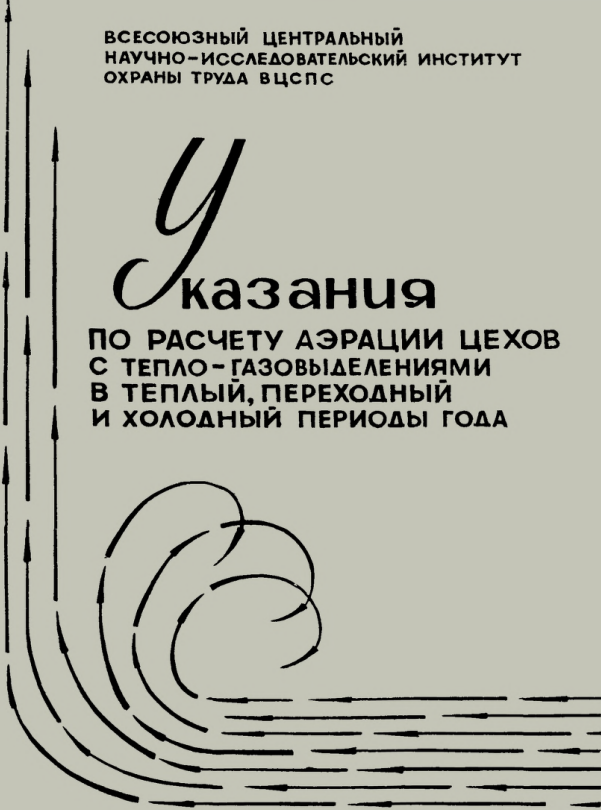


ВСЕСОЮЗНЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОХРАНЫ ТРУДА ВЦСПС

# Указание

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



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 проветров, 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;

- эксплуатацией 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  $h_1 = (0,5 + 0,6) H$ , 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 заблокированных 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 распо-

гать со стороны приточных проемов.

11. 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.

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

13. 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.

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

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

15. 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 единиц стационарного оборудования,  $Q_{\text{пост.}} \frac{\text{ккал}}{\text{сек}}$ ;

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

$Q_{\text{луч.}}$  ккал/сек.

ПРИМЕЧАНИЕ. Количество конвективного и лучистого тепла, отдаваемое стационарным оборудованием, задается технологами. При температуре поверхности источников тепла до  $250^{\circ}\text{C}$  можно принять  $Q_{\text{конв.}} = 0,5 Q_{\text{пост.}}$

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

- теплототери цеха,  $Q_{\text{пот.}}$  ккал/сек;

- валовые газовыделения в цехе,  $G$  газа мг/сек (по данным технологов или натуральных испытаний);

- температура воздуха в рабочей зоне,  $t_{\text{р.з.}}$ ; наружного приточного воздуха,  $t_{\text{н.}}$  и концентрация вредных газов в рабочей зоне,  $K_{\text{р.з.}}$  мг/м<sup>3</sup> (согласно СН 245-63 и СН и П П-Г.7-62).

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Если приточный воздух поступает из соседнего помещения, то за  $t_{\text{н.}}$  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 -  $t_n$ ;

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

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

16. 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

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

- объемные и весовые расходы аэрационного воздуха;

- располагаемые давления и скорости воздуха в аэрационных проемах;

- площади аэрационных проемов.

17. 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.

18. 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

### П р я м а я з а д а ч а

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

$$Z = Z_{\text{в}} + Z_{\text{п}} \quad \text{м,}$$

где:  $Z_{\text{в}}$  - расстояние от верхней грани теплоисточника до середины вытяжных отверстий, м;

$Z_{\text{п}}$  - расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточника, м.

$$Z_{\text{п}} = 1,7 A \quad \text{м,}$$

где  $A$  - определяющий размер источника тепла.

Для источника круглой формы  $A = d$  ; для прямоугольного с соотношением сторон не более 1 : 3

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

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

$a, b$  - линейные размеры верхней грани источника тепла, м.

20. находится объемный расход воздуха:

а) в основном участке свободной конвективной струи по формуле

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

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:

$$L_{\text{стр}} = 0,65 Q_{\text{конв.}}^{1/3} f^{2/3} Z_1^{1/3} \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (3)$$

где:  $f$  - площадь верхней грани теплоисточника,  $\text{м}^2$ ;

$Z_1$  - 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

$$L_{\text{стр}} = 0,154 Q_{\text{конв.}}^{1/3} a^{2/3} Z_B \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (3a)$$

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

или по номограмме (приложение IIIa).

ПРИМЕЧАНИЕ. Формула 3a) 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

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

где:  $\gamma_{\text{стр}}$  - удельный вес воздуха в тепловой струе, кг/л

$t_n$  - расчетная температура наружного воздуха, град.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для положительных наружных температур принима-

ется  $\gamma_{\text{стр.}} = 1,17 \text{ кг/м}^3$ , для отрицательных

$\gamma_{\text{стр.}} = 1,35 \text{ кг/м}^3$  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 ( $\bar{x}$  или  $\bar{z}_1$ )

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

$$\frac{\dots + Q_{\text{конв.п.}}}{\dots + \gamma_{\text{стр.п.}} L_{\text{стр.п.}}}$$

23. Вычисляется температура уходящего воздуха

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

где 1,2 - опытный коэффициент.

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

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

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

$\Delta t_{\text{р.з.}}$  - 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 заданным нормам перепаду температур в рабочей зоне  $\Delta t_{p.z.}$  для наиболее неблагоприятно расположенных рабочих мест. При  $\frac{a'}{a} = 4,5$  следует принимать  $\Delta t_{расч.} = \Delta t_{p.z.}$

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

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

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

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

25. Определяется располагаемое тепловое давление

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

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

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

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

$$t_{вн.} = 0,5 (t_{p.z.} + t_{ух.}), \quad \text{град.} \quad (9)$$

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

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

2. В отдельных случаях допускается принимать

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

где:  $M_{\text{пр}}$ ;  $M_{\text{выт}}$  - коэффициенты расхода приточных и вытяжных проемов

$$M = \frac{1}{\sqrt{\xi}} ;$$

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

$F_{\text{пр}}$ ;  $F_{\text{выт}}$  - площади приточных и вытяжных отверстий, м<sup>2</sup>;

$\Delta P_{\text{пр}}$ ;  $\Delta P_{\text{выт}}$  - потеря давления на проход воздуха через приточные и вытяжные отверстия, кг/м<sup>2</sup>.

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

$$V_{\text{пр}} = M_{\text{пр}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma_{\text{н}}} \Delta P_{\text{пр}}} \quad \text{м/сек,} \quad (\text{I0})$$

б) в вытяжных отверстиях

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

где  $\gamma_{\text{ух}}$  - удельный вес уходящего воздуха, кг/м<sup>3</sup>  
 $g$  - ускорение силы тяжести, м/сек.<sup>2</sup>

27. Определяется площадь:

а) приточных отверстий

$$F_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{а}}}{M_{\text{пр}} \sqrt{2g \cdot \gamma_{\text{н}} \Delta P_{\text{пр}}}} \quad , \text{ м}^2 \quad (\text{I2})$$

б) вытяжных отверстий

$$F_{\text{выт.}} = \frac{G_a}{M_{\text{выт.}} \sqrt{2g \gamma_{\text{ух}} \Delta P_{\text{выт}}}} \quad \text{м}^2, \quad (13)$$

28. Определяется концентрация газа в уходящем воздухе:

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

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

29. Определяется относительная концентрация газа в рабочей зоне  $\bar{K}_{\text{р.з.}}$  в зависимости от  $\frac{Q_{\text{изб}}}{G_a}$  (приложение У1),

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

$\Delta K_{\text{ух}} = K_{\text{ух}} - K_{\text{н}}$  - прирост концентрации газа в уходящем воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$\Delta K_{\text{р.з.}} = K_{\text{р.з.}} \cdot K_{\text{н}}$  - прирост концентрации газа в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>;

$K_{\text{н}}$  - концентрация газа в наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup>

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

**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 ( $G_{\text{м}} \leq 0,4 G_a$ ), 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.

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

32. Определяется температура воздуха в свободных конвективных струях на уровне вытяжных отверстий (формулы 1; 2; 3; 4 и 5).

33. Определяется температура уходящего воздуха

$$t_{ух.} = \frac{8,5 \cdot Q_{изб.}}{(\mu F)^{2/3} \cdot h^{1/3}} + t_{н.}, \quad \text{град.} \quad (15)$$

34. Вычисляется температура воздуха в рабочей зоне

$$t_{p.z.} = \frac{t_{ух.} - 1,2 (t_{стр.} - t_{н.})}{1,2} \quad \text{град.} \quad (16)$$

III. 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 пр. водится 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.

$$G_{a_1} + G_{a_2} + \dots + G_{a_n} = 0, \quad (17)$$

где  $G_{a_i}$ ;  $G_{a_n}$  - весовые расходы аэрационного воздуха, кг/сек.

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

37. Уравнение (17) в развернутой форме записывается

$$\begin{aligned} & M_1 F_1 \sqrt{2g [H'_1 (\gamma_n - \gamma_{вн.}) - P_{в1}]} \gamma + \dots \\ & \dots + M_n F_n \sqrt{2g [H'_n (\gamma_n - \gamma_{вн.}) - P_{вn}]} \gamma = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

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

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

$P_{в1}, P_{вn}$  - ветровое давление на данное отверстие, кг/м<sup>2</sup>;

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

**ПРИМЕЧАНИЯ:** 1. В подкоренных величинах уравнения (18) знаки разностей давлений указывают лишь на их направление и при подстановке числовых значений всегда следует вычитать из больших значений меньшее.

2. Уравнение (18) решается подстановкой различных значений  $H'_1$ , пока будет достигнуто равенство  $G_{пр.} = G_{выт.}$ .

38. Определяется разность давлений в аэрационных отверстиях

$$P = H (\gamma_n - \gamma_{вн.}) - P_{в} \quad \text{кг/м}^2, \quad (19)$$

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,

$$P_{\text{в}} = k \frac{V_{\text{в}}^2 - \gamma}{2g} \quad \text{кг/м}^2, \quad (20)$$

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

$V_{\text{в}}$  - средняя скорость ветра, м/сек; принимается по СНиП П-А.6-62.

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

##### П р я м а я   з а д а ч а .

40. Определяется температура в свободной конвективной струе на уровне вытяжных отверстий по формулам (1), (2), (3), (4), (5), а температура уходящего воздуха по формуле (6).

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

$$h' = (0,5 + 0,6) \text{ м}, \quad (21)$$

предел  $h' > 4,0$  м.

42. Определяется избыточное тепловое давление в приточном отверстии по формуле (8), а скорости воздуха - по формуле (10).

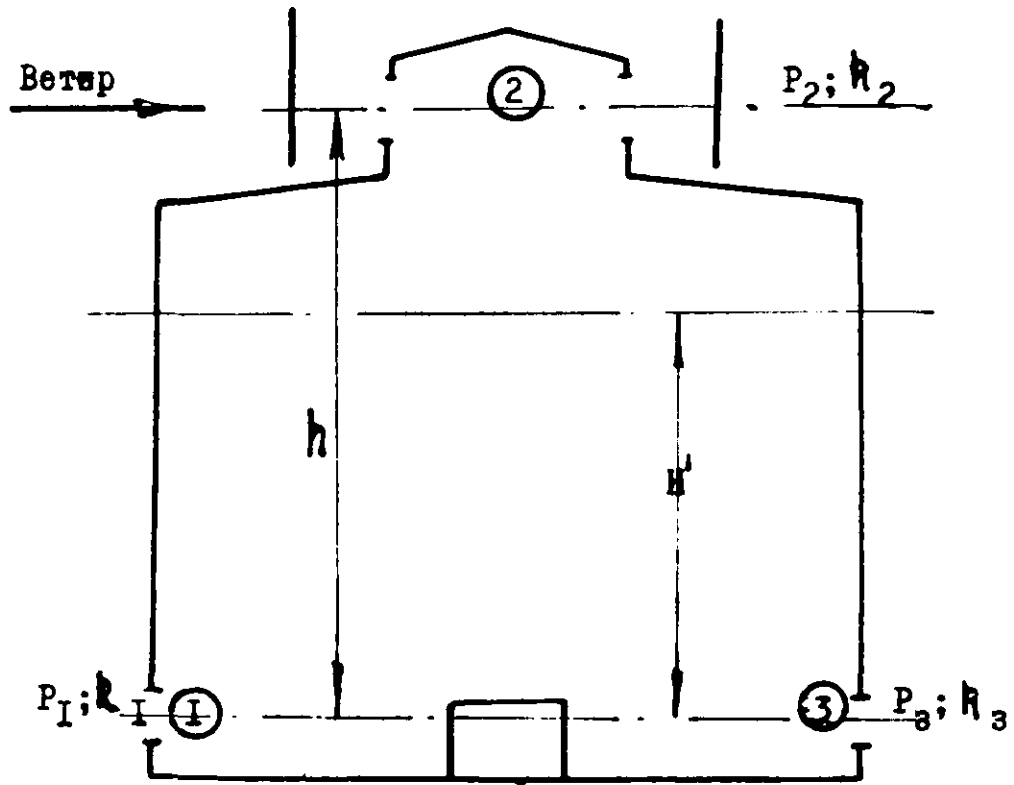


Рис. I.

