

Б. М. ТОРГОВНИКОВ
В. Е. ТАБАЧНИК
Е. М. ЕФАНОВ

ПРОЕКТИ- РОВАНИЕ ПРОМЫШ- ЛЕННОЙ ВЕНТИ- ЛЯЦИИ

справочник

УДК 697

Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М. — Киев: Будівельник, 1983. — 256 с.

В справочнике освещены основные вопросы решения вытяжной и приточной вентиляции в промышленных зданиях с вредными выделениями паров, пыли, газов, также с избыточным тепловыделением. Дана методика аэродинамического расчета систем вентиляции общепромышленного назначения, систем пневмотранспорта и аспирации, подбора оборудования для вентиляции и отопления помещений. Изложены рекомендации по охране воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами. Нормативные материалы приведены по состоянию на 30 марта 1983 г.

Рассчитан на инженерно-технических работников проектных и эксплуатационных организаций.

Табл. 202. Ил. 111. Библиогр.: с. 252—254.

Рецензенты: инженеры Г. Е. Бем, А. Н. Костромин

Редакция литературы по коммунальному хозяйству
Зав. редакцией инж. О. Т. Кушка

Борис Маркович Торговников, канд. техн. наук,
Виктор Ефимович Табачник, Евгений Михайлович Ефанов, инженеры

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Справочник

Редактор А. Г. Гриценко
Обложка художника Б. М. Бойко
Художественный редактор Н. Г. Аникина
Технический редактор О. Г. Шувальженко
Корректоры Е. В. Фирман, Л. А. Кондратенко.

Информ. бланк № 1785

Сдано в набор 17.12.82. Подп. в печ. 06.05.83. БФ 03798 Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 3. Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 16. Усл. кр.-отт. 16,31. Уч.-изд. л. 20. Тираж 20 000 экз. Изд. № 25. Заказ № 2—1740. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Будівельник», 252053, Киев-53, Обсерваторная, 25.

Киевская фабрика печатной рекламы им. XXVI съезда КПСС, 252067, Киев-67, Выборгская, 84.

3206000000-040

М203(04)-83

70.83

© Издательство «Будівельник», 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

В принятых XXVI съездом КПСС «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусмотрены дальнейший рост капитального строительства, реконструкция действующих предприятий, увеличение мощности и интенсификация производства. В соответствии с этим в одиннадцатой пятилетке получают дальнейшее развитие такие отрасли промышленности, как энергетика, горнодобывающая и перерабатывающая, металлургия, стройиндустрия, нефтехимическая, машиностроение и др. Вместе с тем предусматривается дальнейшее улучшение условий, охраны труда и промышленной санитарии.

В нашей стране наряду с непрерывным ростом и интенсификацией производства воздушная среда в цехах постоянно улучшается. Поставленная партией в качестве программной задача создания условий труда, исключающих травматизм и профессиональные заболевания, успешно выполняется. Большое значение при этом имеет улучшение проектирования вентиляции и отопления цехов, а также повышение качества изготовления, монтажа и наладки вентиляционных установок.

Промышленная вентиляция и отопление оказывают непосредственное воздействие на производительность труда, качество выпускаемой продукции, охрану воздушного бассейна и в конечном итоге на экономику предприятий. Поэтому возросшие требования к организации вентиляции цехов нашли отражение в СНиП II-33-75, ГОСТ 12.1.005—76, технических условиях по повышению теплозащитных свойств ограждающих конструкций и других нормативных документах.

При написании справочника использованы новые методические и нормативные разработки, а также описание перспективного оборудования, освоенного промышленностью.

Многообразие технологических процессов и объемно-планировочных решений не позволяет охватить все виды производств, поэтому в справочнике даны рекомендации и описание вентиляции и отопления отдельных цехов, наиболее распространенных во всех отраслях промышленности. Используя эти материалы, можно по аналогии решать задачи и для других производств.

