тепловой струи круглого сечения ( $\frac{B}{a} < 1/3$).

2. Находим $Z_п$ для каждой струи

$Z_п = 1{,}7A = 1{,}7 \times 6{,}87 = 11{,}7$ м

$Z_п = 11{,}7$ м

$Z_п = 7{,}27$ м.

3. Расстояние от полюса струи до середины вытяжных отверстий в фонаре

$Z = Z_n + Z_g = 11{,}7 + (16 - 2) = 25{,}7$ м

$Z = 25{,}7$ м

$Z = 7{,}27 + (16 - 1{,}5) = 21{,}77$ м.

4. Конвективное тепло от компрессоров

$Q_к = 0{,}5 \times 0{,}4 Q_{пост} = 0{,}5 \times 0{,}4 \times 466 = 93$ ккал/сек

$Q_к = 0{,}5 \times 0{,}4 \times 225 = 45$ ккал/сек

$Q_к = 0{,}5 \times 0{,}45 \times 100 = 22{,}4$ ккал/сек.

5. Объемный расход воздуха в свободных тепловых струях на уровне $Z$ (приложение II)

$L_{стр} = 88{,}0$ м$^3$/сек

$L_{стр} = 69{,}0$ м$^3$/сек

$L_{стр} = 50{,}0$ м$^3$/сек.

6. Средняя температура в тепловых струях на высоте $Z$.

$$t_{стр} = \frac{93 + 45 + 22{,}4}{0{,}24 \times 1{,}17(88{,}0+69{,}0+50{,}0)} + 22{,}8 = 25{,}6^{\circ}C.$$

7. Температура уходящего воздуха:

I этаж

$t_{ух_1} = 1{,}2(t_{р.з.} + t_{стр} - t_н) = 1{,}2(30 + 25{,}6 - 22{,}8) = 39{,}3^{\circ}C$;

II этаж

$t_{ух_2} = 1{,}2(t_{р.з.} + t_{стр} - t_н) = 1{,}2(28+25{,}6-22{,}8) = 36{,}9^{\circ}C.$

8. Теплоизбытки: в I этаже

$Q_1 = 0{,}6 \times 466 + 0{,}6 \times 225 + 0{,}55 \times 100 = 470$ ккал/сек ;

во II этаже

$Q_2 = 0{,}4 \times 466 + 0{,}4 \times 225 + 0{,}45 \times 100 + 42 = 363$ ккал/сек.

9. Весовой расход воздуха, протекающего через проемы 1, 2 и 3:

$$G_{в_1} = G_{в_2} = \frac{470}{0{,}24(39{,}3 - 22{,}8)} = 118{,}6 \text{ кг/сек},$$

при $t_{ух_1} > t_{ух_2}$

$$G_{a_3} = \frac{Q_2 + 0{,}24 \times G_2 (t_{ух_1} - t_{ух_2})}{0{,}24 (t_{ух_2} - t_н)} = \frac{363 + 0{,}24 \times 118{,}6\ (39{,}3 - 36{,}9)}{0{,}24(36{,}9 - 22{,}8)}$$

$$= 128{,}5 \text{ кг/сек.}$$

10. Температура и удельный вес внутреннего воздуха:

I этаж

$$t_{вн_1} = \frac{t_{р.з.} + t_{ух_1}}{2} = \frac{30 + 39{,}3}{2} = 34{,}7^{\circ}C\ ,$$

$$\gamma_{34{,}7} = 1{,}15 \text{ кг/м}^3\ ;$$

II этаж

$$t_{вн_2} = \frac{28 + 36{,}9}{2} = \frac{28 + 36{,}9}{2} = 32{,}45^{\circ}C,$$

$$\gamma_{32{,}45} = 1{,}156 \text{ кг/м}^3.$$

11. Располагаемые тепловые давления:

в отверстиях 1,2 и 4

$$\Delta P_{1,2,4} = h_1(\gamma_н - \gamma_{вн_1}) + (h'_2 + h_2)(\gamma_н - \gamma_{вн_2}) =$$

$$= 3{,}9(1{,}197 - 1{,}15) + (2{,}1 + 13{,}9)(1{,}197 - 1{,}156) = 0{,}839 \text{ кг/м}^2;$$

в отверстиях 3 и 4

$$\Delta P_{3,4} = h_3(\gamma_н - \gamma_{вн_2}) = 13{,}9(1{,}197 - 1{,}156) = 0{,}57 \text{ кг/м}^2.$$

Принимаем:

$$\Delta P_3 = \Delta P_4 = 0{,}5 \times 0{,}57 = 0{,}285 \text{ кг/м}^2$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 = \frac{\Delta P_{1,2,4} - \Delta P_4}{2} = \frac{0{,}839 - 0{,}285}{2} = 0{,}277 \text{ кг/м}^2$$

12. Площади проемов:

$$F_1 = \frac{118{,}6}{0{,}3\sqrt{19{,}62 \times 1{,}197 \times 0{,}277}} = 156 \text{ м}^2\ ;$$

$$F_2 = \frac{118{,}6}{0{,}5\sqrt{19{,}62 \times 1{,}15 \times 0{,}277}} = 95{,}2 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{128{,}5}{0{,}3\sqrt{19{,}62 \times 1{,}197 \times 0{,}285}} = 166 \text{ м}^2;$$

$$F_4 = \frac{G_2 + G_3}{\mu\sqrt{2g \cdot \gamma_{в_{н_2}} \Delta P_4}} = \frac{118{,}6 + 128{,}5}{0{,}48\sqrt{19{,}62 \times 1{,}156 \times 0{,}285}} = 203 \text{ м}^2$$

13. Тепловой баланс 2-х этажного здания

$$(Q_1 + Q_2) = 0{,}24\,(t_{ух_2} - t_н)(G_{a_1} + G_{a_3}) \quad \text{ккал/сек};$$

$$470+363 = 0{,}24(36{,}9-22{,}8)(118{,}6+128{,}5)$$

$$833 = 833$$

ПРИМЕР 9.

Рассчитать аэрацию 5-этажного здания в теплый период года /рис.8/. Здание размером в плане 24 х 54 м и высотой 34 м.

I. На I этаже расположена одна нагревательная печь размером 5 х 12,0 м и высотой 2 м. Теплопоступления от печи $Q_{пост.} = 100$ ккал/сек, от солнечной радиации $Q_{рад.} = 5$ ккал/сек. Теплопотери $Q_п = 15$ ккал/сек.

2. На II этаже источников тепла нет. Теплопоступления от солнечной радиации $Q_{рад} = 5$ ккал/сек.

3. На III этаже находятся 4 источника тепла, выходящие через проемы в перекрытии на IУ этаж. размером в плане $a = 1{,}5$ м и высотой 8 м; $\frac{a'}{a} = 7$. Тепловыделения от нагревателей составляют $Q_{пост.} = 150$ ккал/сек, из них 80 % на III этаже. Теплопоступления от солнечной радиации: в III этаж - $Q_{рад} = 5$ ккал/сек; в IУ этаж - $Q_{рад} = 7$ ккал/сек. Теплопотери: III этаж - $Q_п = 8$ ккал/сек; IУ этаж - $Q_п = 12$ ккал/сек.