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

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

43. Вычисляется естественный воздухообмен и площади аэрационных проемов соответственно по формулам (7), (12), (13).

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

$$Az_a = \frac{0,5 \gamma_n \cdot l (t_{\text{н.}} - t_{\text{вн.}})}{\mu_{\text{пр.}}^2 \cdot \Delta P_{\text{пр.}} (273 + t_{\text{вн.}})}, \quad (22)$$

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

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

**ПРИМЕЧАНИЯ:** 1. 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 1:5.

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

$$\bar{y} = \frac{h' - z}{l}, \quad (23)$$

где  $z$  - 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

$$\bar{X} = \frac{\bar{Y}^{2/5}}{0,914 \cdot \mu_a^{2/5} \left( \frac{T_{\text{н.}}}{T_{\text{вн.}}} \right)^{1/5}} \quad (24)$$

или по номограмме (приложение VIII);

б) для круглой струи по уравнению

$$\bar{X} = \frac{\bar{Y}^{1/3}}{0,463 \cdot \mu_a^{1/3} \left( \frac{T_{\text{н.}}}{T_{\text{вн.}}} \right)^{1/6}} \quad (25)$$

или по номограмме (приложение IX),

где  $T_{\text{н}} = 273 + t_{\text{н}}$  — абсолютная температура наружного воздуха, град. абс.;

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

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

$$x = \bar{X} \cdot \ell \quad \text{м.} \quad (26)$$

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

$$\frac{t_{\text{мин}} - t_{\text{вн.}}}{t_{\text{н.}} - t_{\text{вн.}}} = f \left( \frac{h'}{H} \right),$$

где  $t_{\text{мин}}$  — минимальная температура в приточной струе на уровне рабочей зоны, град.

ПРИМЕЧАНИЕ. Допускается разность температур

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

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  $\bar{K}_{р.з.} \cdot \bar{t}_{р.з.}$ . По значению относительной температуры  $-\frac{\bar{t}}{t_{вз.}} = \frac{\Delta t_{р.з.}}{\Delta t_{вх.}}$  и концентрации газа в уходящем воздухе определяется концентрация газа в рабочей зоне

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

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 (1), (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 ПОМЕЩЕНИИ С  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫТЯЖКОЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД  
ГОДА (без механического притока)**

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

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

$$G_{\text{пр.}} = G_a - G_{\text{м.в.}} \quad \text{кг/сек.} \quad (27)$$

где  $G_{\text{м.в.}}$  - 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 (12)

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

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

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

58. Давление в приточном отверстии

$$\Delta P_{\text{пр.}} = \frac{V_{\text{ср.}}^2 \cdot \gamma_{\text{н.}}}{\mu_{\text{пр.}}^2 \cdot 2g} \quad \text{кг/м}^2. \quad (30)$$

59. Дальнейший расчет проводится согласно разделу III.

**ПРИМЕЧАНИЯ:** 1. 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.

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

60. Расчет сводится к определению величины естественного воздухообмена и условия 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  $n$ , пока будет достигнуто равенство  $\leq G_{\text{пр.}} = \leq G_{\text{выт.}}$ .

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА АЭРАЦИИ.

### ПРИМЕР I.

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

В цехе размером 250 x 27 м при высоте от пола до центра вытяжных проемов  $H = 18$  м теплоотдающее оборудование (12 нагревательных печей и 6 прессов) расположено в один ряд.

I группа - камерные печи размером в плане  $a \times b = 2,5 \times 2,5$  м и высотой 2,5 м - 4 шт.

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

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

IУ группа - прессы размером 1,5 x 2,0 x 4,5 м - 6 шт.

Количество тепла, выделяющееся от каждой единицы оборудования, составляет:

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

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

от методической печи  $-Q_{\text{пост.}} = 100$  ккал/сек,

от прессы  $-Q_{\text{пост.}} = 30$  ккал/сек.

Теплопоступления за счет солнечной радиации  $-Q_{\text{пост.}} = 15$  ккал/сек; от нагретого металла  $-Q_{\text{пост.}} = 10$  ккал/сек и других  $-Q_{\text{пост.}} = 5$  ккал/сек.

Теплоизбытки в цехе составляют  $Q_{\text{изб.}} = 1090$  ккал/сек.

Расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н.}} = 22^{\circ}\text{C}$  ( $\gamma_{\text{н.}} = 1,196$  кг/м<sup>3</sup>). допустимая разница температур воздуха рабочей зоны и наружного  $-\Delta t_{\text{р.з.}} = 5^{\circ}\text{C}$ . Рабочие места расположены со стороны приточных проемов. Поэтому при определении  $\Delta t_{\text{расч.}}$  влияние



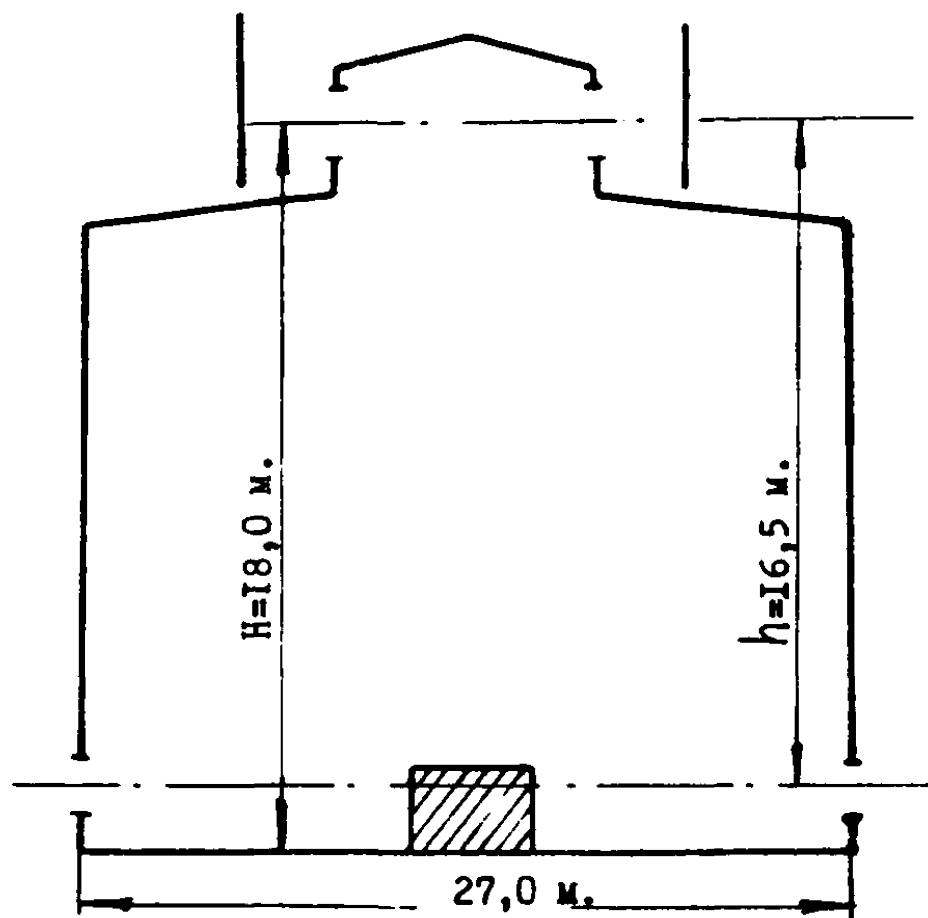


Рис. 2.

разрыва между печами не учитывается. Расстояние от наружных стен до источников тепла В-IIIм, а между центрами приточных и вытяжных отверстий  $h = 165$  м. Створки приточных проемов - верхнеподвесные ( $A/B = 1$ ),  $\alpha = 60^\circ$ ;  $\xi = 3,1$ ;  $M_{пр.} = 0,56$ .

Фонарь конструкции КТИС. Коэффициент местного сопротивления  $\xi = 4,3$ ;  $M_{\phi} = 0,5$ . (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

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

Для II группы печей

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

для III группы -  $A = 3,34$  м;

для IV группы -  $A = 1,72$  м.

Так как высота разгонного участка тепловых струй ( $Z_1 = 1,5 \cdot A = 1,5 \cdot 3,34 = 5,0$  м) значительно меньше 15 м, то определяются параметры основного участка тепловой струи.

2. Расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточников

Для группы I

$$Z_{II} = 1,7 \cdot A = 1,7 \times 2,5 = 4,25 \text{ м};$$

для II группы

$$Z_{II} = 4,33 \text{ м};$$

для III группы

$$Z_{II} = 5,67 \text{ м};$$

для IY группы

$$Z_{II} = 2,52 \text{ м.}$$

3. Расстояние от полюса струи до центра вытяжных отверстий

$$Z = Z_{в} + Z_{II} \quad \text{м.}$$

для I группы печей  $Z = (18 - 2,5) + 4,25 = 19,75 \text{ м,}$

для II группы печей  $Z = 19,33 \text{ м,}$

для III группы печей  $Z = 20,67 \text{ м,}$

для IY группы печей  $Z = 16,42 \text{ м.}$

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

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

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 IY 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 -  $H = 18 \text{ м}$

$$t_{\text{стр.}} = \frac{4(35 + 25 + 50) + 15 \cdot 6}{0,24 \cdot 1,17 \cdot 4(41 + 36 + 50) + 25 \cdot 6} + 22 = 240^{\circ}\text{C.}$$

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

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

$$t_{\text{ух.}} = 1,2 (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{стр.}} - t_{\text{н.}}) = \\ = 1,2 (27 + 24,0 - 22) = 35,0^{\circ}\text{C}.$$

7. Весовой расход аэрационного воздуха (7)

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

8. Избыточное тепловое давление (8)

$$\Delta P_{\text{т.}} = h (\gamma_{\text{н.}} - \gamma_{\text{вн.}}) = 16,5 (1,196 - 1,158) = \\ = 0,628 \text{ кг/м}^2.$$

Принимаем удельный вес внутреннего воздуха по средней температуре внутри помещения

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

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

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

9. Площадь вытяжных проемов (13)

$$F_{\text{выт.}} = \frac{G_{\text{а}}}{M_{\text{выт.}} \sqrt{2g \cdot \gamma_{\text{ух.}} \cdot \Delta P_{\text{выт.}}}} = \\ = \frac{350}{0,5 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,145 \cdot 0,314}} = 263 \text{ м}^2.$$

10. Площадь приточных проемов (12)

$$F_{\text{пр.}} = \frac{G_{\text{а}}}{M_{\text{пр.}} \sqrt{2g \cdot \gamma_{\text{н.}} \cdot \Delta P_{\text{пр.}}}} = \\ = \frac{350}{0,56 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,196 \cdot 0,314}} = 230 \text{ м}^2.$$