Главы 1, 2, 3, 5, 6, 10, 11, § 8.1, 9.2 и 9.3 написаны Б. М. Торговниковым (§ 2.2 — совместно с Е. М. Ефановым), главы 4, 7, § 8.2—8.4 и 9.1 написаны В. Е. Табачником (§ 4.1 — совместно с Е. М. Ефановым).

1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ

1.1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУХА

Расчетные параметры наружного воздуха принимают по СНиП II-33-75. Если отсутствуют данные о пункте, где проектируется объект, и нет похожих климатических условий для ближайшего пункта, то параметры принимают по СНиП II-A.6-72. Кроме того, по этим нормам принимают энтальпию, скорость и направление ветра для любого из 12 месяцев.

Периоды года подразделены на теплый со среднесуточной температурой воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$, холодный — ниже $+10^{\circ}\text{C}$ и переходный — $+10^{\circ}\text{C}$. В помещениях цехов для теплого периода принимают среднемесячную температуру (параметры А), для холодного — среднюю температуру самой холодной пятидневки (параметры Б).

Таблица 1.1. Оптимальные параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Максимальная скорость движения, м/с
Холодный и переходный	Легкая — I	20—23	0,2
	Средней тяжести — IIa	18—20	0,2
	То же — IIб	17—19	0,3
	Тяжелая — III	16—18	0,3
Теплый	Легкая — I	22—25	0,2
	Средней тяжести — IIa	21—23	0,3
	То же — IIб	20—22	0,4
	Тяжелая — III	18—21	0,5

Примечания. 1. Относительная влажность воздуха, соответствующая минимальной максимальной температуре, составляет 60—40%. 2. При искусственном поддержании температуры (или относительной влажности и температуры) допускается повышение температуры воздуха не более чем на 2°C .

Таблица 1.2. Допустимые параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений в холодный и переходный периоды года

Категория работ	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Максимальная скорость движения, м/с	Температура, $^{\circ}\text{C}$, вне постоянных рабочих мест
Легкая — I	19—25	0,2	15—26
Средней тяжести — IIa	17—23	0,3	13—24
То же — IIб	15—21	0,4	13—24
Тяжелая — III	13—19	0,5	12—19

Примечания. 1. Максимальная относительная влажность воздуха допускается 75%. 2. В отапливаемом помещении или в помещении со значительными избытками явного тепла при площади пола на одного работающего 50—100 м^2 допускается следующее понижение температуры воздуха вне постоянных рабочих мест: при выполнении легких работ — до 12°C , средней тяжести — до 10°C , тяжелых — до 8°C . 3. При применении системы отопления и вентиляции с сосредоточенной подачей воздуха в помещениях, где производятся работы средней тяжести и тяжелые, допускается повышение скорости движения воздуха на постоянных рабочих местах до 0,7 м/с при одновременном повышении температуры на 2°C .

Таблица 1.3. Допустимые параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений в теплый период года

Категория работ	Температура, °С, в помещениях с избытками явного тепла		Максимальная относительная влажность, %	Скорость движения, м/с, в помещениях с избытками явного тепла		Температура, °С, вне постоянных рабочих мест в помещениях с избытками явного тепла	
	незначительными	значительными		незначительными	значительными	незначительными	значительными
Легкая — I Средней тяжести — IIa То же — IIб	Не более чем на 3 выше $t_{\text{ср.н}}$, но не более 28	Не более чем на 5 выше $t_{\text{ср.н}}$, но не более 28	55 (при 28 °С); 60 (при 27 °С); 65 (при 26 °С); 70 (при 25 °С); 75 (при 24 °С)	0,2—0,5 0,2—0,5 0,3—0,7	0,2—0,5 0,3—0,7 0,5—1	Не более чем на 3 выше $t_{\text{ср.н}}$	Не более чем на 5 выше $t_{\text{ср.н}}$
Тяжелая — III	Не более чем на 3 выше $t_{\text{ср.н}}$, но не более 26	Не более чем на 5 выше $t_{\text{ср.н}}$, но не более 26	65 (при 26 °С); 70 (при 25 °С); 75 (при 24 °С и ниже)	0,3—0,7	0,5—1	Не более чем на 3 выше $t_{\text{ср.н}}$	Не более чем на 5 выше $t_{\text{ср.н}}$

