

# Вентиляция и кондиционирование

Практическое занятие №1-5.

Расчет расходов воздуха  
общеобменной вентиляции  
(РГЗ)

# ЗАДАЧА №1

Типовое задание:

Определить расход приточного воздуха и требуемую кратность воздухообмена для вентиляции механического цеха самолетостроительного завода: а) в теплый период года, б) в холодный период года, в) для переходных условий и произвести выбор воздухораспределения. Вентилятор создает разность давлений – 1300 Па. Вт=Дж/с.

*Исходные данные для расчета:*

- Габариты цеха: длина, ширина, высота.
- Расчетная температура наружного воздуха **в теплый период года 24 °С.**
- Избытки теплоты – КВт.
- Расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны – м<sup>3</sup>/ч.
- Категория работ средней тяжести II Б.
- Тепловой поток для отопления помещения в холодный период года – КВт.
- Температура воздуха в рабочей зоне - °С.
- Избытки теплоты при переходных условиях – КВт.

# Порядок расчета

Расход приточного воздуха для нужд предприятия по избыткам поступающего тепла можно определить по формуле:

$$L = L_{wz} + \frac{3,6 \cdot Q_{изб} - c \cdot \rho \cdot L_{wz} \cdot (t_{wz} - t_{in})}{c \cdot \rho \cdot (t_{ex} - t_{in})}, \text{ где}$$

$L$  - расход приточного воздуха ( $\text{м}^3/\text{час}$ );

$L_{wz}$  - расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны местными отсосами общеобменной вентиляции и на технологические нужды ( $\text{м}^3/\text{час}$ );

$Q_{изб}$  – избыточный явный тепловой поток в помещении (Вт) - **СОСТОИТ ИЗ ИЗБЫТКОВ ТЕПЛОТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ**;

$C$  – теплоёмкость воздуха (принять равной  $C=1,005$  ( $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ );

$\rho$  – плотность воздуха ( $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ )

$t_{wz}$  - температура воздуха в рабочей зоне помещения, удаляемого местными отсосами общеобменной вентиляции и на технологические нужды ( $^\circ\text{C}$ );

$t_{in}$  - температура воздуха, подаваемого в помещение равная температуре приточного воздуха на выходе из воздухораспределителей ( $^\circ\text{C}$ );

$t_{ex}$  - температура воздуха удаляемого за пределами рабочей зоны ( $^\circ\text{C}$ );

**1 ватт [Вт] = 3600 джоуль в час [Дж/ч] – > 3,6 переводной коэффициент**

wz – work zone (рабочая зона)

In – inlet (поступаемый поток)

Ex – exhaust (выходящий, удаляемый поток)

Температура удаляемого воздуха находится эмпирически:

$$t_{ex} = t_{in} + K_t(t_{wz} - t_{in})$$

$K_t$  - коэффициент воздухообмена (принять по таблице 2).

Определяем допустимую температуру воздуха  $t_{wz}$  в рабочей зоне **в теплый период года.**

Для Новосибирска допустимая температура рабочей зоны определяется как прибавка  $4^{\circ}\text{C}$  к расчетной температуре, но не превышающая  $31^{\circ}\text{C}$  - для легких работ;  $30^{\circ}\text{C}$  - для работ средней тяжести и  $29^{\circ}\text{C}$  - для тяжелых работ

$$t_{w,z} = t_a + 4$$

• Допустимая температура воздуха в рабочей зоне  $t_{wz}$  при переходных условиях и в холодный период года принимается по таблице 1 по НИЖНЕМУ пределу для постоянных рабочих мест (15 °С).

Таблица 1 – Допустимые и оптимальные температуры в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Оптимальные нормы на постоянных и непостоянных рабочих местах			Допустимые нормы				
		температура, °С	скорость движения, м/с. не более	относительная влажность, %	температуры, °С			скорости движения воздуха, м/с, не более	относительной влажности воздуха, %, не более
					на всех рабочих местах	на постоянных рабочих местах	на непостоянных рабочих местах		
Теплый	Легкая:			40-60	На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более указанных в гр. 7 и 8				75
	Ia	23-25	0.1			28/31	30/32	0.2	
	Iб	22-24	0.2			28/31	30/32	0,3	
	Средней тяжести:	21-23	0,3			27/30	29/31	0,4	
	IIa	20-22	0,3			27/30	29 31	0,5	
	IIб								
Тяжелая:									
III	18-20	0,4		26/29	28/30	0.6			
Холодный и переходные условия	Легкая:			40-60	-				75
	Ia	22-24	0,1			21-25	18-26	0,1	
	Iб	21-23	0,1			20-24	17-25	0,2	
	Средней тяжести:	18-20	0,2			17-23	15-24	0,3	
	IIa		0,2						
	IIб	17-19	0,3			15-21	13-23	0,4	
	Тяжелая:								
III	16-18			13-19	12-20	0,5			

- Примечания: 1. В таблице допустимые нормы внутреннего воздуха приведены в виде дроби: в числителе для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С, в знаменателе - выше 25 °С.
- 2. Для районов с температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше соответственно для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой температуру на рабочих местах следует принимать на 4 °С выше температуры наружного воздуха, но не выше указанной в знаменателе гр. 7 и 8.
- 3. В населенных пунктах с расчетной температурой наружного воздуха 18 °С и ниже (параметры А) вместо 4 °С, указанных в гр. 6, допускается принимать 6 °С.
- 4 Нормативная разность температур между температурой на рабочих местах и температурой наружного воздуха (параметры А) 4 или 6 °С может быть увеличена при обосновании расчетом в соответствии с п. 2.10.
- 5. В населенных пунктах с расчетной температурой наружного воздуха  $t$ , °С, на постоянных и непостоянных рабочих местах в теплый период года (параметры А), превышающей:
  - а) 28 °С - на каждый градус разности температур  $t - 28$  °С следует увеличивать скорость движения воздуха на 0,1 м/с, но не более чем на 0,3 м/с выше скорости, указанной в гр. 9;
  - б) 24 °С - на каждый градус разности температур  $t - 24$  °С допускается принимать относительную влажность воздуха на 5 % ниже относительной влажности, указанной в гр. 10.
- 6. В климатических зонах с высокой относительной влажностью воздуха (вблизи морей, озер и др.), а также при применении адиабатной обработки приточного воздуха водой для обеспечения на рабочих местах температур, указанных в гр. 7 и 8, допускается принимать относительную влажность воздуха на 10 % выше относительной влажности, определенной в соответствии с примеч. 5, 6.
- 7. если допустимые нормы невозможно обеспечить по производственным или экономическим условиям, то следует предусмотреть воздушное душирование или кондиционирование воздуха на постоянных рабочих местах.



$t_{v,z}$  – принимаем последовательно для всех периодов года.