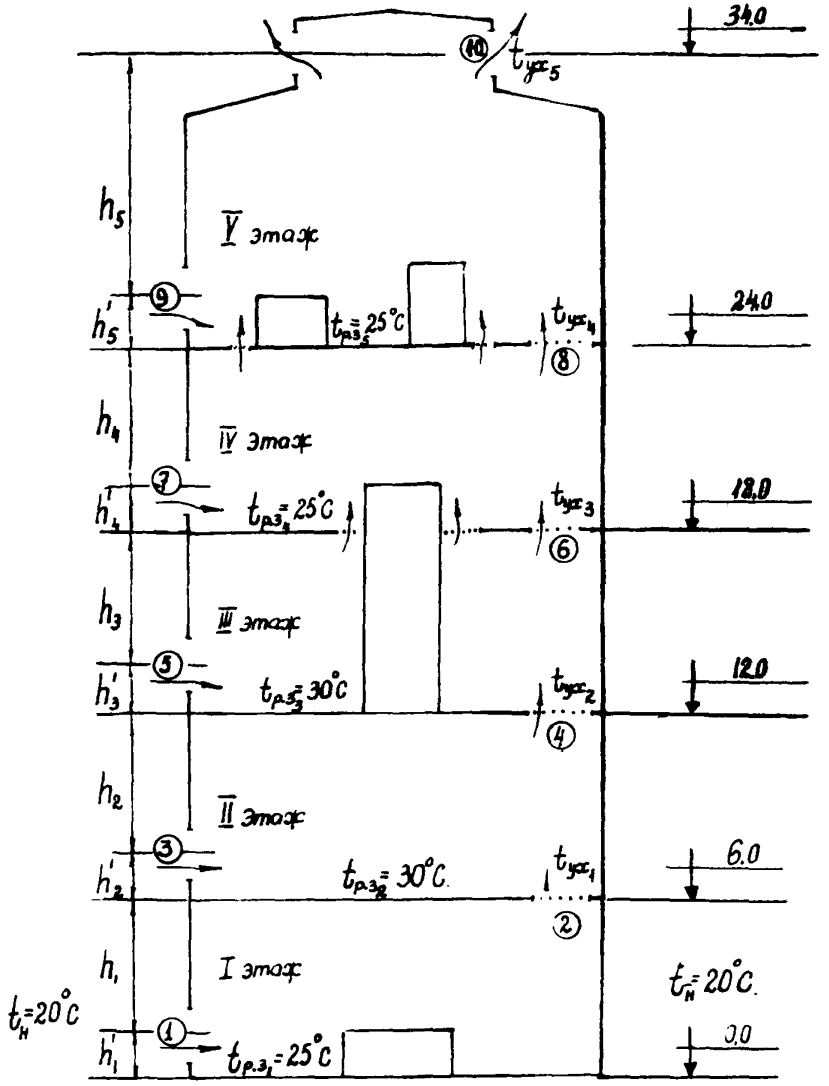

34,0
⑩
$t_{ух_5}$
$h_5$
V этаж
⑨
$h'_5$
$t_{р.з_5}$= 25°C
$t_{ух_4}$
24,0
⑧
$h_4$
IV этаж
⑦
$h'_4$
$t_{р.з_4}$= 25°C
$t_{ух_3}$
12,0
⑥
$h_3$
III этаж
⑤
$h'_3$
$t_{р.з_3}$= 30°C
$t_{ух_2}$
12,0
④
$h_2$
II этаж
③
$h'_2$
$t_{р.з_2}$= 30°C.
$t_{ух_1}$
6,0
②
$h_1$
I этаж
$t_н$= 20°C.
$t_н$= 20°C
①
$h'_1$
$t_{р.з_1}$= 25°C
0,0

Рис. 8

4. На 5 этаже расположены 2 источника тепла: первый диаметром $d$ = I,5 м и высотой 2,5 м; второй соответственно $d$ = 2,0 м и высотой 3 м. Тепловыделения от первой печи $Q_{пост.}$ = 40 ккал/сек, от второй – $Q_{пост.}$ = 60 ккал/сек. Теплопоступления от солнечной радиации $Q_{рад}$ = I0 ккал/сек. Теплопотери $Q_{п}$ = 20 ккал/сек.

Расчетная температура наружного воздуха $t_{н}$ = +20°С, в рабочей зоне: I этаж – $t_{р.з.}$ = 25°С; II этаж – $t_{р.з.}$ = 30°С (периодическое пребывание людей); III этаж – $t_{р.з.}$ = 30°С (периодическое пребывание людей); IУ этаж – $t_{р.з.}$ = 25°С и У этаж – $t_{р.з.}$ = 25°С.

Наружный воздух поступает через приточные проемы I, 3, 5, 7 и 9. Створки приточных проемов двойные – наружная верхнеподвесная, внутренняя – нижнеподвесная; $\zeta$ = II; $\mu$ = 0,3. Центры приточных проемов находятся на высоте $h$ = 2,I м.

Этажи в здании сообщаются монтажными проемами 2,4, 6, 8 размером 4 х 4 м. (коэффициент местного сопротивления проема $\zeta$ = 2,38; $\mu$ = 0,65) и другими проемами (около печей), снабженными решетками, $\zeta$ = 4,0; $\mu$ = 0,5.

Фонарь конструкции КТИС, $\zeta$ = 4,3; $\mu$ = 0,48.

Требуется определить воздухообмен и площади аэрационных проемов.

РЕШЕНИЕ. I этаж.

I. Определяем расход воздуха в плоской свободной конвективной струе (на отметке 6,0 м по формуле 3а) или по номограмме (приложение IIIа).

$$Q_{конв} = 0{,}5 \times 100 = 50 \text{ ккал/сек}; \quad z_{в} = 6 - 2 = 4 \text{ м}; \quad a = 12 \text{ м}.$$

$$L_{стр} = 0{,}154 \sqrt[3]{50} \times 12^{2/3} \times 4 = 11{,}9 \text{м}^3/\text{сек}$$

2. Температура в струе, на высоте $z_{в}$

$$t_{стр} = \frac{50}{0{,}24 \times 1{,}17 \times 11{,}9} + 20 = 35°\text{С}.$$

3. Температура уходящего воздуха

$$t_{ух_1} = 1{,}2\ (\ 25 + 35 - 20\ ) = 48^{\circ}C.$$

4. Расход воздуха, протекающего через отверстие I и 2:

$$G_{a_1} = G_{a_2} = \frac{Q_1}{0{,}24\ (t_{ух_1} - t_н)} =$$

$$= \frac{100 + 5 = 15}{0{,}24(\ 48 - 20)} = 13{,}4 \text{ кг/сек}.$$

II этаж.

5. Расход воздуха в плоской свободной конвективной струе на отметке 12,0 м (по формуле 3а) или по номограмме (приложение IIIа)

$$Q_{конв.} = 0{,}5 \times 100 = 50 \text{ ккал/сек};\quad Z_в = 12 - 2{,}0 = 10 \text{ м};$$

$$a = 12 \text{ м};\qquad L_{стр} = 29{,}6 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

6. Температура в струе на уровне $Z_в$

$$t_{стр} = \frac{50}{0{,}24 \times 1{,}17 \times 29{,}6} + 20 = 26{,}0^{\circ}C.$$

7. Температура уходящего воздуха

$$t_{ух_2} = 1{,}2\ (\ 30 + 26 - 20) = 43{,}2^{\circ}C$$

8. Расход воздуха, протекающего через проем 3 (во II этаже источников тепла нет), при $t_{ух_1} > t_{ух_2}$

$$G_{a_3} = \frac{Q_{II} + 0{,}24 G_{a_1}(t_{ух_1} - t_{ух_2})}{0{,}24(t_{ух_2} - t_н)} =$$

$$= \frac{5 + 0{,}24 \times 13{,}4\ (48 - 43{,}2)}{0{,}24\ (43{,}2 - 20)} = 3{,}6 \text{ кг/сек.}$$

Расход воздуха, протекающего через проем 4:

$$G_{a_4} = G_{a_2} + G_{a_3} = 13{,}4 + 3{,}6 = 17{,}0 \text{ кг/сек.}$$

III этаж.