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

1. Ветровое давление в отверстии I

$$P_{B_1} = k_1 \frac{V_{\text{в.}}^2 \cdot \gamma_{\text{н.}}}{2g} = 0,5 \frac{5 \cdot 1,196}{2 \cdot 9,81} = 0,76 \text{ кг/м}^2$$

в отверстии 2

$$P_{B_2} = k_2 \frac{V_{\text{в.}}^2 \cdot \gamma_{\text{н.}}}{2g} = -0,3 \frac{5 \cdot 1,196}{19,62} = -0,76 \text{ кг/м}^2$$

в отверстии 3

$$P_{B_3} = k_3 \frac{V_{\text{в.}}^2 \cdot \gamma_{\text{н.}}}{2g} = -0,5 \frac{5 \cdot 1,196}{19,62} = -0,456 \text{ кг/м}^2$$

2. Разность удельных весов наружного и внутреннего воздуха

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

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:

$$\begin{aligned} \sum G_B &= M_1 F_1 \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma_H [P_{B_1} - H^1 (\gamma_H - \gamma_{BH.})]} - \\ &- M_2 F_2 \sqrt{2g \cdot \gamma_{BH.} [(h - H^1) (\gamma_H - \gamma_{BH.}) - P_{B_2}]} + \\ &+ M_3 F_3 \sqrt{2g \cdot \gamma_H [H^1 (\gamma_H - \gamma_{BH.}) - P_{B_3}]} = \\ &= 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,196 [0,76 - (-10 \times 0,038)]} - \\ &- 0,5 \times 247 \sqrt{19,62 \times 1,158 [(16,5 - 10) \times 0,038 + 0,76]} + \\ &+ 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,196 [(-10 \times 0,038) + 0,456]} ; \\ \sum G_B &= 312 - 592 + 80,5 = -200 \text{ кг/сек.} \end{aligned}$$

Принимаем  $H = -25$  м

$$\begin{aligned} \sum G_B &= 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,196 [0,76 - (-25 \times 0,038)]} - \\ &- 0,5 \times 247 \sqrt{19,62 \times 1,158 [(-8,5 \times 0,038) + 0,76]} + \\ &+ 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,196 [-0,456 - (-25 \times 0,038)]} ; \\ \sum G_B &= 383 - 387 + 206 = +202 \text{ кг/сек.} \end{aligned}$$

Принимаем  $H = -18$  м.

$$\begin{aligned} \sum G_B &= 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,196 [0,76 - (-18 \times 0,038)]} - \\ &- 0,5 \times 247 \sqrt{19,62 \times 1,158 [(-1,5 \times 0,038) + 0,76]} + \\ &+ 0,56 \times 108 \sqrt{19,62 \times 1,158 [-0,456 - (-18 \times 0,038)]} ; \\ \sum G_B &= 350 - 490 + 140 = 0, \text{ т.е. при наличии ветра } V_B = 5 \text{ м/сек} \end{aligned}$$

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.

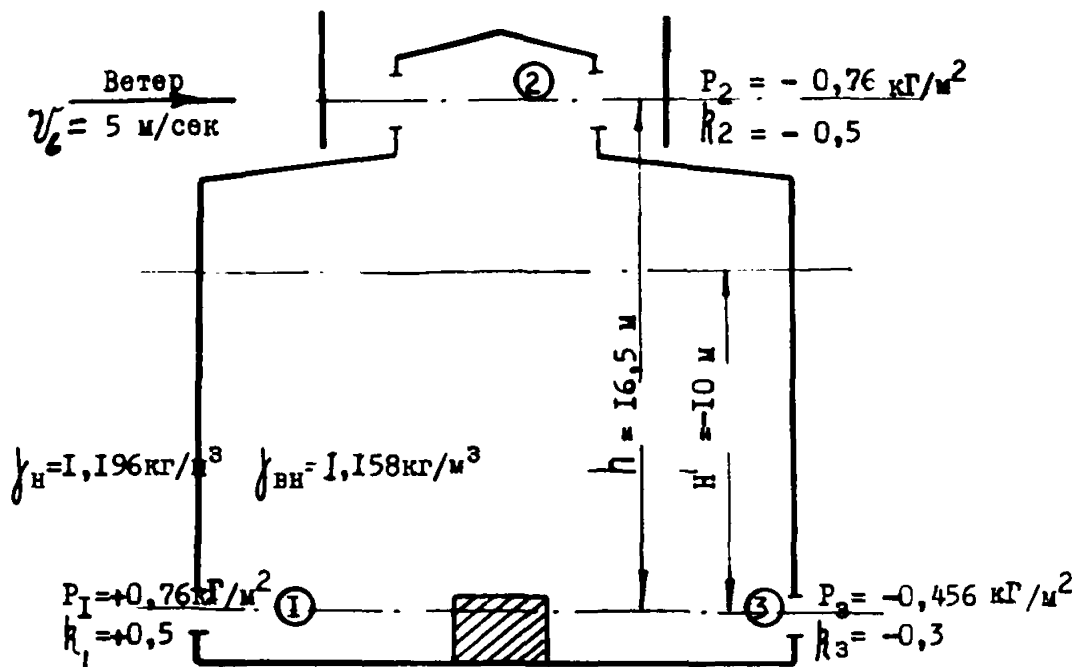


Рис. 3.

ПРИМЕР 3.

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

Дано:  $Q_{\text{изб.}} = 800$  ккал/сек;  $t_{\text{н.}} = -15^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{р.з.}} = +18^{\circ}\text{C}$ ;  
 высота подачи наружного воздуха  $h' = 10$  м;  $\frac{h'}{b} = 0,555$ .

Створки приточных проемов одинарные, среднеподвесные ( $h/b = 1,0$ ) с углом открытия  $\alpha = 45^{\circ}$ ; коэффициент расхода

$\mu_{\text{пр.}} = 0,44$ . Фонарь конструкции КТИС.  $\mu_{\text{выт.}} = 0,50$ .

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 -  $Z = 19,75$  м;

для II группы печей -  $Z = 19,33$  м;

для III группы печей -  $Z = 20,67$  м;

для IV группы печей -  $Z = 16,42$  м.

2. Объемный расход воздуха в основном участке конвективной струи по формуле (2) или по номограмме (приложение II), принимая

$Q_{\text{конв.}} = 0,5 Q_{\text{пост.}}$ :

для I группы печей -  $L_{\text{стр.}} = 41$  м<sup>3</sup>/сек;

для II группы печей -  $L_{\text{стр.}} = 36$  м<sup>3</sup>/сек;

для III группы печей -  $L_{\text{стр.}} = 50$  м<sup>3</sup>/сек;

для IV группы печей -  $L_{\text{стр.}} = 25$  м<sup>3</sup>/сек.

3. Температура в свободной тепловой струе на высоте ( $n=16$ м)

по формуле (4), примем  $\gamma_{\text{стр.}} = 1,35$  кг/м<sup>3</sup>:



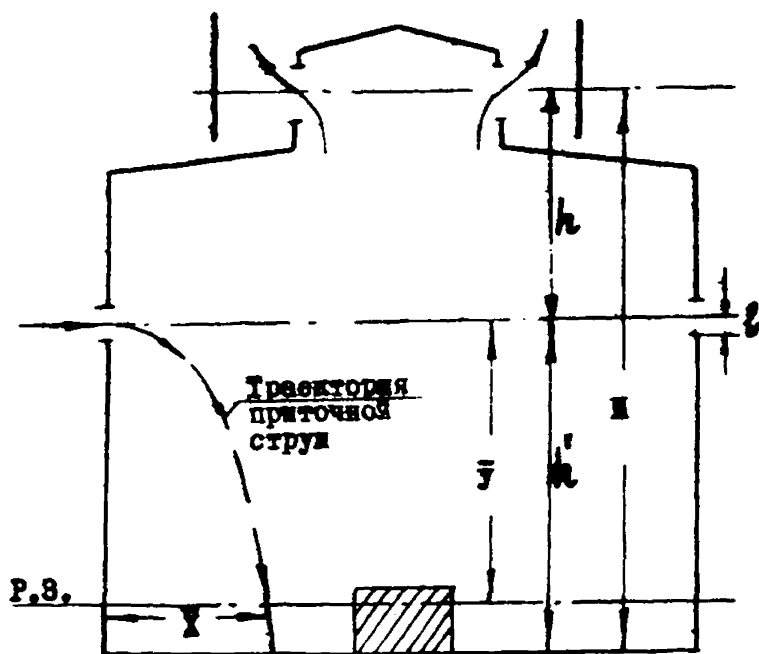


Рис. 4.

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

для I группы печей

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

для II группы печей  $t_{\text{стр.}} = -12,37^{\circ}\text{C}$   $t_{\text{стр.}} = 1,35 \text{ кг/м}^3$ .

для III группы печей  $t_{\text{стр.}} = -12,86^{\circ}\text{C}$ ;

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

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

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

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

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

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

6. Температура внутреннего воздуха по формуле (9)

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

7. Избыточное давление в приточном отверстии

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

8. Воздухообмен (7)

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

9. Определяем площади:

а) приточных отверстий

$$F_{\text{пр.}} = \frac{G_a}{\mu_{\text{пр.}} \sqrt{2g} \cdot \gamma_{\text{в.}} \cdot \Delta P_{\text{пр.}}} = \frac{84,3}{0,44 \sqrt{19,62 \cdot 1,169 \cdot 0,68}} = 44,8 \text{ м}^2;$$

б) вытяжных проемов

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

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 x 0,25 м. Характерный размер для плоской струи  $\ell = 0,125$  м.

10. Значение критерия Архимеда (22)

$$\begin{aligned} \text{Ar}_a &= \frac{0,5 \cdot \gamma_{\text{в.}} \cdot \ell (t_{\text{н.}} - t_{\text{вн.}})}{\mu_{\text{пр.}}^2 \cdot \Delta P_{\text{пр.}} (273 + t_{\text{вн.}})} = \\ &= \frac{0,5 \cdot 1,169 \cdot 0,125 (-15 - 21,3)}{0,44^2 \cdot 0,68 (273 + 21,3)} = -0,08. \end{aligned}$$

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 VII):

$$\bar{x} = \frac{\bar{y}^{2/5}}{0,914 \text{ Ar}_a^{4/5} \left( \frac{T_{\text{н.}}}{T_{\text{вн.}}} \right)^{1/5}} = \frac{64}{0,914 \cdot 0,08^{2/5} \left( \frac{273 - 15}{273 + 21,3} \right)^{1/5}} = 16,2$$

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  $\frac{h'}{H} = 0,555$

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

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

#### 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:  $G_{\text{в}} = 84,3$  кг/сек;  $G_{\text{м.в}} = 0,4 \cdot 84,3 = 33,7$  кг/сек;  
 $\Delta P_{\text{пр.}} = 0,68$  кг/м<sup>2</sup>.

#### РЕШЕНИЕ:

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

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

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

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

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

3. Давление в приточном отверстии

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

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

Приток осуществляется плоскими струями через отверстия 6,0 x 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

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

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

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

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

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

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  $\frac{a'}{a} = 2,0$ ;  $Q_{\text{пост.}} = 10^3$  ккал/сек;  $Q_{\text{изб.}} = 1,2 \times 10^3$  ккал/сек;  $Q_{\text{конв.}} = 0,5 Q_{\text{пост.}}$ ;  $t_{\text{н.}} = + 20^\circ\text{C}$ . Согласно Санитарным нормам рабочая разность температур  $\Delta t_{\text{р.з.}} = 5^\circ\text{C}$ . В пролете III 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  $Q_{\text{пост.}} = 1,5 \times 10^3$  ккал/сек;  $Q_{\text{изб.}} = 1,6 \times 10^3$  ккал/сек;  $Q_{\text{конв.}} = 0,5 Q_{\text{пост.}}$ . Створки приточных проемов (I и 3) одинарные, среднеподвесные ( $h/\delta = 1$ ) с углом открытия  $\alpha = 60^\circ$ ;  $\mu = 0,56$ . Коэффициент расхода для отверстий 6 и 7 -  $\mu_{67} = 0,6$ .