Расчетные параметры наружного воздуха (температуру и энтальпию) при проектировании вентиляции общественных, административно-бытовых и производственных помещений следует принимать в соответствии со СНиП 02.04.05-91, для теплого периода года **по параметрам А, для холодного периода - по параметрам Б.**

Для переходных условий независимо от места расположения здания принимаем температуру наружного воздуха **8°C**, энтальпию 22,5 кДж/кг.

ТОГДА

Для Новосибирска, для теплого периода года  $t_{in} = + 22,7$  °С.

Для **переходных условий**  $t_{in} = 8,0$  °С.

Для **холодного периода** года  $t_{in} = - 39,0$  °С (в формулу подставляется со знаком МИНУС, знак меняется на плюс).

Рассчитываем удельные избытки теплоты:

$$\frac{Q}{V}, \text{ Вт}$$

$V$  – объем зданий,  $Q$  – избытки теплоты.

По найденному значению находим  $K_t$  из таблицы 2, выбирая тип и расположение воздухораспределителей для каждого времени года.

$Q$  – разное для разных времен года.

**Таблица 2 - Значения коэффициентов воздухообмена  $K_t$  и  $K_q$  для помещений с незначительными избытками явной теплоты.**

Подача воздуха	Удельные избытки теплоты Вт на 1 м <sup>3</sup> помещения					
	до 20 Вт		20-50 Вт		50 и более Вт	
	Воздухообмен 1/ч					
	3 - 5		5-10		10 и более	
	$K_t$	$K_q$	$K_t$	$K_q$	$K_t$	$K_q$
Непосредственно в рабочую зону	1,3	1,85	1,2	1,4	1,05	1,15
Наклоненными струями в направлении рабочей зоны:						
с высоты не более 4м	1,15	1,4	1,1	1,2	1,0	1,1
с высоты более 4м	1	1,2	1	1,1	1	1,05
Сосредоточенно, выше рабочей зоны	0,95	1,1	1	0,95	1	1
Сосредоточенно, выше рабочей зоны с использованием направляющих сопел	1	1	1	1	1	1
Сверху вниз:						
настилающимися струями	0,95	1,1	1	1,05	1	1
коническими струями	1,05	1,1	1	1,05	1	1
плоскими струями	1,1	1,2	1,05	1,1	1	1

Коэффициент воздухообмена характеризует скорость замещения воздуха в помещении, принимается по таблице.

- Он зависит от условий раздачи воздуха в помещении, расположения и размеров диффузоров, расположения источников тепла и т.д.
- При применении метода вытеснения, возможно получить значения коэффициента воздухообмена от 50 до 100%, в то время как при вентиляции перемешиванием они не превышают 50%.

Кратность воздухообмена (air exchange rate) (отношение расхода воздуха к объёму помещения) определяется как:

$$K = \frac{L}{V}$$

# Задача 2

Типовое задание: Определить расход воздуха для общеобменной вентиляции цеха

*Исходные данные для расчета:*

- в помещение поступает  $X$  г/ч вредных газов, которые легче воздуха (сернистый газ, угарный газ и др.)
- ПДК вредных газов в воздухе рабочей зоне =  $Y$  мг/м<sup>3</sup>,  $q_{wz}$ .

ПДК берется из "ИНСТРУКЦИЯ ПО САНИТАРНОМУ СОДЕРЖАНИЮ ПОМЕЩЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ" (УТВ. ГЛАВНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ САНИТАРНЫМ ВРАЧОМ СССР 31.12.66 N 658-66)

- В наружном воздухе содержится  $Z$  мг/м<sup>3</sup> этих веществ,  $q_{in}$ .
- Местными отсосами из рабочей зоны удаляется  $L_{wz}$  м<sup>3</sup>/ч воздуха.
- Коэффициент воздухообмена –  $K$ .

# Порядок расчета

Расход воздуха общеобменной вентиляции определяем по формуле:

$$L_{p_0} = L_{w,z} + \frac{m_{p_0} - L_{w,z}(q_{w,z} - q_{in})}{K(q_{w,z} - q_{in})} \text{ где}$$

$m_{p_0}$  - масса вредных веществ, **г/ч**.

$L_{w,z}$  - объем воздуха, удаляемого из помещений системой вентиляции,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$q_{w,z}, q_{in}$  - предельно допустимая концентрация и фоновая концентрация ЗВ в воздухе,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$K$  – коэффициент воздухообмена.

№ п.п.	Наименование вещества	Наименование вещества	Величины предельно допустим. концентраций в мг/м <sub>3</sub>
<u>1. ГАЗЫ И ПАРЫ</u>			
1. Газы и пары			
1	Акролеин	Акролеин	2
2	Амилацетат	Амилацетат	100
3	n-аминоанизол	n-аминоанизол	1
4	Аммиак	Аммиак	20
5	Анилин	Анилин	3
6	Ацетальдегид	Ацетальдегид	5
7	Ацетон	Ацетон	200
8	Ацетонциангидрин	Ацетонциангидрин	0,9
9	Бензальхлорид	Бензальхлорид	0,5
10	Бензин-растворитель (в пересчете на С)	Бензин-растворитель (в пересчете на С)	300
11	Бензин топливный (сланцевый, крекинг и др.) в пересчете на С	Бензин топливный (сланцевый, крекинг и др.) в пересчете на С	100



# Задача 3

Типовое задание:

Определить расход приточного воздуха в теплый период года для помещения сборочного цеха при кондиционировании (давление от вентилятора 1200-1400 Па).

*Исходные данные для расчета:*

- Габариты цеха: длина, ширина, высота, м.
- Избытки явной теплоты  $Q$ , кВт.
- Избытки влаги  $W$ , г/ч.
- Коэффициенты воздухообмена  $K_t$ ,  $K_q$  (подача воздуха непосредственно в рабочую зону)
- Категория работ – легкая / а.
- Оптимальные параметры воздуха в рабочей зоне согласно ГОСТ 12.1.005-88 (температура  $t_{w,z}=t_B = 25^\circ\text{C}$ , влажность 60 %).

Система кондиционирования воздуха  
– (СКВ) - предназначена для  
борьбы с избыточными  
тепловлаговыведениями и  
выделениями углекислого газа от  
людей

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКВ

- Объект кондиционирования – строительные размеры и объемы.
- Местонахождение здания, расчетная географическая широта, климатические данные местности (барометрическое давление, парциальное давление водяного пара в июле, средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, средняя месячная относительная влажность воздуха в 13 часов наиболее теплого месяца).
- Расчетные наружные условия для теплого и холодного периодов года (температура, удельная энтальпия и скорость ветра).

# ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ РАСЧЕТНОГО НАРУЖНОГО КЛИМАТА НА $I-d$ ДИАГРАММЕ

- Выбор расчетных наружных климатических условий проводят на основе существующих строительных норм и правил, в которых определяется степень обеспеченности внутреннего микроклимата.
- СКВ поддерживают заданные параметры внутри помещений только в пределах расчетного наружного климата и называются СКВ, рассчитываемые по параметрам Б. Эти параметры задаются нормами в виде расчетного теплосодержания (энтальпии) и расчетной температуры.
- $I$  – теплосодержание (энтальпия) [кДж/кг],  $d$  – влагосодержание [г/кг].