9. Определяющий размер источника тепла $A = d = 1{,}5$ м.

Высота разгонного участка свободной конвективной струи ($z_1 = 1{,}5\,d = 1{,}5 \times 1{,}5 = 2{,}25$ м) значительно меньше расстояния от верхней грани печи до вытяжного отверстия $z_в = 4$ м.

Полюс струи $z_п = 1{,}7\,d = 1{,}7 \times 1{,}5 = 2{,}55$ м.

$$z = z_п + z_в = 2{,}55 + 4 = 6{,}55 \text{ м.}$$

Конвективное тепло от одного источника, принимая $Q_{луч} = Q_{конв}$, составляет

$$Q_{конв.} = \frac{0{,}5\,Q_{пог}}{4} = \frac{0{,}5 \times 150}{4} = 18{,}75 \text{ ккал/сек.}$$

10. Объемный расход воздуха в струе

$$L_{стр} = 5{,}62 \text{ м}^3\text{/сек.}$$

11. Температура в струях

$$t_{стр} = \frac{18{,}75 \times 4}{0{,}24 \times 1{,}17 \times 5{,}62 \times 4} + 20 = 31{,}9^{\circ}\text{C.}$$

12. Температура уходящего воздуха

$$t_{ух_3} = 1{,}2\ (t_{р.з._3} + t_{стр} - t_н) =$$

$$= 1{,}2\ (30 + 31{,}9 - 20) = 50{,}4^{\circ}\text{C.}$$

13. Расход воздуха (проем 5) при $t_{ух_3} > t_{ух_2}$

$$G_{a_5} = \frac{Q_{III} - 0{,}24 G_{a_4}(t_{ух_3} - t_{ух_2})}{0{,}24\,(t_{ух_3} - t_н)} =$$

$$= \frac{(0{,}8 \times 150 + 5 - 8) - 0{,}24 \times 17{,}0(50{,}4 - 43{,}2)}{0{,}24\,(50{,}4 - 20)} = 12{,}0 \text{кг/сек}$$

Расход воздуха, протекающего через проем 6 :

$$G_{a_6} = G_{a_4} + G_{a_5} = 17{,}0 + 12{,}0 = 29{,}0 \text{ кг/сек.}$$

IУ этаж.

14. Температура уходящего воздуха

$$t_{ух_4} = 1{,}2(t_{р.з._4} + t_{стр.} - t_н) =$$

$$1{,}2(25 + 31{,}9 - 20) = 44{,}2^{\circ}C.$$

15. Расход воздуха, протекающего через отверстие 7, при $t_{ух_4} < t_{ух_3}$

$$G_{a_7} = \frac{Q_{IV} + 0{,}24 G_{a_6}(t_{ух_3} - t_{ух_4})}{0{,}24\,(t_{ух_4} - t_н)} =$$

$$= \frac{(0{,}2 \times 150 + 7 - 12) + 0{,}24 \times 29{,}0(50{,}4 - 44{,}2)}{0{,}24\,(44{,}3 - 20)} = 11{,}7 \text{кг/сек}$$

Расход воздуха, протекающего через проем 8.

$$G_{a_8} = G_{a_6} + G_{a_7} = 29{,}0 + 11{,}7 = 40{,}7 \text{ кг/сек.}$$

У этаж.

16. Определяющий размер первого источника А = 1,5 м:

$$Z_п = 1{,}7 \times 1{,}5 = 2{,}55 \text{ м}; \quad Z_в = 10 - 2{,}5 = 7{,}5 \text{ м};$$

$$Z = Z_{п} + Z_{в} = 2,55 + 7,5 = 10,05 \text{ м}; \quad Q_{конв} = 20 \text{ ккал/сек.}$$

17. Объемный расход воздуха в тепловой струе

$$L_{стр} = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

18. Высота $Z$ для второй печи

$$Z_{п} = 1,7 \times 2,0 = 3,4 \text{ м}; \quad Z_{в} = 10 - 3 = 7 \text{ м}; \quad Z = 10,4 \text{ м.}$$

$$Q_{конв.} = 0,5 \times 60 = 30 \text{ ккал/сек.}$$

19. Объемный расход воздуха в тепловой струе

$$L_{стр.} = 13,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

20. Средняя температура воздуха в струях на уровне $Z$.

$$t_{стр} = \frac{20 + 30}{0,24 \times 1,17(11,3 + 13,8)} + 20 = 27,1^{\circ}C$$

21. Температура уходящего воздуха

$$t_{ух_5} = 1,2 \left( t_{р.з._5} + t_{стр.} - t_{н} \right) =$$

$$= 1,2 \left( 25 + 27,1 - 20 \right) = 38,6^{\circ}C.$$

22. Расход воздуха, протекающего через проем 9, при $t_{ух_4} > t_{ух_5}$

$$G_{а_9} = \frac{Q_{у} + 0,24\, G_{а_8} (t_{ух_4} - t_{ух_5})}{0,24 \left( t_{ух_5} - t_{н} \right)} =$$

$$= \frac{(40 + 60 + 10 - 20) + 0,24 \times 40,7(44,3 - 38,6)}{0,24(38,6 - 20)} = 32,7 \text{ кг/сек}$$

23. Расход воздуха, протекающего через отверстие 10:

$$G_{а_{10}} = G_{а_8} + G_{а_9} = 40,7 + 32,7 = 73,4 \text{ кг/сек.}$$

24. Тепловой баланс здания

$$(Q_{I} + Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV} + Q_{V}) = (G_{a_1} + G_{a_3} + G_{a_5} + G_{a_7} + G_{a_9}) \times$$
$$\times 0{,}24\,(t_{ух_5} - t_{н}) \quad \text{ккал/сек},$$

$$(90 + 5 + 117 + 25 + 90) = (13{,}4 + 3{,}6 + 12 + 11{,}7 + 32{,}7) \times$$
$$\times 0{,}24(38{,}6 - 20)$$

$$327 \cong 327{,}5 \quad \text{ккал/сек}.$$

25. Температура и удельный вес внутреннего воздуха:

I этаж – $t_{вн_1} = \frac{48 + 25}{2} = 36{,}5^{\circ}C$; $\gamma_{вн_1} = 1{,}138$ кг/м$^3$;

II этаж – $t_{вн_2} = \frac{43{,}2 + 30}{2} = 36{,}6^{\circ}C$; $\gamma_{вн_2} = 1{,}137$ кг/м$^3$;

III этаж – $t_{вн_3} = \frac{50{,}4 + 30}{2} = 40{,}2^{\circ}C$; $\gamma_{вн_3} = 1{,}127$ кг/м$^3$;

IV этаж – $t_{вн_4} = \frac{44{,}2 + 25}{2} = 34{,}6^{\circ}C$; $\gamma_{вн_4} = 1{,}147$ кг/м$^3$;

V этаж – $t_{вн_5} = \frac{38{,}6 + 25}{2} = 31{,}8^{\circ}C$; $\gamma_{вн_5} = 1{,}162$ кг/м$^3$.