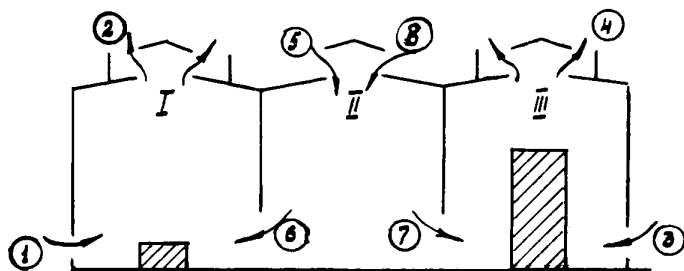
Над I и III пролетами фонари II-образные с ветрозащитными панелями с углом открытия створок  $\alpha = 70^\circ$ ,  $\mu_{I-III} = 0,46$ . Над пролетом II фонарь II-образный без ветрозащитных панелей с углом открытия створок  $\alpha = 70^\circ$ ,  $\mu_{II} = 0,44$ .

Требуется определить воздухообмен и площади аэрационных проемов для каждого пролета.

РЕШЕНИЕ:

Пролет I.

I. Находим определяющими размер источника тепла



*Рис. 5*

$$A = \frac{2 \text{ кв}}{a + b} = \frac{2,0 \times 4,0 \times 2,5}{4,0 + 2,5} = 2,08 \text{ м.}$$

2. Расстояние от полюса струи до верхней грани теплоисточника

$$X_{\text{п}} = 1,7 \cdot A = 1,7 \times 3,08 = 5,23 \text{ м.}$$

3. Расстояние от полюса струи до середины вытяжных отверстий

$$X = X_{\text{п}} + X_{\text{в}} = 5,23 + (20 - 3) = 22,23 \text{ м.}$$

4. Количество конвективного тепла от одного теплоисточника

$$Q_{\text{конв.}} = \frac{1000}{10,0} \cdot 0,5 = 50 \text{ ккал/сек.}$$

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

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

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

$$t_{\text{стр.}} = \frac{Q_{\text{конв.}}}{0,24 \int_{\text{стр.}} L_{\text{стр.}}} + t_{\text{н.}} = \frac{50}{0,24 \cdot 1,17 \cdot 55} + 20 = 23,24^{\circ}\text{C.}$$

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

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

7. Температура уходящего воздуха (6)

$$t_{\text{ух.}} = 1,2 (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{стр.}} - t_{\text{н.}}) = 1,2 (25 + 23,24 - 20) = 34^{\circ}\text{C.}$$

8. Температура внутреннего воздуха (9)

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

9. Располагаемое тепловое давление в отверстии I



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

10. Расчетный воздухообмен

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

11. Площадь вытяжных отверстий 2

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

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

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

13. Потери давления на проход воздуха через отверстие 6, принимая:  $F_6 = F_1$  и  $\xi_6 = 2,78$ , составят

$$\Delta P_6 = \frac{\xi_6}{2g \cdot \gamma_{в.}} \left( \frac{G_6}{F_6} \right)^2 = \frac{2,78}{19,62 \cdot 1,205} \left( \frac{0,333 \cdot 357}{153} \right)^2 = 0,072 \text{ кг/м}^2.$$

14. Давление в отверстии 5

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

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

Пролет III.

1. Средняя температура в тепловых струях на уровне вытяжных отверстий

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

Расстояние от верхней грани печей до середины вытяжных от-

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

Объем воздуха в разгонном участке тепловой струи по номограмме (приложение II). Площадь верхней грани теплоисточника

$$f = 12 \times 5 = 60 \text{ м}^2.$$

Количество конвективного тепла, выделяющееся от одного источника:

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

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

Тогда  $L_{\text{стр.}} = 123 \text{ м}^3/\text{сек.}$

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

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

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

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

3. Температура внутреннего воздуха

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

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

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

5. Объем аэрационного воздуха

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

6. Площади проемов:

а) вытяжных 4

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta P_7 &= \frac{\zeta_7}{2g \times \gamma_n} \left( \frac{G_7}{F_7} \right)^2 = \\ &= \frac{2,4}{19,62 \times 1,205} \left( \frac{0,5 \times 358}{1,5 \times 106} \right)^2 = 0,129 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

8. Потери давления в отверстии 8

$$\Delta P_8 = \Delta P_3 - \Delta P_7 = 0,382 - 0,129 = 0,253 \text{ кг/м}^2.$$

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

#### ПРИМЕР 6.

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

$$G_{\text{газа}} = 10000 \text{ мг/сек}; \quad K_n = 2,5 \text{ мг/м}^3$$

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

#### РЕШЕНИЕ:

1. Определяем концентрацию CO в уходящем воздухе (I4)

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

2. Определяем концентрацию газа в рабочей зоне

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

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

(Приложение У1)

$$\Delta K_{p.з.} = 0,127 \times 31,7 = 4 \text{ мг/м}^3$$

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

### 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 —  $H_3 = 18$  м.

В первом пролете расположено в один ряд теплоотдающее оборудование (9 печей размером 3 х 5 м. и высотой — 5 м;  $Q_{\text{пост.}} = 1000$  ккал/сек; 5 источников тепла размером  $d = 4$  м и высотой 8,0 м;  $Q_{\text{пост.}} = 750$  ккал/сек). Теплопоступления за счет солнечной радиации —  $Q_{\text{пост.}} = 20$  ккал/сек; от нагретого металла и других источников —  $Q_{\text{пост.}} = 25$  ккал/сек. Теплопотери —  $Q_{\text{пот.}} = 15$  ккал/сек. Теплоизбытки —  $Q_{\text{изб.}} = 1780$  ккал/сек. Относительный разрыв между печами —  $\frac{a'}{a} = 2,5$ . Рабочие места расположены до и за печами.

В пролете II расположены в один ряд 12 печей размером 5 х 5 м и высотой — 10 м;  $Q_{\text{пост.}} = 1000$  ккал/сек; и 2 печи размером 4 х 9 м; высотой — 15 м;  $Q_{\text{пост.}} = 400$  ккал/сек. Теплопоступления за счет солнечной радиации —  $Q_{\text{пост.}} = 10$  ккал/сек, от других источников —  $Q_{\text{пост.}} = 15$  ккал/сек. Теплопотери —  $Q_{\text{пот.}} = 10$  ккал/сек. Теплоизбытки в пролете составляют —  $Q_{\text{изб.}} = 1415$  ккал/сек. Разрыв  $\frac{a'}{a} = 3,0$ . Рабочие места расположены до и за печами. В пролете III расположены 5 печей, диаметром  $d = 3$  м, высота печей — 5 м;

$$Q_{\text{пост.}} = 500 \text{ ккал/сек}; \quad Q_{\text{пот.}} = 15 \text{ ккал/сек};$$

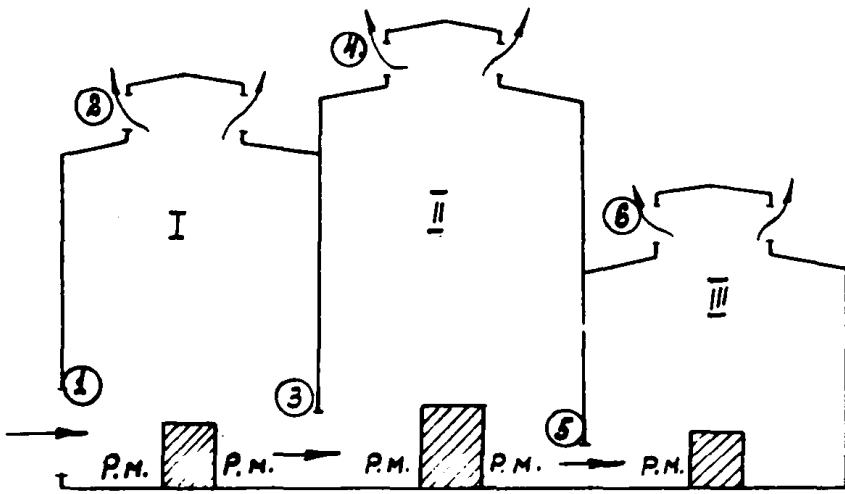


Рис. 6.

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

Фонари вытяжные II-образные с ветрозащитными панелями ( $A/h = 3,3$ );  $b/h = 2$ ;  $\alpha = 55$ ;  $\xi_{\text{выт.}} = 5,1$ ;  $\mu'_{\text{выт.}} = 0,44$ . Приточный воздух поступает во все пролеты через проемы в продольной стене I пролета. Конструкция приточных створок одинарная среднеподвешенная -  $\alpha = 60^\circ$ ;  $h/b = 1$ ;  $\xi_1 = 3,2$ ;  $\mu_1 = 0,56$ . Коэффициенты расхода для приточных отверстий - 3 и 4 равны  $\mu_3 = \mu_5 = 0,64$ . Температура наружного воздуха  $t_{\text{н.}} = +20^\circ\text{C}$ . Расчет аэрации проводится на обеспечение заданного нормами перепада температур в рабочей зоне III пролета -  $\Delta t_{\text{расч.}} = 5^\circ\text{C}$ .

Требуются определить воздухообмены и площади аэрационных проемов для каждого пролета.

#### РЕШЕНИЕ:

Пролет I.

1. Определяющий размер  $A$  для первой группы печей (печи одинаковые)

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

2. Находим  $Z_{\text{п}}$

$$Z_{\text{п}} = 1,7 \times A = 1,7 \times 3,75 = 6,37 \text{ м.}$$

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:  $Q_{\text{конв.}} = 0,5 Q_{\text{пост.}}$

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

5. Объемный расход воздуха в свободной конвективной струе на уровне  $\mathcal{X}$  (приложение П)

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

6. Определяющий размер для второй группы печей  $A = 4\text{м}$ ;  $\mathcal{X}_{\text{п}} = 1,7 \times 4 = 6,8$ .

7. Находим  $\mathcal{X}$

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

8. Количество конвективного тепла, отдаваемого одной печью:

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

9. Расход в струе (приложение П)

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

10. Средняя температура в тепловых струях на уровне  $\mathcal{X}$  первого пролета

$$t_{\text{стр.}} = \frac{55,7 \times 9 + 75 \times 5}{0,24 \times 1,17(76,5 \times 9 + 69,3 \times 5)} + 20 = 23^{\circ}\text{C.}$$

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

Расчетная температура в рабочей зоне III пролета  $-t_{\text{р.з.}} = 20 + 5 = 25^{\circ}\text{C}$ . Для II пролета при  $\frac{a'}{a} = 3,0$  и  $p=0,76$  (приложение IX)

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

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

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

12. Температура уходящего воздуха через створки фонаря I пролета

$$t_{\text{ух.}} = 1,2 ( 22,74 + 23 - 20 ) = 30,8^{\circ}\text{C}.$$

13. Внутренняя температура воздуха

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

14. Располагаемое тепловое давление в отверстиях I и 2 при  $h = 23 \text{ м}$

$$\Delta P_{\text{пр.}} = 0,5h (\gamma_{\text{н.}} - \gamma_{\text{вн.}}) = 0,5 \cdot 23 (1,205 - 1,178) = 0,31 \text{ кг/м}^2.$$

15. Расчетный воздухообмен

$$G_{\text{в}} = \frac{1780}{0,24 ( 30,8 - 20 )} = 629 \text{ кг/сек.}$$

16. Площадь вытяжных отверстий

$$F_2 = \frac{692}{0,44 \sqrt{19,62 \cdot 1,164 \cdot 0,31}} = 592 \text{ м}^2.$$

Пролет П.