Построение зоны расчетного наружного климата на  $I-d$  диаграмме сводится к определению линий минимальной  $\varphi_{\min}$  и максимальной  $\varphi_{\max}$  относительных влажностей, линий постоянного теплосодержания наружного воздуха для теплого  $I_H^{\text{Т.П.}}$  и холодного  $I_H^{\text{Х.П.}}$  периодов года (положение точек  $H^{\text{Т.П}}$  и  $H^{\text{Х.П}}$ ) и линии расчетного максимального влагосодержания, ограничивающих расчетную зону  $d_p^{\max}$  (рис.1), что позволяет более правильно наметить схему обработки воздуха.

Минимальная относительная влажность наружного воздуха  $\phi_{\min}$ , ограничивающая слева на  $I-d$  диаграмме зону расчетного климата (см. рис.1), принимается равной 20 % – для очень сухого климата и 30 % – для всех остальных местностей.

Значение максимальной относительной влажности  $\phi_{\max}$ , ограничивающей справа на  $I-d$  диаграмме зону расчетного климата, рекомендуется принимать в зависимости от степени влажности климата данной местности:

- в прибрежных районах – 95 %, для районов с континентальным климатом – 90 %,
- для районов с резко выраженным континентальным климатом (Средняя Азия) – 70 %.

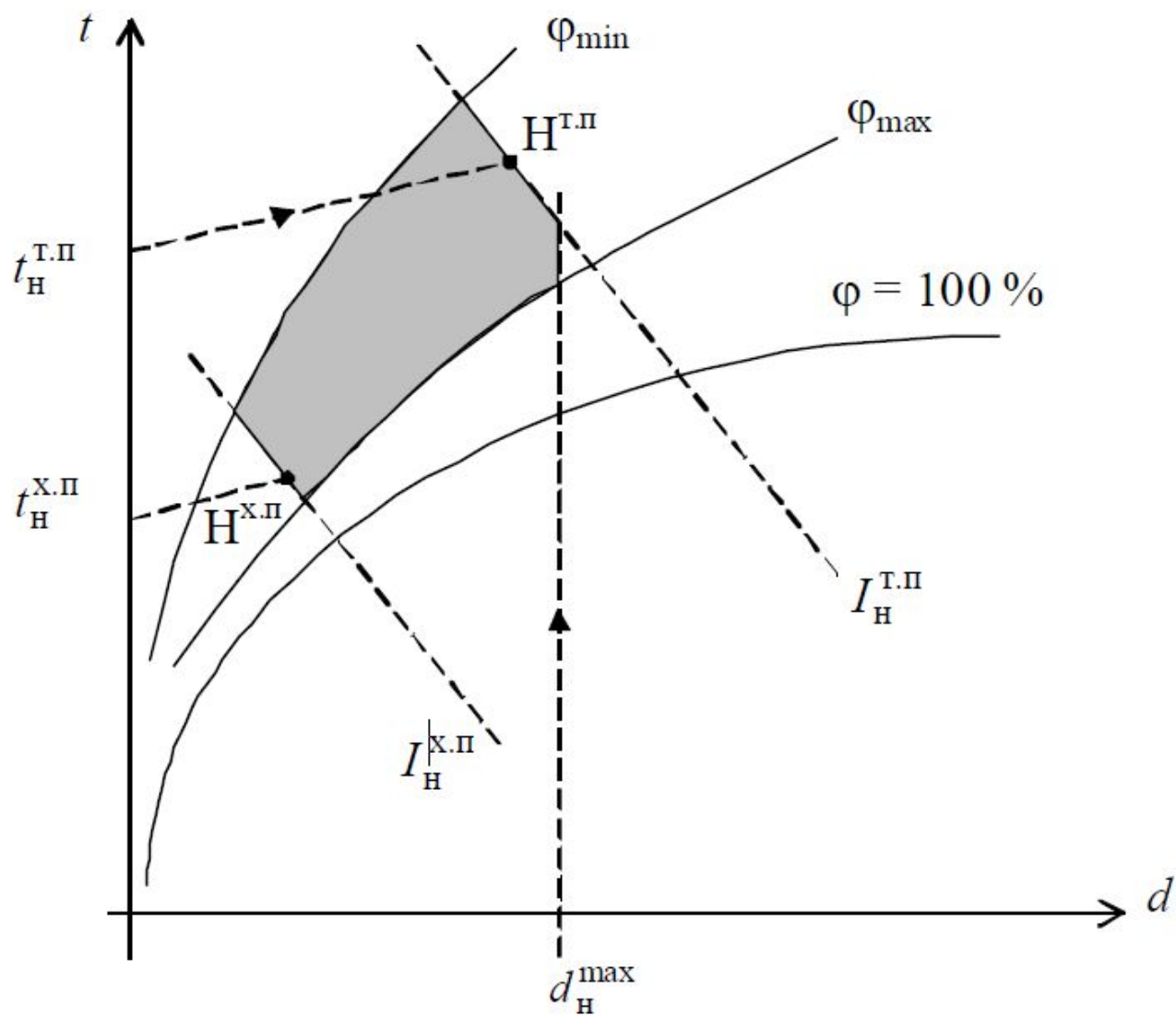


Рис. 1. Построение зоны расчетного наружного климата на  $I-d$  диаграмме



Рассчитаем максимальное влагосодержание, г/кг сухого воздуха:

$$d_p^{\max} = d_{\text{срм}} + (2 \div 3)$$

ИЛИ

$$d_p^{\max} = \frac{622 \cdot P_{\text{п}}}{(P_{\text{б}} - P_{\text{п}})} + (2 \div 3)$$

Где  $d_{\text{срм}}$  – среднемесячное влагосодержание наружного воздуха, принимается как более высокое за июль или август по абсолютной влажности, г/кг сухого воздуха;  $P_{\text{б}}$  – барометрическое давление, гПа;  $P_{\text{п}}$  – среднемесячное парциальное давление водяного пара (упругость водяного пара наружного воздуха) в июле, гПа.

Расчетное максимальное влагосодержание, таким образом, устанавливается из максимального среднемесячного путем прибавления 2 или 3 г на 1 кг сухого воздуха. Это необходимо, так как в течение суток влагосодержание не остается постоянным. Большую цифру (3 г/кг сухого воздуха) следует прибавлять при проектировании СКВ во влажном климате и меньшую (2 г/кг сухого воздуха) – в континентальном.