26. Располагаемое тепловое давление:

$$\Delta P_{1,2,4,6,8,10} = h_1(\gamma_{н} - \gamma_{вн_1}) + (h'_2 + h_2)(\gamma_{н} - \gamma_{вн_2}) +$$
$$+ (h'_3 + h_3)(\gamma_{н} - \gamma_{вн_3}) + (h'_4 + h_4)(\gamma_{н} - \gamma_{вн_4}) + (h'_5 + h_5)(\gamma_{н} - \gamma_{вн_5})$$
$$= 3{,}9(1{,}205 - 1{,}138) + 6(1{,}205 - 1{,}137) + 6(1{,}205 - 1{,}127) +$$
$$+ 6(1{,}205 - 1{,}147) + 10(1{,}205 - 1{,}162) =$$
$$= 1{,}915 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_{3,4,6,8,10} = h_2(\gamma_н - \gamma_{вн_2}) + (h'_3 + h_3)(\gamma_н - \gamma_{вн_3}) +$$
$$+(h'_4 + h_4)(\gamma_н - \gamma_{вн_4}) + (h'_5 + h_5)(\gamma_н - \gamma_{вн_5}) =$$
$$= 3,9(1,205 - 1,137) + 6(1,205 - 1,127) + 6(1,205 - 1,147) +$$
$$+ 10(1,205 - 1,162) = 1,511 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_{5,6,8,10} = h_3(\gamma_н - \gamma_{вн_3}) + (h'_4 + h_4)(\gamma_н - \gamma_{вн_4}) + (h'_5 + h_5)$$
$$(\gamma_н - \gamma_{вн_5}) = 3,9(1,205 - 1,127) + 6(1,205 - 1,147) +$$
$$+10(1,205 - 1,162) = 1,082 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_{7,8,10} = h_4(\gamma_н - \gamma_{вн_4}) + (h'_5 + h_5)(\gamma_н - \gamma_{вн_5}) =$$
$$= 3,9(1,205 - 1,147) + 10(1,205 - 1,162) = 0,656 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_{9,10} = h_5(\gamma_н - \gamma_{вн_5}) = 7,9(1,205 - 1,162) = 0,34 \text{ кГ/м}^2.$$

27. Потери давления на проход воздуха через проемы 9 и 10

$$\Delta P_9 = \Delta P_{10} = 0,5\,\Delta P_{9,10} = 0,5 \times 0,34 = 0,17 \text{ кГ/м}^2.$$

Через проемы 8, принимая $\Delta P_7$ равным половине располагаемого давления на 4 этаже:

$$\Delta P_7 = 0,5\, h_4(\gamma_н - \gamma_{вн_4}) = 0,5 \times 3,9(1,205 - 1,147) =$$
$$= 0,12 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_8 = \Delta P_{7,8,10} - \Delta P_7 - \Delta P_{10} = 0,656 - 0,12 - 0,17 =$$
$$= 0,366 \text{ кГ/м}^2.$$

При $F_8 = 16$ м$^2$ и $G_{a_8} = 40,7$ кг/сек

$$\Delta P'_8 = \frac{1}{\mu^2 \cdot 2g \cdot \gamma_{ух_4}} \left(\frac{G_{a_8}}{F_8}\right)^2 = \frac{1}{0,65^2 \times 19,6 \times 1,113} \times$$
$$\times \left(\frac{40,7}{16}\right)^2 = 0,705 \text{ кГ/м}^2.$$

Так как $\Delta P_8' > \Delta P_8$, то в межэтажном перекрытии на отм. 24,0 м должны быть устроены дополнительные проемы.

Через проем 6, принимая $\Delta P_5$ равным половине располагаемого давления на 3 этаже:

$$\Delta P_5 = 0{,}5 \times 3{,}9(1{,}205 - 1{,}127) = 0{,}152 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_6 = \Delta P_{5,6,8,10} - \Delta P_5 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} =$$

$$= 1{,}082 - 0{,}152 - 0{,}366 - 0{,}17 = 0{,}394 \text{ кГ/м}^2.$$

При $F_6 = 16$ м$^2$ и $G_{a_6} = 29{,}0$ кг/сек

$$\Delta P_6 = \frac{1}{0{,}65^2 \times 19{,}6 \times 1{,}09} \left(\frac{29}{16}\right)^2 = 0{,}363 \text{ кГ/м}^2.$$

Через проем 3 при заданной $F_4 = 16$ м$^2$, площадь которого уменьшить нельзя, определяем действительные потери давления

$$P_4' = \frac{1}{0{,}65^2 \times 19{,}6 \times 1{,}117} \left(\frac{17}{16}\right)^2 = 0{,}127 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_{3,4,6,8,10} - \Delta P_4 - \Delta P_6 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} =$$

$$= 1{,}511 - 0{,}127 - 0{,}394 - 0{,}366 - 0{,}17 = 0{,}454 \text{ кГ/м}^2$$

Через отверстие I при заданной площади монтажного проема $F_2 = 16$ м$^2$

$$\Delta P_2' = \frac{1}{0{,}65^2 \times 19{,}6 \times 1{,}1} \left(\frac{13{,}4}{16}\right)^2 = 0{,}077 \text{ кГ/м}^2;$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{1,2,4,6,8,10} - \Delta P_2 - \Delta P_4 - \Delta P_6 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} =$$

$$= 1{,}915 - 0{,}077 - 0{,}127 - 0{,}394 - 0{,}366 - 0{,}17 =$$

$$= 0{,}771 \text{ кГ/м}^2.$$

Потери давления на проход воздуха через проем I должны составлять половину располагаемого давления на I этаже. Тогда коэффициент местного сопротивления монтажного проема 2 должен быть увеличен.

28. Площадь проемов:

$$F_1 = \frac{G_{a1}}{\mu\sqrt{2g \cdot \gamma_н \cdot \Delta P_1}} = \frac{13,4}{0,3\sqrt{19,6 \times 1,205 \times 0,771}} = 10,5 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{G_{a3}}{\mu\sqrt{2g\ \gamma_н\ \Delta P_3}} = \frac{3,6}{0,3\sqrt{19,6 \times 1,205 \times 0,454}} = 3,66 \text{ м}^2;$$

$$F_5 = \frac{G_{a5}}{\mu\sqrt{2g\ \gamma_н\ \Delta P_5}} = \frac{12,0}{0,3\sqrt{19,6 \times 1,205 \times 0,152}} = 21,0 \text{ м}^2;$$

$$F_7 = \frac{G_{a7}}{\mu\sqrt{2g\ \gamma_н\ \Delta P_7}} = \frac{11,7}{0,3\sqrt{19,6 \times 1,205 \times 0,12}} = 23,2 \text{ м}^2;$$

$$F_9 = \frac{G_{a9}}{\mu\sqrt{2g\ \gamma_н\ \Delta P_9}} = \frac{32,7}{0,3\sqrt{19,6 \times 1,205 \times 0,17}} = 54,5 \text{ м}^2;$$

$$F_{10} = \frac{G_{a10}}{\mu\sqrt{2g\ \gamma_{ух_5}\Delta P_{10}}} = \frac{73,4}{0,48\sqrt{19,6 \times 1,135 \times 0,17}} = 78,9 \text{ м}^2$$