17. Определяющий размер для первой группы печей

$$A = 5 \text{ м}; \quad Z_{\text{п}} = 1,7 \cdot 5 = 8,5 \text{ м}.$$

18. Вычисляем  $Z$

$$Z = 8,5 + (30 - 10) = 28,5 \text{ м}.$$

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

$$Q_{\text{конв.}} = \frac{1000}{12} \cdot 0,5 = 41,7 \text{ ккал/сек.}$$

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

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

21. Определяющий размер для второй группы печей

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

Так как высота печей - 15 м, то определим высоту начального



участка струи

$$Z_1 = 1,5 A = 1,5 \times 5,55 = 8,3 \text{ м.}$$

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

22. Определяем  $Z$

$$Z = Z_{\text{п}} + Z_{\text{в}} = 1,7 \times 5,55 + (30 - 15) = 24,4 \text{ м.}$$

23. Количество конвективного тепла от одного источника

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

24. Расход воздуха в струе на уровне  $Z$  составит (номограмма П)

$$L = 81 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

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

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

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

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

27. Температура внутреннего воздуха

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

28. Располагаемое тепловое давление в отверстии 4

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

29. Расчетный воздухообмен

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

30. Площадь вытяжных проемов

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

Пролет Ш.

31. Определяем  $Z$

$$Z = 1,7 * 3 + (18 - 5) = 18,1 \text{ м.}$$

32. Конвективное тепло от источника

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

33. Расход в струе (номограмма П)

$$L_1 = 39,2 \text{ кг/сек}$$

34. Температура в струе на уровне

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

35. Температура уходящего воздуха для  $t_{\text{р.з.}} = 25^\circ\text{C}$

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

36. Температура внутреннего воздуха

$$t_{\text{вн.}} = 0,5(35,4 + 25) = 30,2^\circ\text{C}$$

37. Располагаемое тепловое давление для отверстия  $\delta$ , принимаемым равным  $0,3 \Delta P_T$ .

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

38. Расчетный воздухообмен в Ш пролете

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

39. Площадь фонаря

$$F_6 = \frac{131}{0,44 \sqrt{19,6 * 1,144 * 0,193}} = 143 \text{ м}^2.$$

40. Находим площади приточных проемов 1, 3, 5.  
веса расход воздуха через отверстие 1.

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

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

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

Потери давлений на проход воздуха через проемы 3 и 5

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

$$\Delta P_5 = \Delta P_{1;3;5;6} - \Delta P_1 - \Delta P_3 - \Delta P_6 = 0,64 - 0,31 - 0,04 - 0,193 =$$

$$= 0,097 \text{ кг/м}^2.$$

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

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

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

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

Пример 8. Рассчитать зрацию 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 **азотводородной** смеси размером в плане 5 х 11 м и высотой 2 м (над отметкой 6 м). Тепловыделения  $Q_{\text{пост}} = 466$  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  $Q_{\text{пост}} = 225$  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  $Q_{\text{пост}} = 100$  ккал/сек, из них 55% выделяется в пределах I этажа. Теплопоступления от солнечной радиации  $Q_{\text{рад.}} = 42$  ккал/сек. Теплотери  $Q_{\text{пот}} = 0$ .

температура наружного воздуха  $t_n = +22,8$  °C.

Температура воздуха в рабочей зоне:

2-го этажа  $t_{\text{р.з.}} = +28$  °C;

1-го этажа  $t_{\text{р.з.}} = +30$  °C.

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

**Створки приточных проемов:**

а) двойные - наружная верхнеподвесная, внутренняя - нижнеподвесная  $h/v = 0,5$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\zeta = 11$ ,  $M = 0,3$ . Центры приточных проемов на отметках 2,1 м и 8,1 м;

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

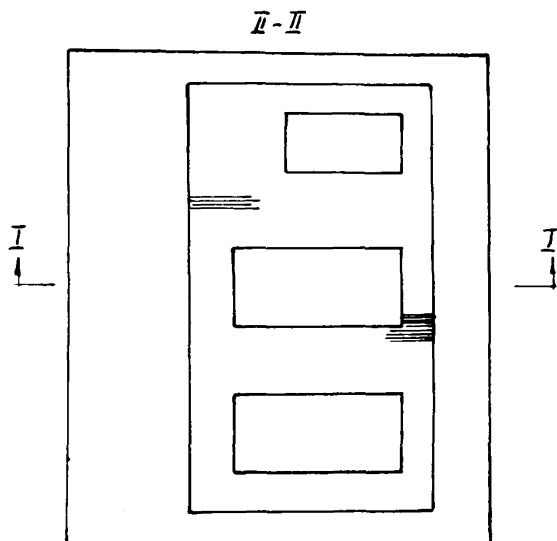
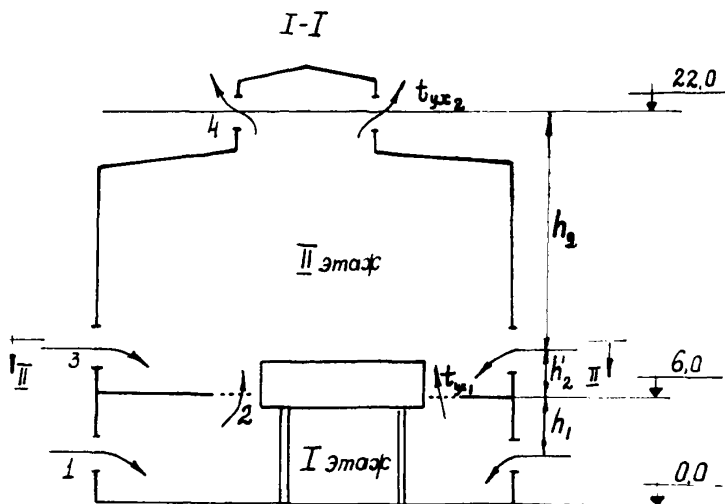


Рис. 7.

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

### Р е ш е н и е

1. Определяющий размер источников тепла:

компрессор азотно-водородной смеси

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

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

2. Находим  $Z_n$  для каждой струи

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

$$Z_n = 11,7 \text{ м}$$

$$Z_n = 7,27 \text{ м.}$$

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

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

$$Z = 25,7 \text{ м}$$

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

4. Конвективное тепло от компрессоров

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

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

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

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

$$L_{\text{стр}} = 88,0 \text{ м}^3/\text{сек}$$

$$L_{\text{стр}} = 69,0 \text{ м}^3/\text{сек}$$

$$L_{\text{стр}} = 50,0 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

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

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

7. Температура уходящего воздуха:

I этаж

$$t_{\text{ух}_1} = 1,2(t_{\text{р.з.}} + t_{\text{стр}} - t_{\text{н}}) = 1,2(30 + 25,6 - 22,8) = 39,3^\circ\text{C};$$

II этаж

$$t_{\text{ух}_2} = 1,2(t_{\text{р.з.}} + t_{\text{стр}} - t_{\text{н}}) = 1,2(28 + 25,6 - 22,8) = 36,9^\circ\text{C.}$$

8. Теплонабитки: в I этаже

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

Во II этаже

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

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

$$G_{a_1} = G_{a_2} = \frac{470}{0,24(39,3 - 22,8)} = 118,6 \text{ кг/сек},$$

при  $t_{yx_1} > t_{yx_2}$

$$G_{a_3} = \frac{Q_2 + 0,24 \times G_2 (t_{yx_1} - t_{yx_2})}{0,24 (t_{yx_2} - t_H)} = \frac{363 + 0,24 \times 118,6 (39,3 - 36,9)}{0,24 (36,9 - 22,8)}$$

$$= 128,5 \text{ кг/сек.}$$

10. Температура и удельный вес внутреннего воздуха:

I этаж

$$t_{вн_1} = \frac{t_{р.з.} + t_{yx_1}}{2} = \frac{30 + 39,3}{2} = 34,7^\circ\text{C},$$

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

II этаж

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

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

11. Располагаемые тепловые давления:

в отверстиях 1, 2 и 4

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

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

в отверстиях 3 и 4

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

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:

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



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

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

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

13. Тепловой баланс 2-х этажного здания

$$(Q_1 + Q_2) = 0,24 (t_{\text{ух}2} - t_{\text{н}}) (G_{\alpha_1} + G_{\alpha_2}) \text{ ккал/сек};$$

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

$$833 = 833$$

#### ПРИМЕР 9.

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

1. На I этаже расположена одна нагревательная печь размером 3 x 12,0 м и высотой 2 м. Теплопоступления от печи  $Q_{\text{пост.}} = 100$  ккал/сек, от солнечной радиации  $Q_{\text{рад.}} = 5$  ккал/сек. Теплопотери  $Q_{\text{н}} = 15$  ккал/сек.

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

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

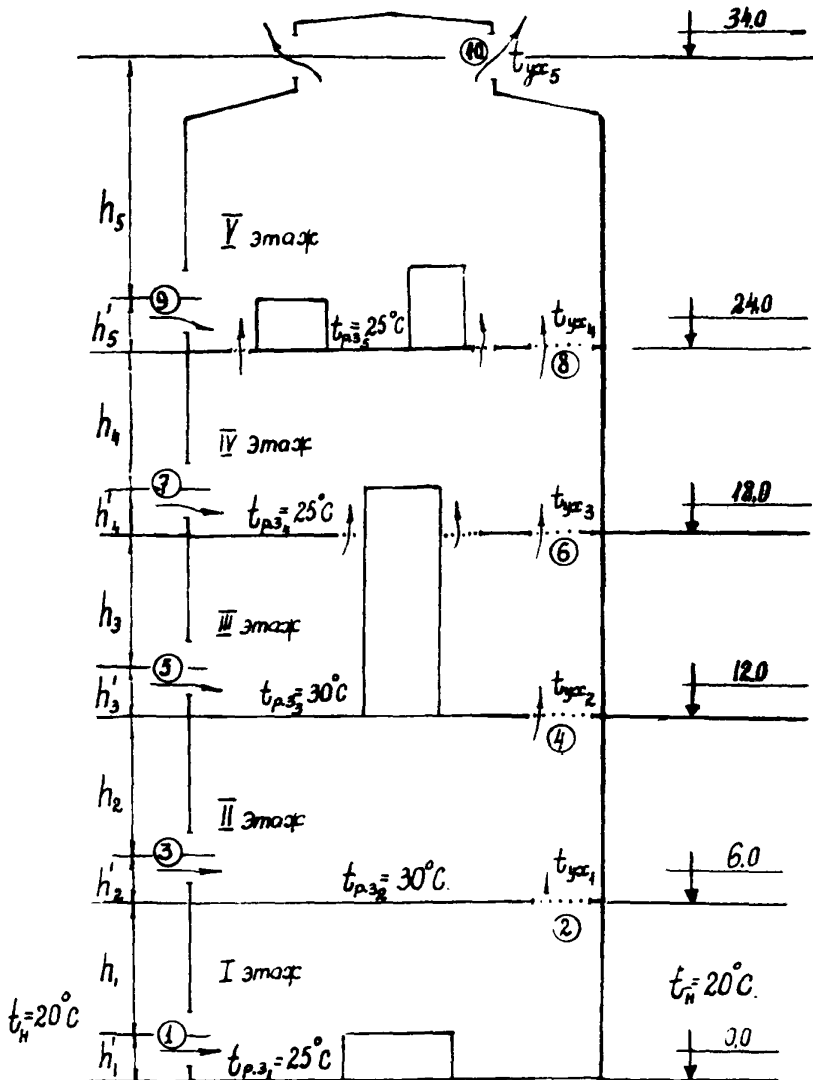


Рис. 8

4. На 5 этаже расположены 2 источника тепла: первый диаметром  $d = 1,5$  м и высотой 2,5 м; второй соответственно  $d = 2,0$  м и высотой 3 м. Тепловыделения от первой печи  $Q_{\text{пост.}} = 40$  ккал/сек, от второй  $Q_{\text{пост.}} = 60$  ккал/сек. Теплопоступления от солнечной радиации  $Q_{\text{ра}} = 10$  ккал/сек. Теплопотери  $Q_{\text{н}} = 20$  ккал/сек.

Расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = +20^{\circ}\text{C}$ , в рабочей зоне: I этаж  $-t_{\text{р.з.}} = 25^{\circ}\text{C}$ ; II этаж  $-t_{\text{р.з.}} = 30^{\circ}\text{C}$  (периодическое пребывание людей); III этаж  $-t_{\text{р.з.}} = 30^{\circ}\text{C}$  (периодическое пребывание людей); IV этаж  $-t_{\text{р.з.}} = 25^{\circ}\text{C}$  и V этаж  $-t_{\text{р.з.}} = 25^{\circ}\text{C}$ .