Исходными данными для построения процессов кондиционирования воздуха в холодный период являются:

- расчетные параметры наружного ( $t_{\text{Н}}^{\text{х.п.}}$ ,  $I_{\text{Н}}^{\text{х.п.}}$ ) и внутреннего ( $t_{\text{В}}^{\text{х.п.}}$ ,  $I_{\text{В}}^{\text{х.п.}}$ ) воздуха;
- результаты расчетов теплоступлений  $Q^{\text{х.п}}$  и влаговыделений  $W^{\text{х.п}}$ ;
- значение  $\xi^{\text{х.п}}$ ;
- температура удаляемого воздуха  $t_y$ ; расход наружного и приточного воздуха, установленный расчетом для теплого периода года, а также схема обработки воздуха в теплый период года.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО И ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМОВ В ПОМЕЩЕНИИ

Определение теплового и влажностного режимов в помещении требует тщательного учета тепловлагодоступлений от людей, оборудования, освещения, солнечной радиации и прочих источников.

Расчет производится для холодного и теплого периодов года.

# Теплый период года

Тепловыделения от людей полные (скрытые и явные),  
 $Q_{\text{л}}^{\text{ТП}}$ , Вт:

$$Q_{\text{л}}^{\text{ТП}} = q_{\text{п}} \cdot n$$

где  $q_{\text{п}}$  - полная теплота, выделяемая одним человеком, Вт (рекомендуется принимать  $q_{\text{п}}=120$  Вт для теплого и холодного периодов года, для людей не находящихся в состоянии покоя);  $n$  - число людей в расчётном объеме.

Теплопоступления от солнечной радиации через бесчердачное покрытие  $Q_{\text{ср}}$ , Вт:

$$Q_{\text{ср}} = q_{\text{ср}} \cdot F_{\text{з}}$$

где  $F_3$  - площадь покрытия,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{ср}}$  - количество теплоты, вносимое солнечной радиацией на  $1 \text{ м}^2$  поверхности покрытия,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ; принимается при географической широте  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $55^\circ$  и  $65^\circ$  соответственно 23, 21, 17,5 и 14; при наличии чердака  $q_{\text{ср}} = 6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .  
Широта г. Новосибирск –  $55^\circ$

Если необходимо использовать кондиционер с открытым окном, то нужно учесть:

- Теплопоступления от солнечной радиации увеличивают на 19 – 27%.
- При этом увеличивается потребление электроэнергии на 9 – 15% - основная причина запрета использования кондиционера при открытом окне в коммерческих организациях.
- При больших тепловых потоках через окно кондиционер не сможет охладить воздух до заданной температуры, кондиционер будет работать без остановки в режиме перегрузки и окно надо обязательно будет закрыть.

# Тепловыделения от бытового

оборудования  
Тепловыделения от бытового оборудования ( $Q_{\text{быт.об.}}$ ) составляет примерно 30% от потребляемой им мощности сети 220В. К примеру:

- компьютер портативный до 0.45 кВт;
- ксерокс до 0.65 кВт;
- офисный принтер (лазерный) до 0,45 кВт;
- телевизор до 0,25 кВт;

Тепловыделения от бытовой техники на кухне

- Кофеварка с греющей поверхностью – 300 Вт
- Кофемашина и электрочайник – 900-1500 Вт
- Электроплита – 900-1500 Вт на 1 м<sup>2</sup> верхней поверхности
- Газовая плита – 1800-3000 Вт 1 м<sup>2</sup> верхней поверхности
- Фритюрница – 2750-4050 Вт
- Тостер – 1100-1250 Вт
- Вафельница – 850 Вт
- Гриль – 13500 Вт на 1 м<sup>2</sup> верхней поверхности
- При наличии вытяжного зонта, теплоступления от плиты делятся на 1,4.  
При определении мощности кондиционера считают, что приборы включают в быту не одновременно - берется максимальная для данной кухни возможная комбинация по мощности. Например: три конфорки на электрической плите и микроволновая печь.

Суммарные тепловыделения в теплый период года , Вт:

$$Q_{\text{изб}}^{\text{ТП}} = Q_{\text{л}}^{\text{ТП}} + Q_{\text{ср}} + Q_{\text{быт.об.}}$$



Влаговыведения от людей,  $W^{тп}$ , кг/ч:

$$W^{тп} = w^{тп} \cdot n$$

где  $w^{тп}$  — влаговыведения одним человеком в теплый период года, г/ч, принимается по табл. 1 для человека, находящегося в состоянии покоя.

Выделение углекислого газа ( $CO_2$ )  $G_{CO_2}^{тп}$ , кг/ч:

$$G_{CO_2}^{тп} = g_{CO_2} \cdot n$$

где  $g_{CO_2}$  выделение  $CO_2$  одним человеком, г/ч, зависит от категории работ и принимается согласно табл.1.

Плотность  $CO_2$  при н.у. составляет 1,98 кг/м<sup>3</sup>=1980 г/м<sup>3</sup>.

1 литр = 0,001 м<sup>3</sup>.

# Таблица 1

Количество теплоты, влаги и CO<sub>2</sub>, выделяемых человеком\*

Параметры	Значения параметров при температуре воздуха в помещении, °С				
	15	20	25	30	35
<b>Состояние покоя</b>					
Теплота, Вт:					
явная	120	90	60	40	10
полная	145	120	95	95	95
Влага, г/ч	30	40	50	75	115
CO <sub>2</sub> , л/ч	23	23	23	23	23
<b>Легкая работа</b>					
Теплота, Вт:					
явная	120	100	65	40	5
полная	160	150	145	145	145
Влага, г/ч	55	75	115	150	200
CO <sub>2</sub> , л/ч	25	25	25	25	25
<b>Работа средней тяжести</b>					
Теплота, Вт:					
явная	135	105	70	40	5
полная	210	205	200	200	200
Влага, г/ч	110	140	185	230	280
CO <sub>2</sub> , л/ч	35	35	35	35	35
<b>Тяжелая работа</b>					
Теплота, Вт:					
явная	165	130	95	50	10
полная	290	290	290	290	290
Влага, г/ч	185	240	295	355	415
CO <sub>2</sub> , л/ч	45	45	45	45	45

\* В таблице приведены данные для взрослого мужчины; для ребенка принимают 75 % и для женщины – 85 % от приведенных тепловлагодоступлений.

Величина углового коэффициента луча процесса изменения состояния воздуха в помещении в теплый период  $\xi^{\text{ТП}}$ , кДж/(кг влаги), определяется как:

$$\xi^{\text{ТП}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}^{\text{ТП}}}{W^{\text{ТП}}}$$

# Холодный период года

Тепловыделения от людей полные (скрытые и явные),  $Q_{л}^{ХП}$ , Вт:

$$Q_{л}^{ХП} = q_{п} \cdot n$$

Рекомендуется поддерживать дежурное отопление  $t_{деж} = +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , и нагревать воздух в помещении за счет тепловыделений от людей.

Таким образом теплотери в помещении компенсируются тепловыделениями от людей.