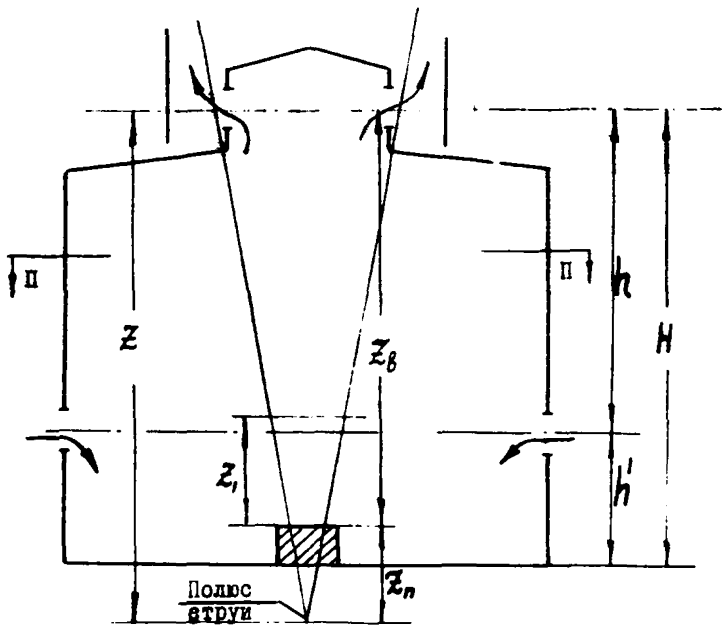
Суммарная площадь проемов в межэтажном перекрытии на отм. 24,0 м

$$\Sigma F = \frac{G_{a8}}{\mu_п\sqrt{2g\ \gamma_{эх_4}\Delta P_8}} = \frac{40,7}{0,65\sqrt{19,6 \times 1,113 \times 0,366}} = 22,1 \text{ м}^2$$

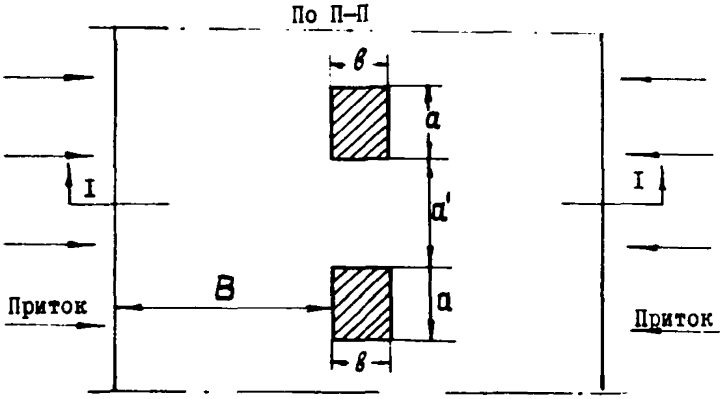
Дополнительная площадь проемов около источников тепла ( $\mu = 0,5$)

$$F_g = \frac{\mu_n}{\mu_g} (\leq F - F_g) = \frac{0,65}{0,5} ( 22,I - I6,0 ) = 7,94 \text{ м}^2$$