Наружный воздух поступает через приточные проемы I, 3, 5, 7 и 9; Створки приточных проемов двойные - наружная верхнеподвесная, внутренняя - нижнеподвесная;  $\xi = \text{II}$ ;  $M = 0,3$ . Центры приточных проемов находятся на высоте  $h = 2,1$  м.

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

Фонарь конструкции КТИС,  $\xi = 4,3$ ;  $M = 0,48$ .

Требуется определить воздухообмен и площади аэрационных проемов.

РЕШЕНИЕ. I этаж.

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

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

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

2. Температура в струе, на высоте  $Z_{\text{в}}$

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

3. Температура уходящего воздуха

$$t_{yx_1} = 1,2 ( 25 + 35 - 20 ) = 48^\circ\text{C}.$$

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

$$G_{a_1} = G_{a_2} = \frac{Q_1}{0,24 ( t_{yx_1} - t_{\text{н}} )} =$$

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

II этаж.

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

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

$$a = 12 \text{ м; } L_{\text{стр}} = 29,6 \text{ м}^2/\text{сек.}$$

6. Температура в струе на уровне  $Z_B$

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

7. Температура уходящего воздуха

$$t_{yx_2} = 1,2 ( 30 + 26 - 20 ) = 43,2^\circ\text{C}$$

8. Расход воздуха, протекающего через проем 3 (во II этаже источников тепла нет), при  $t_{yx_1} > t_{yx_2}$

$$G_{a_3} = \frac{Q_{\text{II}} + 0,24 G_{a_1} ( t_{yx_1} - t_{yx_2} )}{0,24 ( t_{yx_2} - t_{\text{н}} )} =$$

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

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  $A = d = 1,5 \text{ м.}$

Высота разгонного участка свободной конвективной струи ( $Z_1 = 1,5 d = 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ м}$ ) значительно меньше расстояния от верхней грани печи до вытяжного отверстия  $Z_B = 4 \text{ м.}$

Полос струи  $Z_{II} = 1,7 d = 1,7 \times 1,5 = 2,55 \text{ м.}$

$$Z = Z_{II} + Z_B = 2,55 + 4 = 6,55 \text{ м.}$$

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

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

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

$$t_{ух_3} = 1,2 (t_{р.з_3} + t_{стр} - t_{II}) = \\ = 1,2 (30 + 31,9 - 20) = 50,4^\circ\text{C.}$$

13. Расход воздуха (проем 5) при  $t_{yx_3} > t_{yx_2}$

$$G_{a_5} = \frac{Q_{IV} - 0,24 G_{a_4} (t_{yx_2} - t_{yx_3})}{0,24 (t_{yx_3} - t_{н})} =$$

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

Расход воздуха, протекающего через проем 6 :

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

IV этаж.

14. Температура уходящего воздуха

$$t_{yx_4} = 1,2 (t_{p.з.ч} + t_{стр.} - t_{н}) =$$

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

15. Расход воздуха, протекающего через отверстие 7, при  $t_{yx_4} < t_{yx_3}$

$$G_{a_7} = \frac{Q_{IV} + 0,24 G_{a_6} (t_{yx_2} - t_{yx_4})}{0,24 (t_{yx_4} - t_{н})} =$$

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

Расход воздуха, протекающего через проем 8.

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

V этаж.

16. Определяющий размер первого источника  $A = 1,5 \text{ м}$ :

$$Z_{п} = 1,7 \times 1,5 = 2,55 \text{ м}; \quad Z_{в} = 10 - 2,5 = 7,5 \text{ м};$$

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

17. Объемный расход воздуха в тепловой струе

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

18. Высота  $Z$  для второй печи

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

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

19. Объемный расход воздуха в тепловой струе

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

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

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

21. Температура уходящего воздуха

$$t_{\text{ух}_5} = 1,2 (t_{\text{р.з.}_5} + t_{\text{стр.}} - t_{\text{н}}) = \\ = 1,2 (25 + 27,1 - 20) = 38,6^\circ\text{C.}$$

22. Расход воздуха, протекающего через проем  $\gamma$ , при  $t_{\text{ух}_4} > t_{\text{ух}_5}$

$$G_{\text{а}_9} = \frac{Q_{\gamma} + 0,24 G_{\text{а}_8} (t_{\text{ух}_4} - t_{\text{ух}_5})}{0,24 (t_{\text{ух}_5} - t_{\text{н}})} = \\ = \frac{(40 + 60 + 10 - 20) + 0,24 \times 40,7(44,3 - 38,6)}{0,24(38,6 - 20)} = 32,7 \text{ кг/сек}$$

23. Расход воздуха, протекающего через отверстие  $\text{IU}$ :

$$G_{\text{а}_{10}} = G_{\text{а}_8} + G_{\text{а}_9} = 40,7 + 32,7 = 73,4 \text{ кг/сек.}$$

24. Тепловой баланс здания

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

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

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

25. Температура и удельный вес внутреннего воздуха:

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

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

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

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

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

26. Располагаемое тепловое давление:

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



$$\begin{aligned} \Delta P_{3,4,6,8,10} &= h_2(\gamma_H - \gamma_{BH_2}) + (h'_3 + h_3)(\gamma_H - \gamma_{BH_3}) + \\ &+ (h'_4 + h_4)(\gamma_H - \gamma_{BH_4}) + (h'_5 + h_5)(\gamma_H - \gamma_{BH_5}) = \\ &= 3,9(1,205 - 1,137) + 6(1,205 - 1,127) + 6(1,205 - 1,147) + \\ &+ 10(1,205 - 1,162) = 1,511 \text{ кг/м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{5,6,8,10} &= h_3(\gamma_H - \gamma_{BH_3}) + (h'_4 + h_4)(\gamma_H - \gamma_{BH_4}) + (h'_5 + h_5) \\ &(\gamma_H - \gamma_{BH_5}) = 3,9(1,205 - 1,127) + 6(1,205 - 1,147) + \\ &+ 10(1,205 - 1,162) = 1,082 \text{ кг/м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{7,8,10} &= h_4(\gamma_H - \gamma_{BH_4}) + (h'_5 + h_5)(\gamma_H - \gamma_{BH_5}) = \\ &= 3,9(1,205 - 1,147) + 10(1,205 - 1,162) = 0,656 \text{ кг/м}^2; \end{aligned}$$

$$\Delta P_{9,10} = h_5(\gamma_H - \gamma_{BH_5}) = 7,9(1,205 - 1,162) = 0,34 \text{ кг/м}^2.$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta P_7 &= 0,5 h_4(\gamma_H - \gamma_{BH_4}) = 0,5 \times 3,9(1,205 - 1,147) = \\ &= 0,12 \text{ кг/м}^2; \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta P_8' &= \frac{1}{\text{м}^2} \frac{1}{2g} \frac{1}{\gamma_{ух_4}} \left( \frac{G_{a_8}}{F_8} \right)^2 = \frac{1}{0,65^2 \times 19,6 \times 1,113} \times \\ &\times \left( \frac{40,7}{16} \right)^2 = 0,705 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

Так как  $\Delta P_8^1 > \Delta P_8$ , 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:

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

$$\begin{aligned} \Delta P_6 &= \Delta P_{5,6,8,10} - \Delta P_5 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} = \\ &= 1,082 - 0,152 - 0,366 - 0,17 = 0,394 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

При  $F_6 = 16 \text{ м}^2$  и  $G_{в6} = 29,0 \text{ кг/сек}$

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta P_3 &= \Delta P_{3,4,6,8,10} - \Delta P_4 - \Delta P_6 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} = \\ &= 1,511 - 0,127 - 0,394 - 0,366 - 0,17 = 0,454 \text{ кг/м}^2 \end{aligned}$$

Через отверстие 1 при заданной площади монтажного проема

$$F_2 = 16 \text{ м}^2$$

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

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \Delta P_{1,2,4,6,8,10} - \Delta P_2 - \Delta P_4 - \Delta P_6 - \Delta P_8 - \Delta P_{10} = \\ &= 1,915 - 0,077 - 0,127 - 0,394 - 0,366 - 0,17 = \\ &= 0,771 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

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:

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

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

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

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

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

$$F_{10} = \frac{G_{a10}}{\mu \sqrt{2g \gamma_{H5} \Delta P_{10}}} = \frac{73,4}{0,48 \sqrt{19,6 \times 1,135 \times 0,17}} = 78,9 \text{ м}^2$$

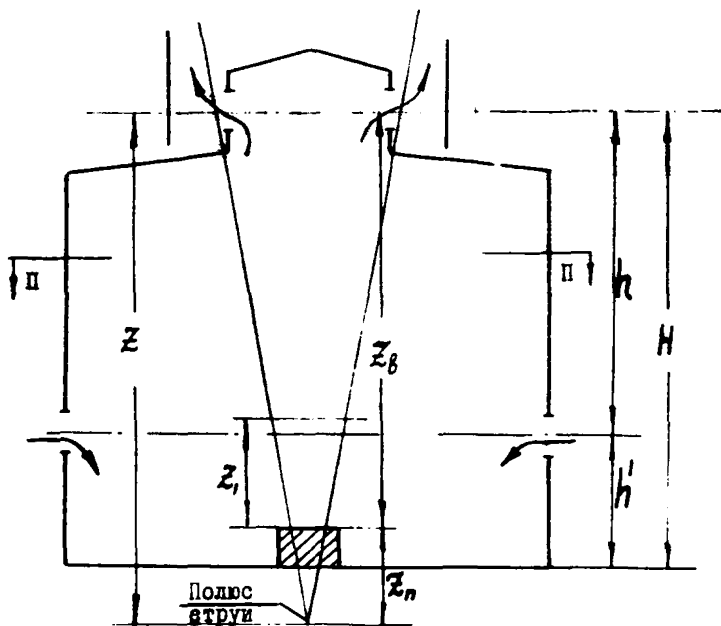
Суммарная площадь проемов в межэтажном перекрытии на отм. 24,0 м

$$\leq F = \frac{G_{a8}}{\mu_n \sqrt{2g \gamma_{H4} \Delta P_8}} = \frac{40,7}{0,65 \sqrt{19,6 \times 1,113 \times 0,366}} = 22,1 \text{ м}^2$$

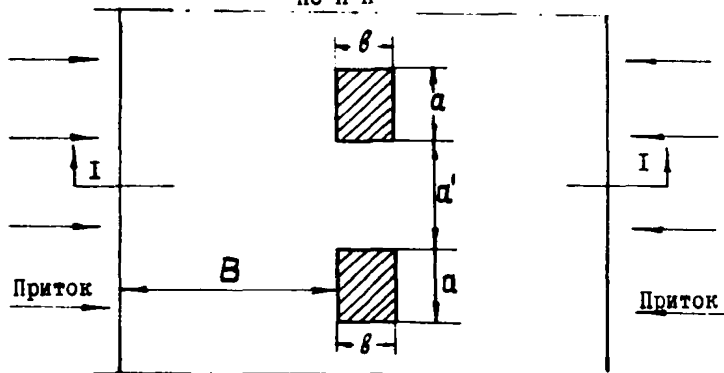
Дополнительная площадь проемов около источников тепла ( $\mu = 0,5$ )

$$F_g = \frac{M_n}{\mu g} (\pm F - F_s) = \frac{0,65}{0,5} (22,1 - 16,0) = 7,94 \text{ м}^2$$