Для этого определяются теплопотери помещения  $Q_{\text{деж.от.}}$ , Вт, от  $t_{\text{деж}}$  до нормируемой температуры воздуха  $t_{\text{в}}$ :

$$Q_{\text{деж.от}} = q_{\text{от}} \cdot (5 - t_{\text{нрo}}) V_{\text{з}}$$

где  $q_{\text{от}}$  — удельная отопительная характеристика здания, Вт/м<sup>3</sup>, рекомендуется принимать от 0,4 до 0,5 Вт/м<sup>3</sup>, из справочных данных;

5 °С - минимальная температура воздуха в помещении, поддерживаемая дежурным отоплением;

$t_{\text{н.р.о}}$  — наружная расчетная температура для проектирования отопления, принимается равной  $t_{\text{н}}^{\text{ХП}}$ , °С.

Для ХПГ теплопотери  $Q_{\text{теп.п}}^{\text{ХП}}$  удобнее рассчитывать отдельно - для стен, пола и потолка через градусосутки отопительного периода для заданного города. Причем теплопотери через пол

В ряде случаев, в высоких зданиях с большой площадью остекления, кондиционирование бывает необходимо уже в марте, когда отопительный сезон еще не закончен. В этом случае в расчете необходимо учитывать теплоизбытки от системы отопления, которые можно принять равными 80-125 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади. В этом случае надо учитывать не теплопоступления от внешних стен, а теплопотери, которые можно принять равными 18 Вт на 1 м<sup>2</sup>.

Суммарные теплоступления в холодный период года, Вт:

$$Q^{\text{хп}} = Q_{\text{л}}^{\text{хп}} - (Q_{\text{теп.п}}^{\text{хп}} - Q_{\text{деж от}}) + Q_{\text{быт.об.}}$$

Влаговыведения от людей:

$$W^{\text{хп}} = w^{\text{хп}} \cdot n$$

где  $w^{\text{хп}}$  — влаговыведения одним человеком в холодный период года, рекомендовано принимать  $w^{\text{хп}}=30$  г/ч.

Выделение углекислого газа ( $\text{CO}_2$ )  $G_{\text{CO}_2}^{\text{ХП}}$ , кг/ч:

$$G_{\text{CO}_2}^{\text{ХП}} = G_{\text{CO}_2}^{\text{ТП}}$$

Величина коэффициента  $\xi^{\text{ХП}}$ , кДж/(кг влаги), определяется как:

$$\xi^{\text{ХП}} = \frac{3,6 \cdot Q^{\text{ХП}}}{W^{\text{ХП}}}$$



# ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В КОНДИЦИОНЕРЕ НА I-D ДИАГРАММЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Построение процессов обработки воздуха в кондиционере на I-d диаграмме осуществляется для теплого и холодного периодов года. Наибольшие тепловые избытки в помещениях гражданских зданий имеют место в теплый период года при параметрах Б (в теплый период года, при расчете отопления), поэтому расход необходимого приточного воздуха  $G_{\Pi}^{\text{ТП}}$  и подбор кондиционера осуществляется для теплого периода года в целях устойчивой работы аэродинамики оборудования СКВ.

# Построение процессов обработки воздуха на $I-d$

**диаграмме для теплого периода года**  
Возможны два варианта построения процессов в зависимости от схемы обработки воздуха в СКВ.

**Пример 1.** Политропическое охлаждение наружного воздуха с применением холодильной машины без рециркуляции (рис. 2).

***ВАЖНО! Политропный процесс, политропический процесс — термодинамический процесс, во время которого удельная теплоёмкость газа остаётся неизменной.***

- 1) Определяем параметры наружного и внутреннего воздуха, положение точек Н и В. Положение точки Н определено ранее (см. рис.1). Точка В находится на пересечении линий  $\varphi_B^{\text{ТП}} = 60\%$  и  $t_B^{\text{ТП}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ .
- 2) Через точку В проводим луч процесса  $\xi_{\text{ТП}}$ .
- 3) Из точки В опускаемся на  $1\text{ }^\circ\text{C}$  по  $d_B = \text{const}$  (учитываем нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах), получаем точку В' и проводим линию, параллельную лучу процесса, до пересечения с  $\varphi = 90\div 95\%$  - точка К, которая определяет состояние воздуха после обработки в увлажнительной секции.

Значение влажности воздуха на выходе из увлажнительного блока зависит от типа или вида применяемого увлажнителя. Рекомендуется при расчете принимать  $\phi_k = 90 \%$ .

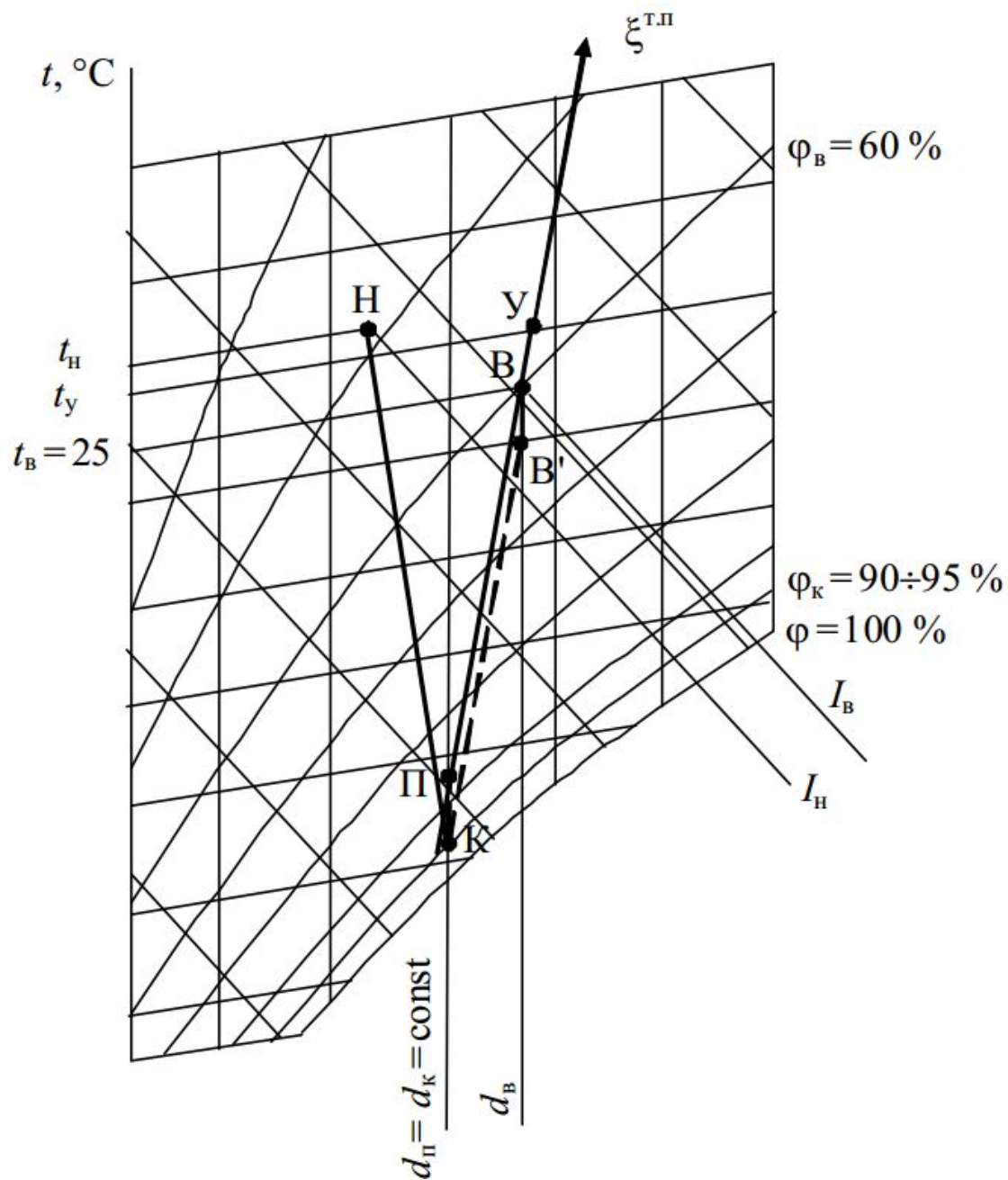
4) Точка П определяет параметры приточного воздуха перед поступлением в помещение. Для определения ее положения необходимо из точки К подняться по  $d_k = \text{const}$  до пересечения с  $\xi_{\text{ТП}}$ .