По I–I

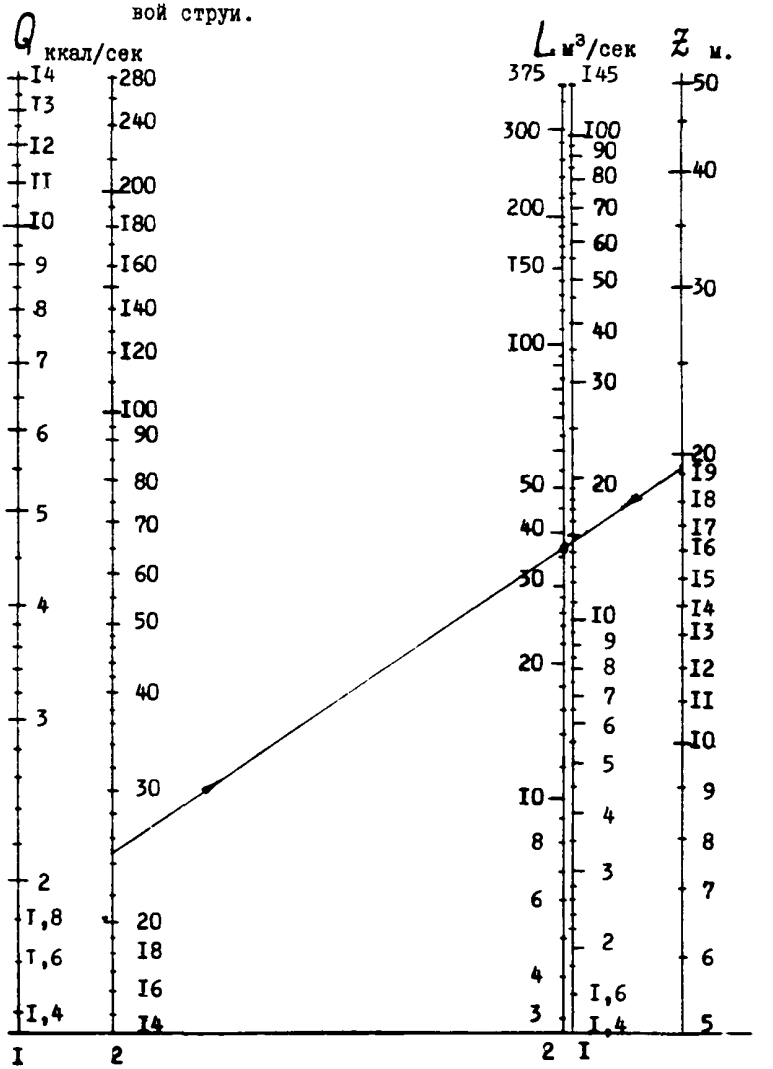



По П–П



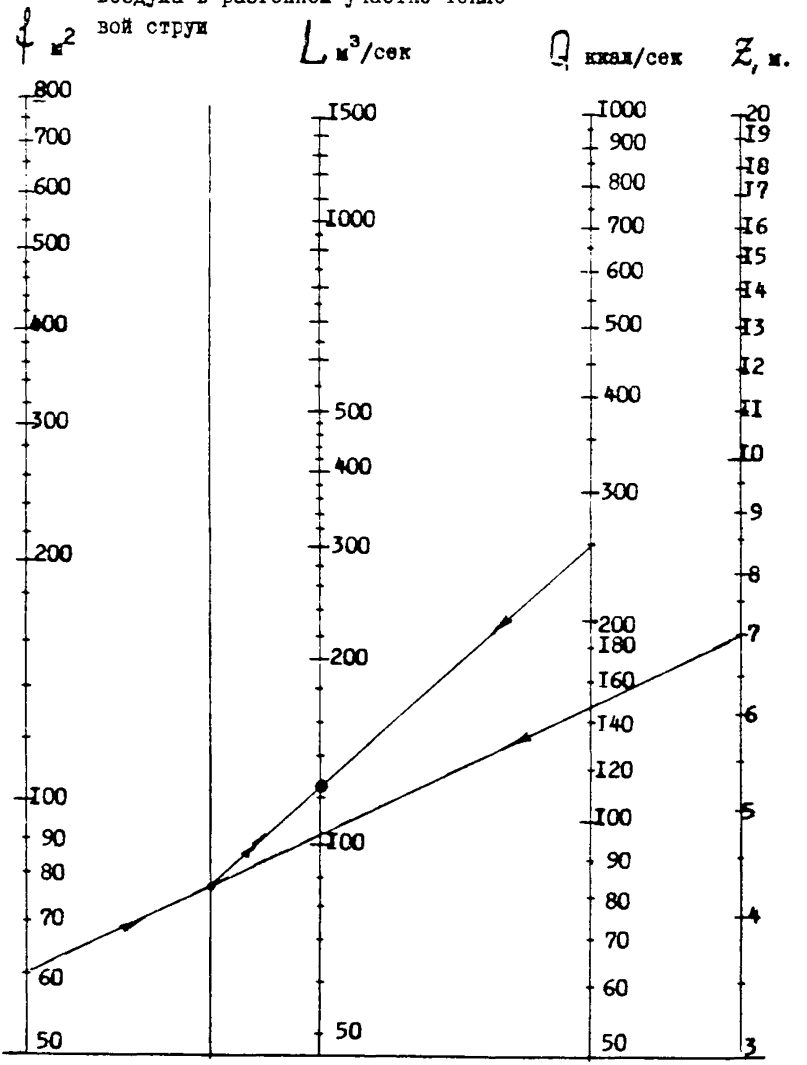
Номограмма для определения расхода воздуха в основном участке тепловой струи.

Приложение П



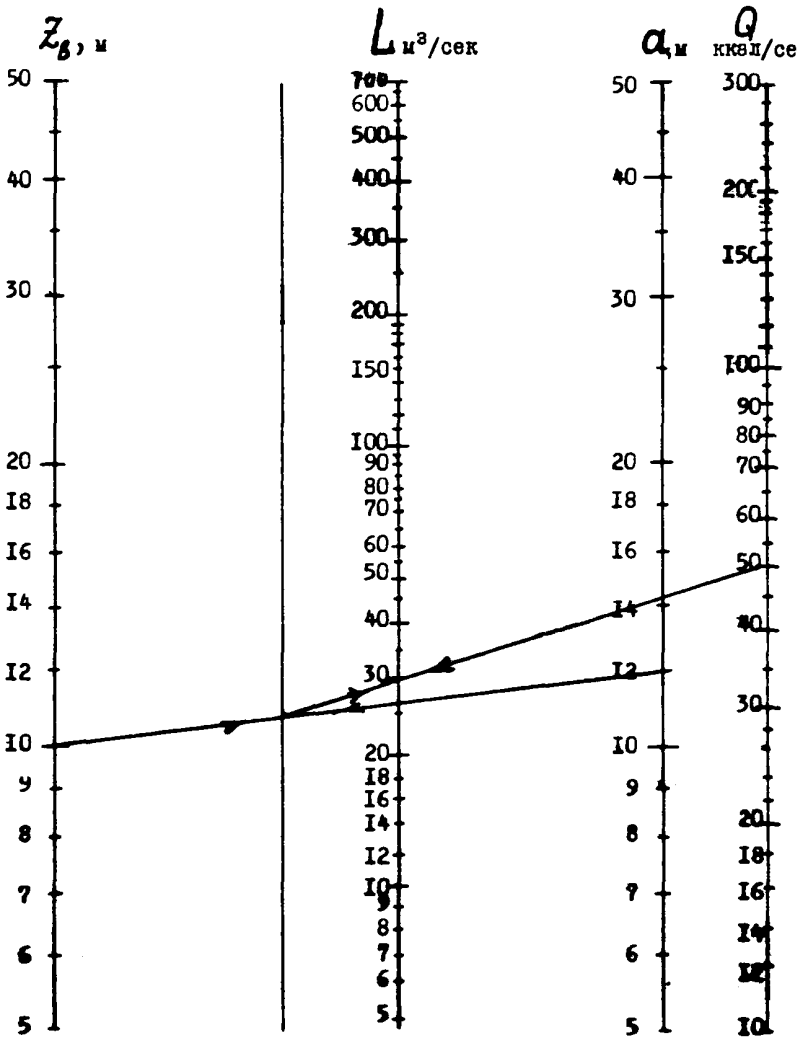
Номограмма для определения расхода воздуха в разгонном участке тепловой струи

Приложение III



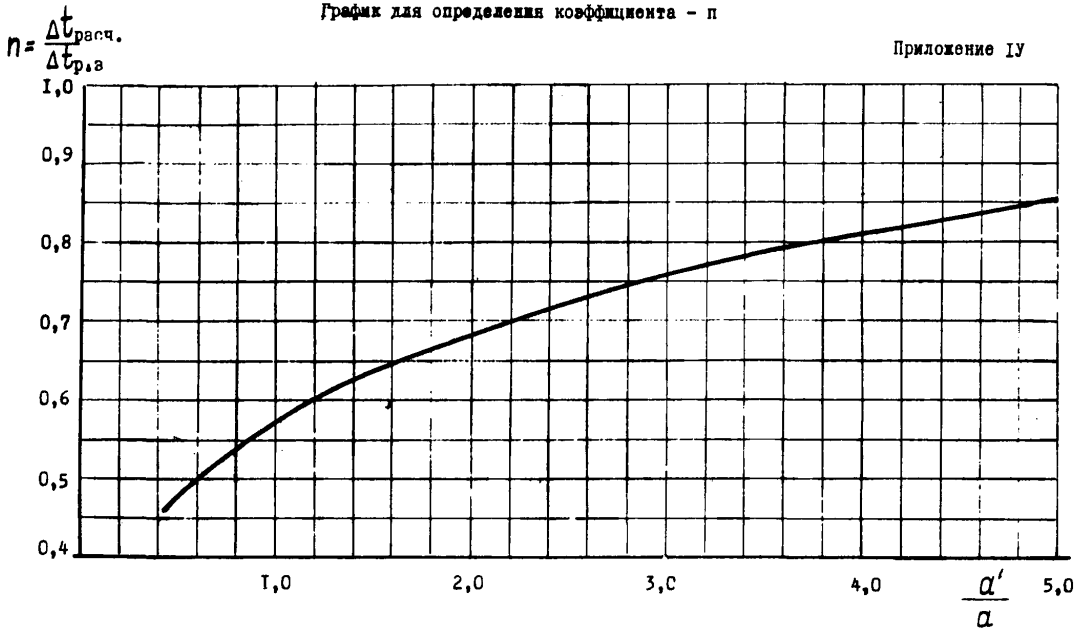
Номограмма для определения расхода воздуха в плоской тепловой струе

Приложение 11а



## График для определения коэффициента - n

Приложение IУ



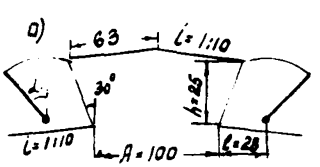
Значения коэффициентов местного сопротивления $\zeta$ приточных проемов, отнесенные к скорости в отверстии.