По I-I

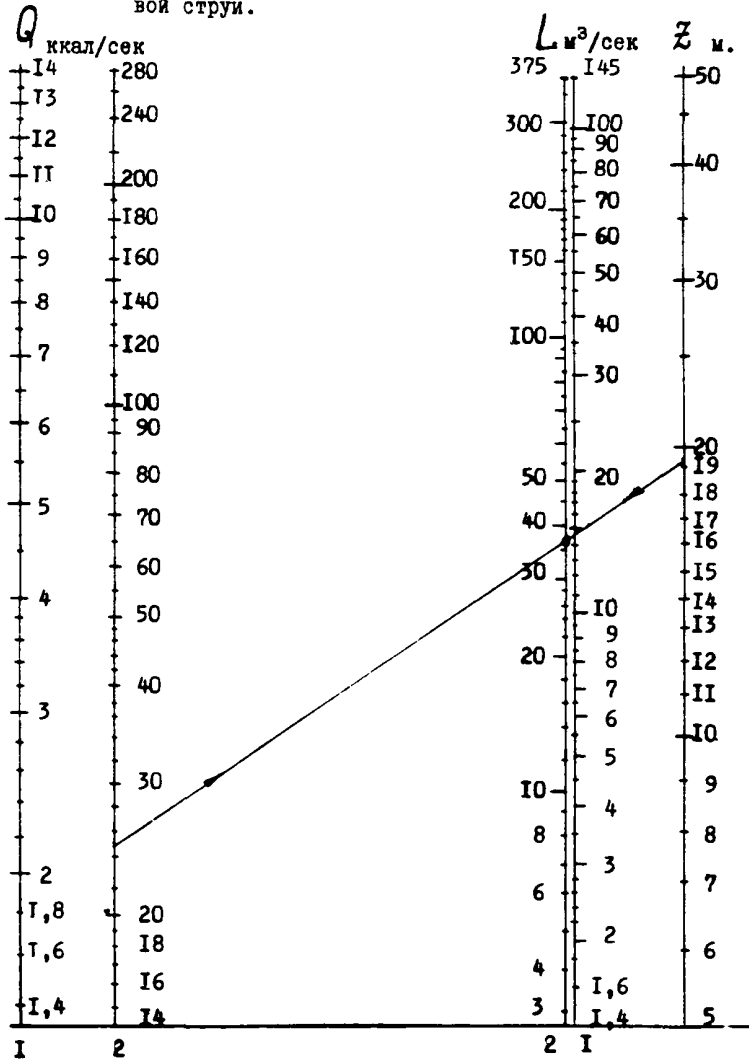


По II-II



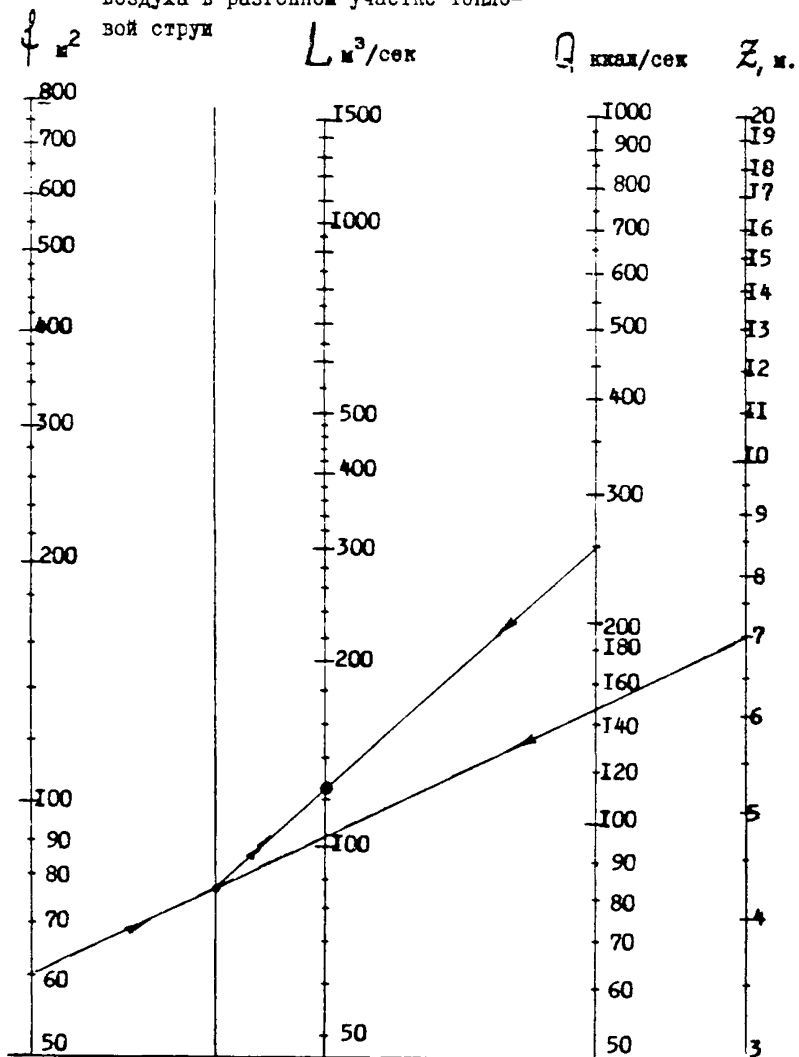
Номограмма для определения расхода воздуха в основном участке тепловой струи.

Приложение П



Номограмма для определения расхода  
воздуха в разгонном участке тепло-  
вой струи

Приложение III



Номограмма для определения расхода  
воздуха в плоской тепловой струе

Приложение Ша

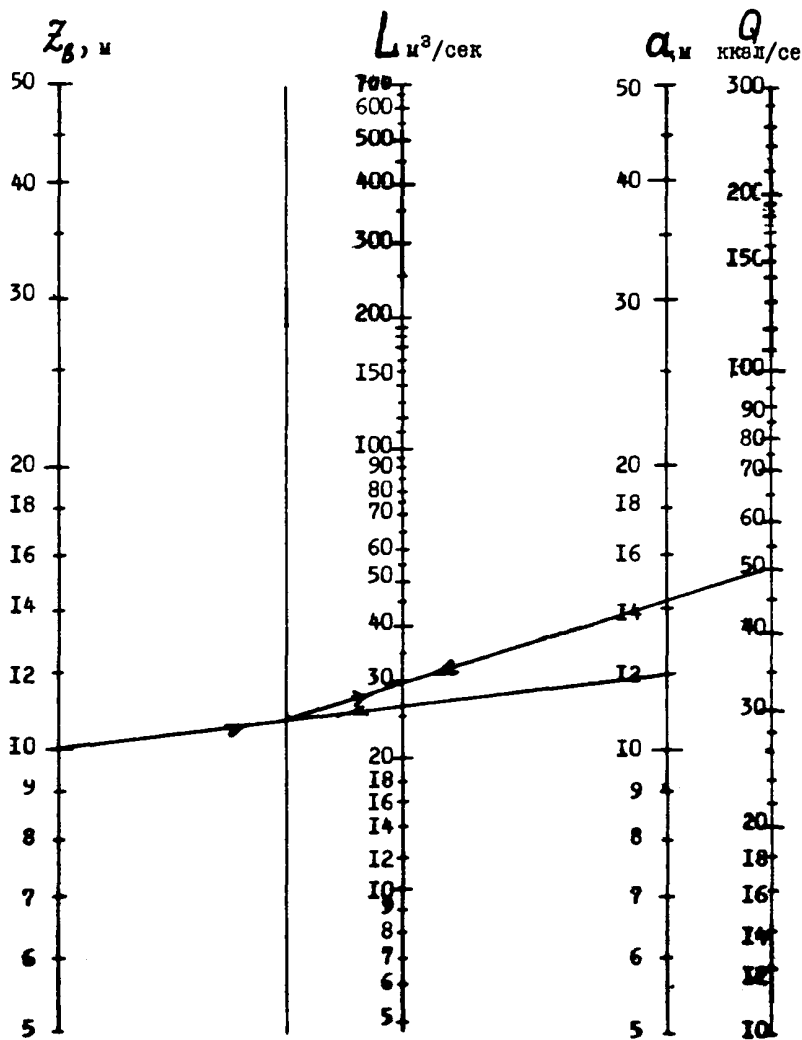
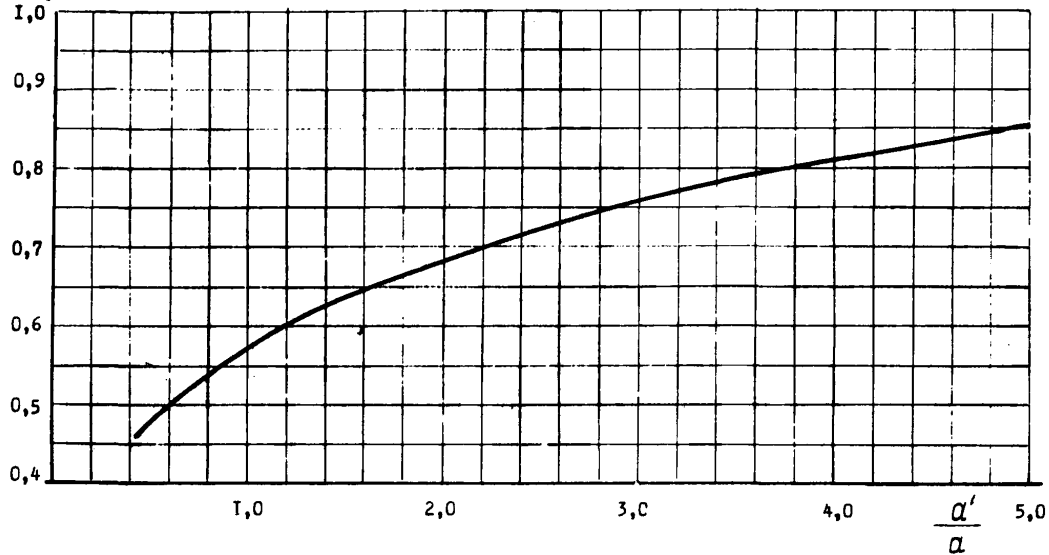




График для определения коэффициента - п




Приложение IV

$$\eta = \frac{\Delta t_{\text{расч.}}}{\Delta t_{\text{р,в}}}$$



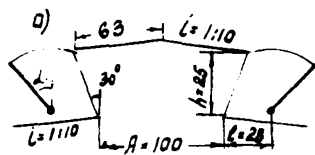
Значения коэффициентов местного сопротивления  $\xi$  приточных проемов, отнесенные к скорости в отверстии.

Таблица I.

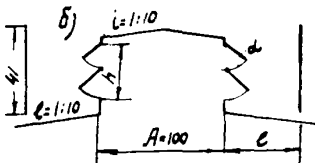
| Конструкция створки  | $h/\delta$ | Значение $\xi$ при угле открытия $\alpha$ , отсчитываемом от плоскости стены, град. |      |     |     |     |
|--|------------|---|------|-----|-----|-----|
|  |            | 15  | 30   | 45  | 60  | 90  |
| Одиная верхне-подвесная<br>                   | 0          | 30,8  | 9,2  | 5,2 | 3,5 | 2,6 |
|  | 0,5        | 20,6  | 6,9  | 4,0 | 3,2 | 2,6 |
|  | I          | 16  | 5,7  | 3,7 | 3,1 | 2,6 |
| Одиная средне-подвесная<br>                   | 0          | 59  | 13,6 | 6,6 | 3,2 | 2,7 |
|  | 0,5        | -   | -    | -   | -   | -   |
|  | I          | 45,3  | 11,1 | 5,2 | 3,2 | 2,4 |
| Двойная (обе створки на верхней подвеске)<br> | 0          | -   | -    | -   | -   | -   |
|  | 0,5        | 30,8  | 9,8  | 5,2 | 3,5 | 2,4 |
|  | I          | 14,8  | 4,9  | 3,8 | 3,0 | 2,4 |
| Аэрационные ворота   |            | -   | -    | -   | -   | 2,4 |

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

Таблица 2.