5) Точка У характеризует параметры удаляемого воздуха и находится на  $1...1,5$  °С выше В на луче процесса в зависимости от градиента температуры и высоты вытяжной решетки.

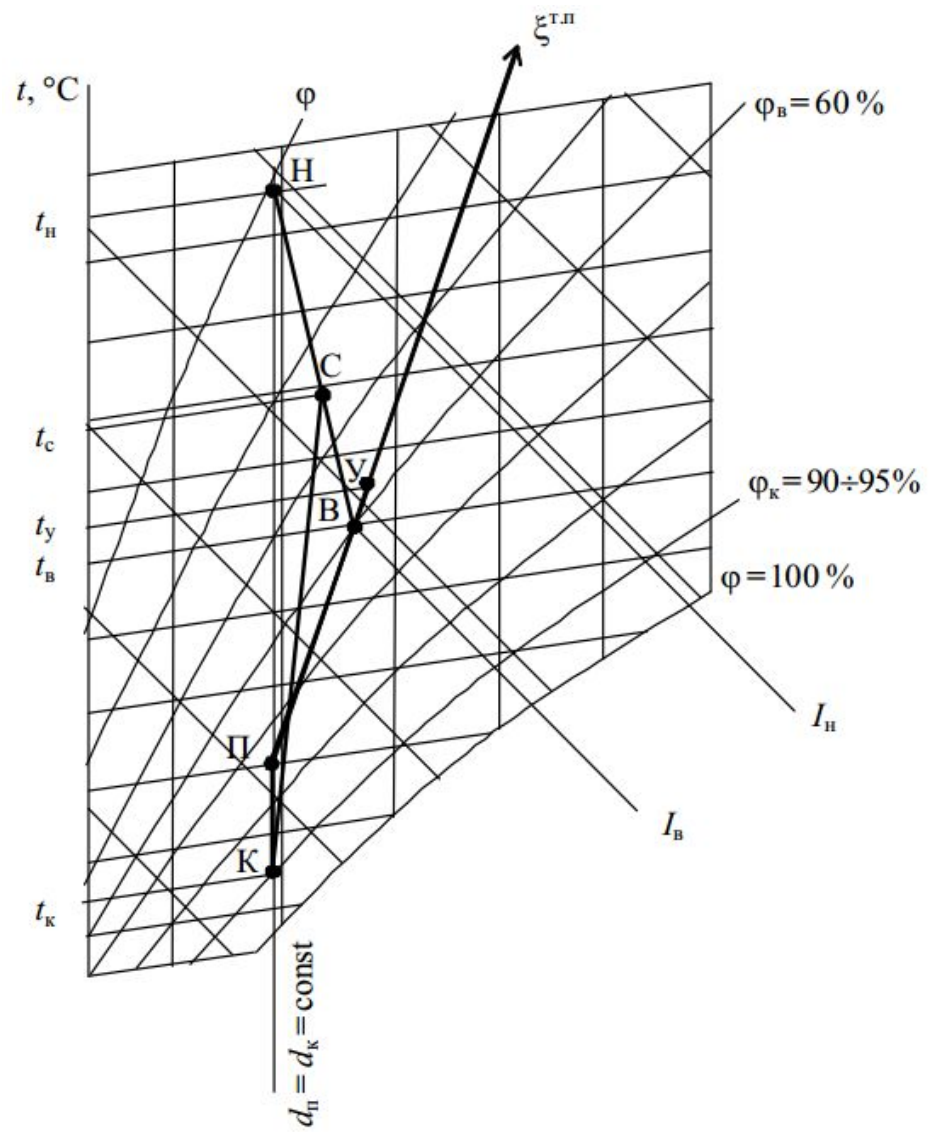
Таким образом, построенные на  $I-d$  диаграмме процессы обработки воздуха в кондиционере характеризуют следующее:

- НК - политропическое охлаждение наружного воздуха в увлажнительной секции СКВ;
- КП - нагревание воздуха в вентиляторе и воздуховодах;
- ВУ - нагрев воздуха в верхней зоне зала;
- ПВУ - изменение состояния приточного воздуха в помещении, характеризуемое лучом процесса  $\xi^{ТП}$ .

Рис. 2 - Построение процессов обработки воздуха в СКВ на I-d диаграмме в теплый период года при политропическом охлаждении наружного воздуха



**Пример 2.** Политропическое охлаждение смеси наружного и рециркуляционного воздуха с применением холодильной машины (см. раздаточный материал)





- Определяем положение точек Н и В.
- Через точку В проводим луч процесса  $\xi^{ТП}$ .
- Соединяем точки В и Н, получаем линию, по которой идет процесс смешения наружного и рециркуляционного воздуха.
- Определяем положение точки С, исходя из условия, что отрезок ВС > 0,1 НВ; можно принять  $BC = (0,35 \div 0,4) НВ$ .
- Находим точку К, расположенную на линии  $\phi_k = 90 \div 95 \%$  и  $t_k$ . Температуру  $t_k$  назначаем такой, что бы построенная далее точка П оказалась «ЛЕВЕЕ» и «НИЖЕ» точки В по лучу процесса  $\xi^{ТП}$ . Точка К будет характеризовать состояние приточного воздуха после обработки в увлажнительной секции.
- Определяем положение точки П, которая находится на луче процесса  $\xi^{ТП}$  и  $d_k = \text{const}$ .
- Строим точку У.
- Таким образом, построенные на  $l-d$  диаграмме процессы обработки воздуха в кондиционере характеризуют следующее:  
НС и ВС - смешение наружного и рециркуляционного воздуха;  
СК - политропическое охлаждение смеси воздуха;  
КП - нагревание воздуха в вентиляторе и воздуховодах;  
ПВУ - изменение состояния приточного воздуха в помещении.