Таблица I.

| Конструкция створки | $h/b$ | Значение $\zeta$ при угле открытия $\alpha$, отсчитываемом от плоскости стены, град. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I5 | 30 | 45 | 60 | 90 |
| Одинарная верхнеподвесная  | 0 | 30,8 | 9,2 | 5,2 | 3,5 | 2,6 |
| | 0,5 | 20,6 | 6,9 | 4,0 | 3,2 | 2,6 |
| | I | I6 | 5,7 | 3,7 | 3,I | 2,6 |
| Одинарная среднеподвесная  | 0 | 59 | I3,6 | 6,6 | 3,2 | 2,7 |
| | 0,5 | - | - | - | - | - |
| | I | 45,3 | II,I | 5,2 | 3,2 | 2,4 |
| Двойная (обе створки на верхней подвеске)  | 0 | - | - | - | - | - |
| | 0,5 | 30,8 | 9,8 | 5,2 | 3,5 | 2,4 |
| | I | I4,8 | 4,9 | 3,8 | 3,0 | 2,4 |
| Аэрационные ворота | | - | - | - | - | 2,4 |

Характеристика аэрационных фонарей и значения коэффициентов местного сопротивления $\zeta$, отнесенные к скорости в боковых проемах фонаря.

Таблица 2.




Аэрационный фонарь незадуваемого типа

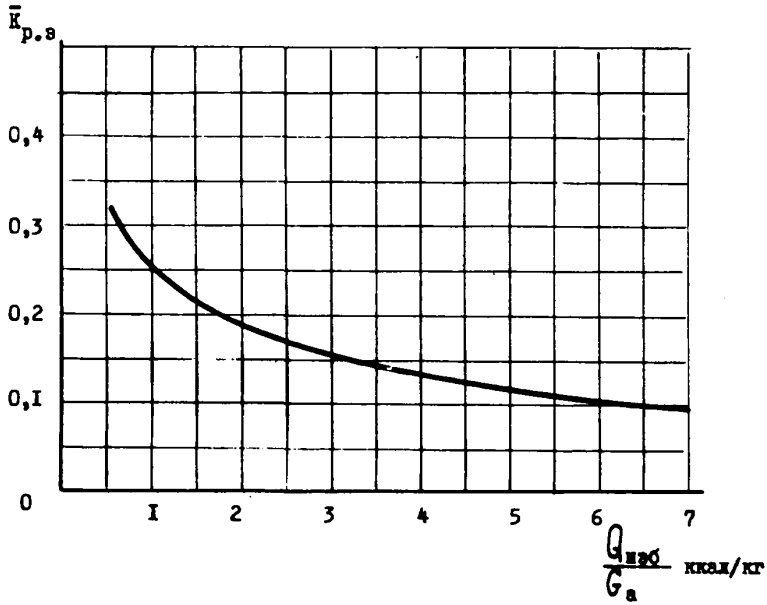


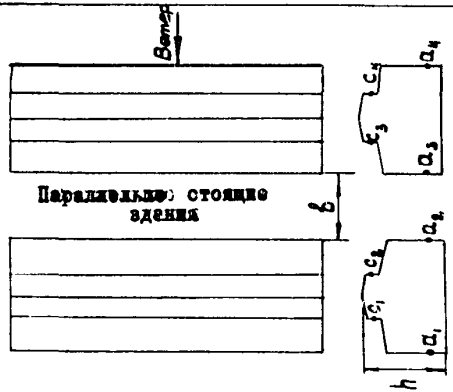

Незадуваемый аэрационно-световой П-образный фонарь

| Тип фонаря | $A/h$ | $e/h$ | $\alpha^\circ$ | $\zeta$ |
|---|---|---|---|---|
| Приточный П-образный (без ветрозащитных панелей) | 3,3 | - | 35 | I2,2 |
| | | | 70 | 6 |
| Вытяжной П-образный (с ветрозащитными панелями) | | | 35 | II,5 |
| | 3,3 | I,5 | 45 | 9,2 |
| | | | 55 | 7,I |
| | | | 70 | 5,8 |
| То же | 3,3 | 2 | 35 | 9,4 |
| | | | 45 | 6,8 |
| | | | 55 | 5,I |
| Вытяжной П-образный (без ветрозащитных панелей) | | | 35 | 8,9 |
| | 3,3 | - | 45 | 5,9 |
| | | | 55 | 3,8 |
| Вытяжной КТИС | 4 | I,I | 40 | 4,3 |

**График для определения относительной концентрации газа в рабочей зоне**

Приложение УI



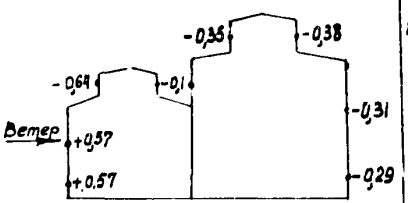



Приложение УП

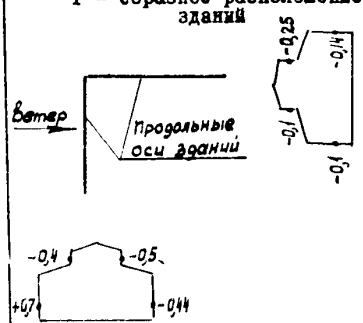
| b/h | Приточные проемы | | | | Фонарь | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $c_1$ | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$ |
| 2 | -0,37 | -0,67 | -0,67 | +0,67 | -0,43 | -0,69 | -0,71 | -0,67 |
| 3 | -0,36 | -0,67 | -0,67 | +0,67 | -0,41 | -0,54 | -0,73 | -0,67 |
| 4 | -0,3 | -0,4 | -0,51 | +0,75 | -0,36 | -0,41 | -0,56 | -0,59 |
| 5 | -0,27 | -0,27 | -0,42 | +0,85 | -0,34 | -0,34 | -0,46 | -0,43 |

Примечание. На зданиях фонари незадуваемого типа.