Аэрационный фонарь незадуваемого типа

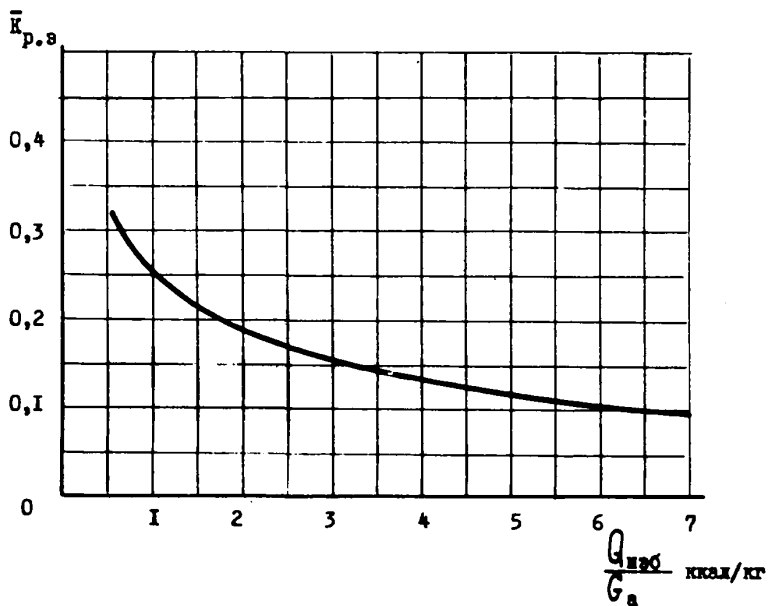


Незадуваемый аэрационно-световой П-образный фонарь

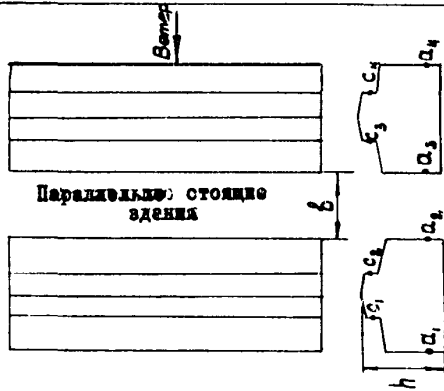
| Тип фонаря                                       | $A/h$ | $e/h$ | $\alpha^\circ$ | $\xi$ |
|--|-------|-------|----------------|-------|
| Приточный П-образный (без ветрозащитных панелей) | 3,3   | -     | 35             | 12,2  |
|  |       |       | 70             | 6     |
| Вытяжной П-образный (с ветрозащитными панелями)  | 3,3   | 1,5   | 35             | 11,5  |
|  |       |       | 45             | 9,2   |
|  |       |       | 55             | 7,1   |
| То же  | 3,3   | 2     | 70             | 5,8   |
|  |       |       | 35             | 9,4   |
|  |       |       | 45             | 6,8   |
| Вытяжной П-образный (без ветрозащитных панелей)  | 3,3   | -     | 55             | 5,1   |
|  |       |       | 35             | 8,9   |
|  |       |       | 45             | 5,9   |
| Вытяжной КТМС                                    | 4     | 1,1   | 40             | 4,3   |
|  |       |       |                |       |

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

Приложение У1



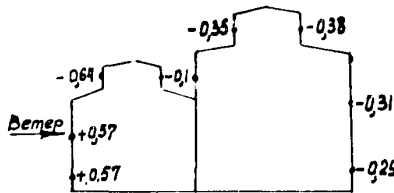
Приложение УП



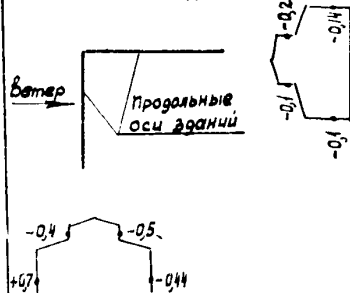
| $b/h$ | Приточные проемы |       |       |       | Фонарь |       |       |       |
|-------|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|       | $a_1$            | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $c_1$  | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$ |
| 2     | -0,37            | -0,67 | -0,67 | +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 фонарь незадуваемого типа.

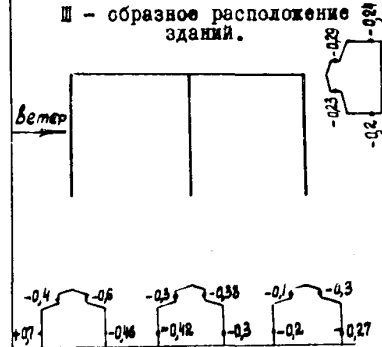
Два пролета разной высоты



Г - образное расположение зданий

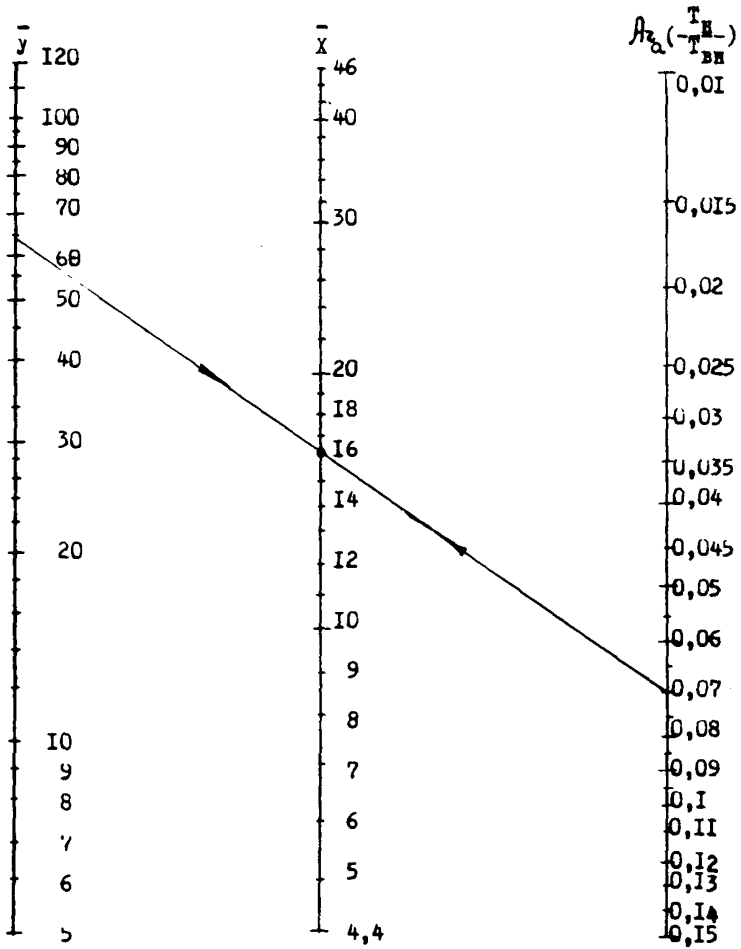


Ш - образное расположение зданий.



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

Приложение УИ



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

Приложение IX

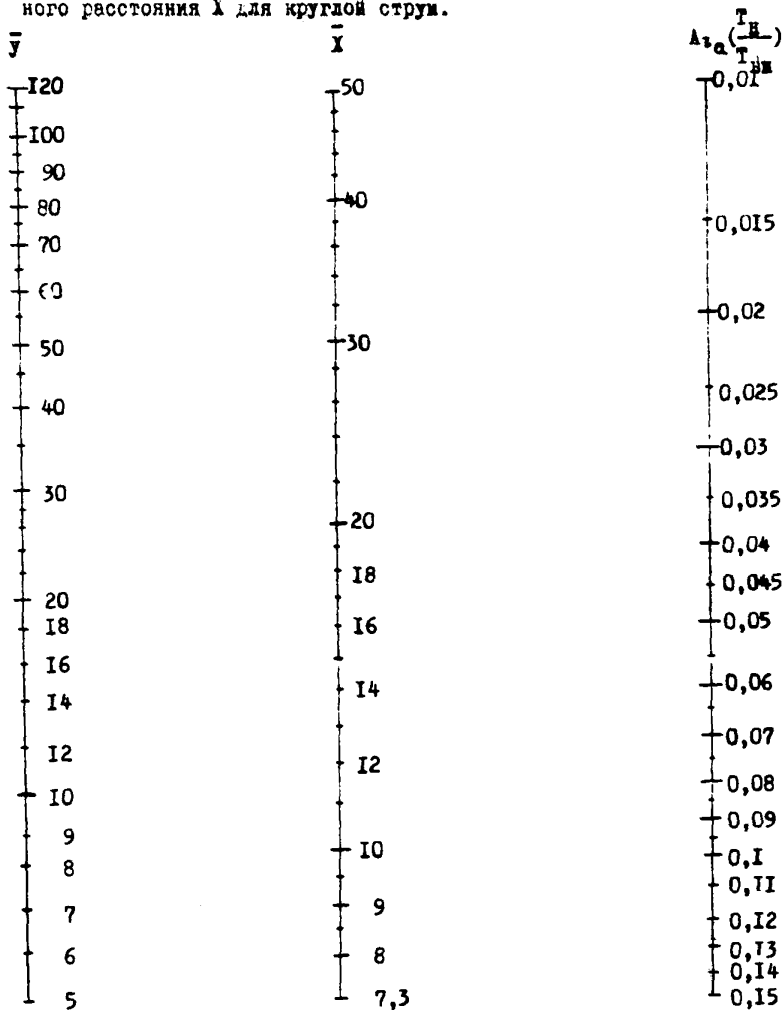
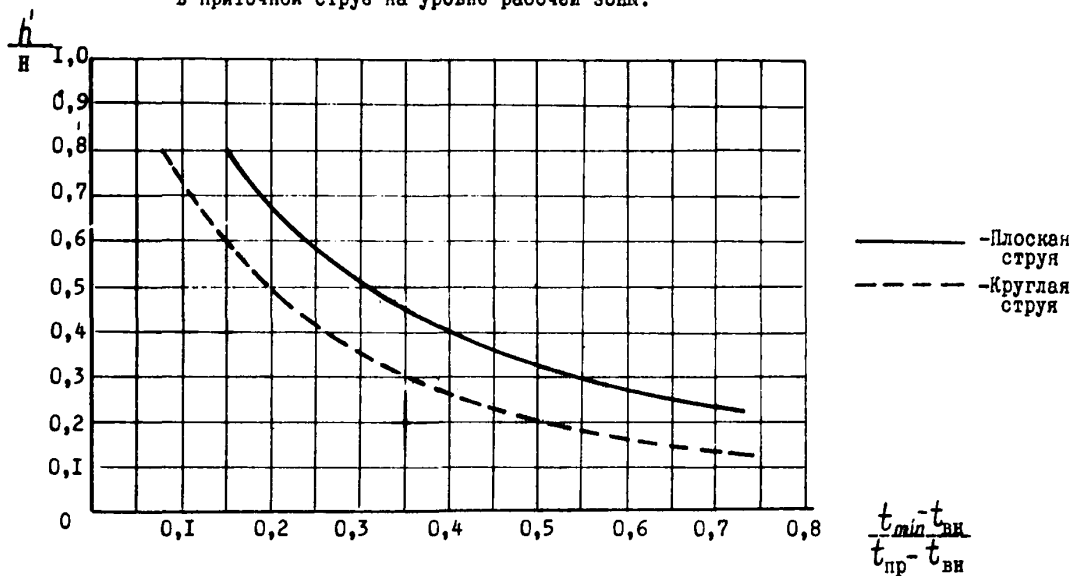


График для определения минимальной температуры  
в приточной струе на уровне рабочей зоны.

Приложение X



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | Общие положения . . . . .  | 3  |
| II.  | Расчет аэрации в теплый период года с учетом<br>теплового давления . . . . .   | 8  |
| III. | Поверочный расчет аэрации при совместном<br>действии теплового и ветрового давлений . . .  | 14 |
| IV.  | Расчет аэрации в холодный период года с уче-<br>том теплового давления . . . . .   | 16 |
| V.   | Приближенный расчет аэрации помещений с меха-<br>нической вытяжкой в холодный период года<br>(без механического притока) . . . . . | 21 |
| VI.  | Поверочный расчет аэрации при совместном<br>действии теплового и ветрового давлений для<br>холодного периода года . . . . .        | 22 |
| VII. | Примеры расчета аэрации . . . . .  | 23 |
|      | Приложения . . . . .   | 68 |



Редактор В.И.Павлов

Технический редактор А.В.Лыкова

И-4689I подл. к печати I.IO.70 тпр. 5000

---

И

Ротапринт

ВЦНИИОТ

ВЦСПС Зак. 69