После построения процессов обработки воздуха в теплый период года по одному из двух приведенных выше вариантов составляется таблица.

Параметры воздуха в теплый период года	Н	В	С	П	У	К
Температура $t$ , °С						
Относительная влажность $\phi$ , %						
Влагосодержание $d$ , г/кг						
Энтальпия $l$ , кДж/кг						
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>						

# Определение расчетного воздухообмена при отсутствии рециркуляции

После определения параметров приточного воздуха в теплый период года можно определить расчетный воздухообмен помещения, т. е. расход приточного воздуха, который необходимо подать, **при отсутствии рециркуляции.**

Расчет воздухообмена  $G_{\Pi}^{\text{ТП}}$ , кг/ч, производится по избыткам полной теплоты в теплый период года  $Q_{\text{Изб}}^{\text{ТП}}$ .

$$G_{\Pi}^{\text{ТП}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{Изб}}^{\text{ТП}}}{I_{\text{У}}^{\text{ТП}} - I_{\Pi}^{\text{ТП}}}$$

Где  $I_{\text{У}}^{\text{ТП}}$  и  $I_{\Pi}^{\text{ТП}}$  теплосодержания удаляемого и подаваемого объемов воздуха

# Определение количества воздуха, необходимого при рециркуляции

● Количество рециркуляционного воздуха  $G_{\text{рец}}$ , кг/ч, определяется по формуле

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{п}} - G_{\text{нар}}$$

где  $G_{\text{нар}}$  - количество наружного воздуха для удаления избытков  $\text{CO}_2$ , кг/ч.

Минимальное количество необходимого для борьбы с  $\text{CO}_2$  воздуха  $G'_{\text{нар}}$ , кг/ч, при условии, что концентрация газа не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК):

$$G'_{\text{нар}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{\text{ПДК} - C_{\text{н}}}$$

где  $G_{\text{CO}_2}$  - выделение  $\text{CO}_2$  в помещении; принимается из расчета теплового и влажностного режимов помещения, кг/ч;  $C_{\text{н}}$  - концентрация  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе,  $C_{\text{н}} = 0,75$  г/кг; ПДК=3 г/кг.

Плотность  $\text{CO}_2$  при н.у. составляет  $1,98 \text{ кг/м}^3 = 1980 \text{ г/м}^3$ .

1 литр =  $0,001 \text{ м}^3$ .

При этом необходимо учитывать рекомендации строительных норм и правил, согласно которым для определенных видов помещений количество наружного воздуха  $G''_{\text{нар}}$ , кг/ч, должно составлять не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на 1 человека (табл. 2):

$$G''_{\text{нар}} = 20 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot n$$

где  $\rho_{\text{н}}$  - плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}^{\text{ТП}}}$$

$t_{\text{н}}^{\text{ТП}}$  - температура наружного воздуха в теплый период года, °С (принимается

из исходных данных);

$n$  – количество человек.

В расчете необходимо выбрать наибольшее значение из  $G'$  и  $G''$ .

Таблица 2 - Минимальный расход, м<sup>3</sup>/ч, наружного воздуха на 1 человека

Помещения (участок, зона)	Помещение	
	с естественным проветриванием	без естественного проветривания
1	2	3
Производственные	30	60
Общественные и административного назначения*	40	60 20**
Жилые общей площадью квартиры на 1 чел.: более 20 м <sup>2</sup> менее 20 м <sup>2</sup>	30  3 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> жилой площади	60
<p>* Норма наружного воздуха приведена для рабочих помещений кабинетов, офисов общественных зданий административного назначения. В других помещениях общественного назначения норму наружного воздуха следует принимать по требованиям соответствующих нормативных документов.</p> <p>** Для помещений, в которых люди находятся не более двух часов непрерывно.</p> <p>Примечание - Нормы установлены для людей, находящихся в помещении более двух часов непрерывно.</p>		

### Пример 3

● Определить расход приточного воздуха и построить процессы обработки воздуха при политропическом охлаждении в теплый период года для кинозала на 400 мест в г. Калуге (56° С.Ш.) **без применения рециркуляции** при кондиционировании (Параметры Б). Рассчитать кратность воздухообмена.

#### Исходные данные

Параметры наружного и внутреннего воздуха принять согласно СНиП 02.04.05-91\*.

Относительная влажность воздуха  $\varphi_B^{ТП} = 60\%$ .