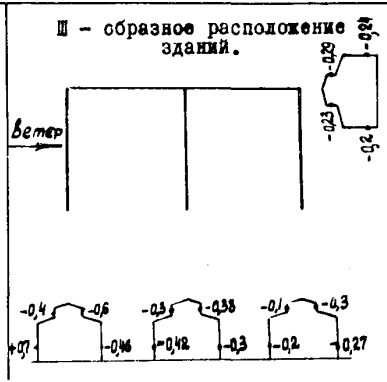
**Два пролета разной высоты**




**Г – образное расположение зданий**

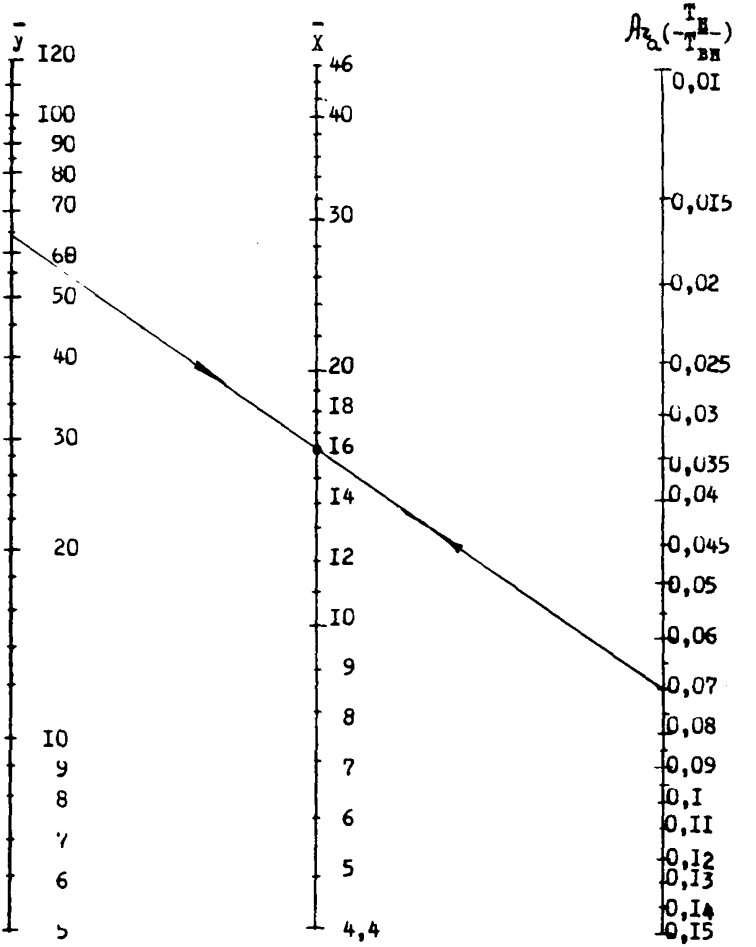



**Ш – образное расположение зданий.**



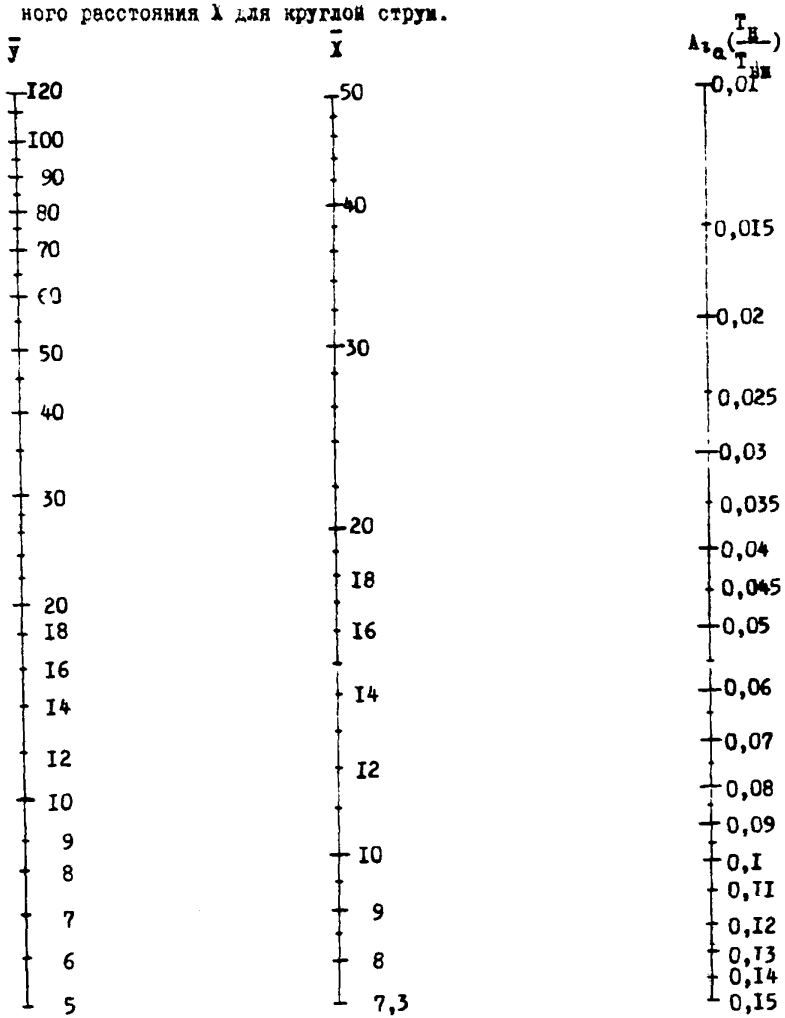
Номограмма для определения
относительного расстояния $\bar{X}$ для плоской струи

Приложение УП



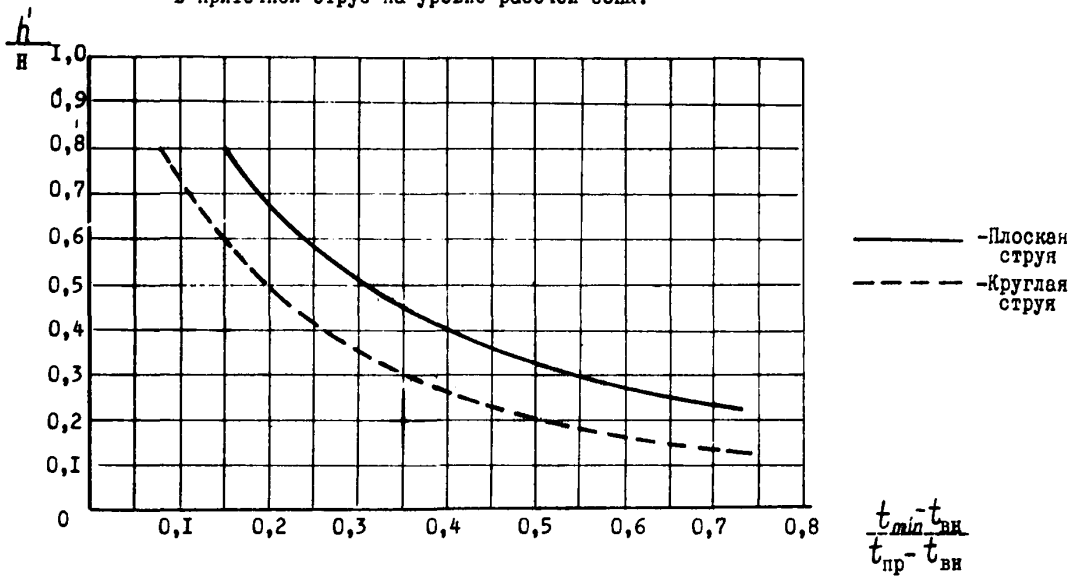
Номограмма для определения относительного расстояния $\bar{x}$ для круглой струи.

Приложение IX



Приложение X

График для определения минимальной температуры в приточной струе на уровне рабочей зоны.



## С О Д Е Р Ж А Н И Е


I. Общие положения . . . . . 3

II. Расчет аэрации в теплый период года с учетом теплового давления ... . . . . 8

III. Поверочный расчет аэрации при совместном действии теплового и ветрового давлений . . . I4

IУ. Расчет аэрации в холодный период года с учетом теплового давления . . . . . I6

У. Приближенный расчет аэрации помещений с механической вытяжкой в холодный период года (без механического притока) . . . . . 2I

УI. Поверочный расчет аэрации при совместном действии теплового и ветрового давлений для холодного периода года . . . . . 22

УП. Примеры расчета аэрации . . . . . 23

Приложения . . . . . 68

Редактор В.И.Панов

Технический редактор А.В.Уткова

А-46891 подп. к печати I.IO.70 тир. 5000

---

II

Ротапринт ВНИИМОТ ВЦСПС Зак. 69

gost.e-ecolog.ru