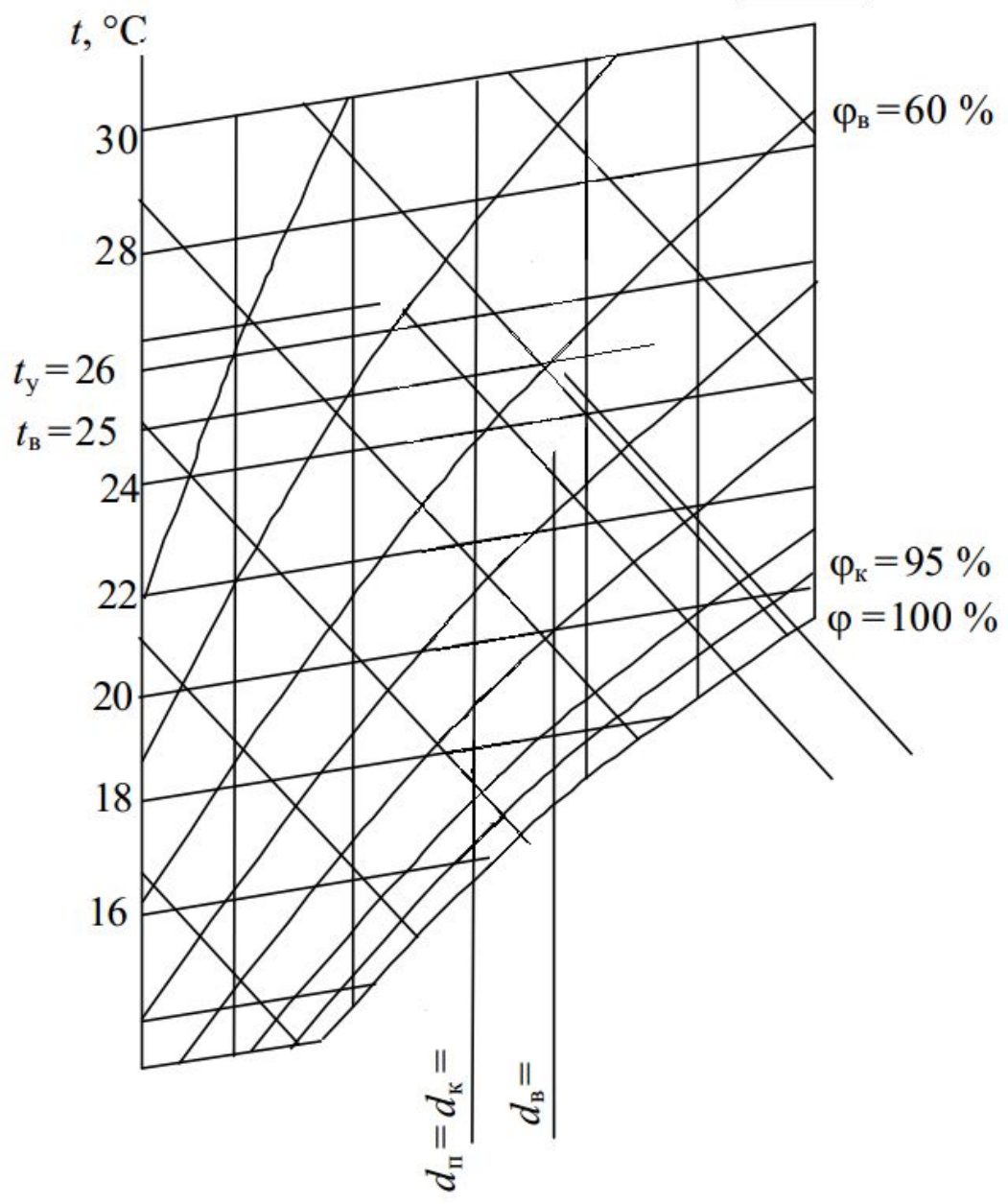
Избыточные полные тепlopоступления в зале:

- От оборудования  $Q_{\text{изб.об.}}^{ТП} - 34800$  Вт,
- От людей  $Q_{\text{л}}^{ТП}$  и солнечной радиации  $Q_{\text{ср}}^{ТП}$  – рассчитать;

Определить расход наружного воздуха  $Q_{\text{нар}}^{\text{п}}$ .

Объем зала –  $2970 \text{ м}^3$ , площадь крыши без чердака  $150 \text{ м}^2$ .

•  $\xi^{т.п} =$  \_\_\_\_\_ кДж/кг





- 1) Наносим точку **Н**, характеризующую состояние наружного воздуха ( $t_{\text{Н}} = 26,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $i^{\text{ТП}}_{\text{Н}} = 53,6 \text{ кДж/кг}$ ).
- 2) Наносим точку **В** ( $t_{\text{В}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi^{\text{ТП}}_{\text{В}} = 60 \%$ ), характеризующую состояние внутреннего воздуха.

3) Определяем количество влагопоступлений  $W^{тп}$  (г/ч) от людей по табличным данным.

Рассчитываем теплопоступления  $Q_{изб}^{тп}$ .

Вычисляем тепловлажностное отношение, по формуле:

$$\xi^{тп} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}^{тп}}{W^{тп}}$$

4) Через точку В проводим луч процесса  $\xi^{\text{ТП}}$ . Строим точку У.

5) Из точки В опускаемся на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (учитывая нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах) по  $d_B = \text{const}$  (учитываем нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах), получаем точку В' и проводим линию, параллельную лучу процесса, до пересечения с  $\phi = 95\%$  - точка К, которая определяет состояние воздуха после обработки в увлажнительной секции (оросительной камере).

6) Для определения положения точки П необходимо подняться по  $d_K = \text{const}$  до пересечения с  $\xi^{\text{ТП}}$ . Находим  $I_{\text{П}}^{\text{ТП}}$  на диаграмме.

7) Расход приточного воздуха в случае отсутствия рециркуляции ведется по тепло- и влагоизбыткам:

$$G_{\text{п}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}^{\text{тп}}}{I_{\text{у}}^{\text{тп}} - I_{\text{п}}^{\text{тп}}}$$

8) Определяем кратность воздухообмена  $K$ .

9) Параметры воздуха сводим в таблицу состояний воздуха.

Параметры воздуха в теплый период года	Н	В	С	П	У	К
Температура $t$ , °С						
Относительная влажность $\phi$ , %						
Влагосодержание $d$ , г/кг						
Энтальпия $l$ , кДж/кг						
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>						



# Пример 4. Построение I-d диаграммы для холодного периода года

Построить процессы обработки воздуха в СКВ в холодный период года для кинозала в г. Новороссийске. Для сокращения энергозатрат на нагревание наружного воздуха в СКВ применяется **рециркуляция**.

Параметры наружного воздуха: температура  $t_{\text{Н}}^{\text{ХП}} = -13 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $I_{\text{Н}}^{\text{ХП}} = -10,5 \text{ кДж/кг}$ .

Параметры внутреннего воздуха: температура  $t_{\text{В}}^{\text{ХП}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
относительная влажность воздуха  $\varphi_{\text{В}}^{\text{ХП}} = 40 \text{ \%}$ .

Суммарные теплоступления в холодный период года  $Q^{\text{ХП}} = 35\,200 \text{ Вт}$ , количество влагопоступлений  $W^{\text{ХП}} = 16\,000 \text{ г/ч}$ , объем зала -  $1890 \text{ м}^3$ .

**Рассчитанное количество приточного воздуха в теплый период года  $G_{\text{П}}^{\text{ТП}} = 35\,950 \text{ кг/ч}$ .**

- 1) Определяем положение точек Н и В по исходным данным.
- 2) Вычисляем тепловлажностное отношение по формуле:  $\xi^{ХП} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}^{ХП}}{W^{ХП}}$
- 3) Через точку В проводим луч процесса  $\xi^{ХП}$ .
- 4) Определяем параметры приточного воздуха, положение точки П на луче процесса  $\xi^{ХП}$ :
- 5) 
$$I_{П} = I_{В} - \frac{3,6 \cdot Q_{изб}^{ХП}}{G_{П}}$$
- 6) Соединяем точки В и Н.
- 7) Из точки П по линии  $d_{п} = \text{const}$  проводим прямую до пересечения с  $\varphi_{к} = \text{const}$ , получаем точку К, которая характеризует состояние смеси наружного и рециркуляционного воздуха на выходе из оросительной камеры.
- 8) Из точки К по линии  $I_{к} = \text{const}$  находим положение точки С на линии смеси НВ наружного и рециркуляционного воздуха. СК - адиабатическое увлажнение воздуха в оросительной камере.
- 9) Параметры воздуха сводим в таблицу состояний воздуха.



$\xi^{x.п} = \text{--- кДж/кг}$