Примечания. 1. $t_{\text{ср.н}}$ — средняя температура наружного воздуха самого жаркого месяца в 13 ч. 2. Большая скорость движения воздуха соответствует максимальной температуре, меньшая — минимальной. 3. Если температура воздуха в помещении не выше 28 °С при выполнении легких работ и работ средней тяжести и не выше 26 °С при выполнении тяжелых работ, допускается повышение относительной влажности на постоянных рабочих местах при тепловлажностном отношении до 4186 кДж/кг на 20%, при 4186—6279 кДж/кг — на 10%. Во всех случаях относительная влажность не должна превышать 75%. 4. Для районов с температурой наружного воздуха в теплый период года по параметру А более 25 °С при работах легких и средней тяжести и 23 °С при тяжелых работах допускается превышение допустимой температуры, если сохраняется нормируемая относительная влажность: на 3 °С, но не выше 31 °С — в помещениях с незначительными избытками явного тепла; на 5 °С, но не выше 33 °С — в помещениях со значительными избытками; на 2 °С, но не выше 30 °С — в помещениях, где по условиям технологии необходимо искусственно поддерживать температуру и относительную влажность воздуха. Для тяжелых работ превышение допустимых температур следует принимать на 2 °С ниже. 5. Нижние границы допустимых температур равны температурам, указанным в табл. 1.2. 6. Для районов с повышенной относительной влажностью при расчетах воздухообмена помещений допустается принимать относительную влажность воздуха рабочей зоны в теплый период года на 10% выше.

Параметры воздуха рабочей зоны (табл. 1.1—1.3) установлены ГОСТ 12.1.005—76 с учетом избытков явного тепла, категории работы и периодов года.

Под явным понимают тепло от всех источников, воздействующее непосредственно на температуру воздуха помещения. Избытками явного тепла считают положительную разницу между поступившим явным теплом и теплопотерями при условии выполнения всех мероприятий, снижающих теплопоступления в помещении, включая местные отсосы. Если избытки явного тепла составляют 23 Вт/м³ и менее, то их считают незначительными, а более 23 Вт/м³ — значительными.

Параметры, приведенные в табл. 1.1—1.3, принимают для категорий работ по отдельным производством (табл. 1.4).

В производственных помещениях с площадью, приходящейся на одного работающего, 100 м² и более нормативные параметры (табл. 1.1—1.3) необходимо обеспечивать только на рабочих местах. При тепловом облучении работающих с интенсивностью 174—350 Вт/м² источником площадью 0,2 м², расположенным в пределах рабочего места, нормативную скорость движения воздуха надо увеличить на 0,2 м/с. При более интенсивном облучении параметры воздуха на рабочем месте принимают по табл. 4.6.

1.2. НОРМЫ ЗАПЫЛЕННОСТИ И ЗАГАЗОВАННОСТИ ВОЗДУХА

Содержание пыли и газов в воздухе рабочей зоны помещения должно быть ниже санитарных норм, указанных в ГОСТ 12.1.005—76 (табл. 1.5, 1.6). По воздействию на человека различают следующие классы опасности веществ: 1 — чрезвычай-

Таблица 1.4. Категории работ в отдельных цехах

Цехи	Категория работ
Литейные: плавильное и заливочное отделения отделения машинного литья, стержневое, сушильное	Тяжелая Средней тяжести — Пб
Кузнечно-прессовые	Тяжелая
Термические: печные залы и отделения высокотемпературного цианирования отделения низкотемпературного цианирования, печей, работающих на токах высокой частоты, и вспомогательные помещения	» Средней тяжести — Пб
С избытками влаги	То же
Гальванические и травильные	»
Окрасочные	Средней тяжести — Па
Сварочные	Средней тяжести — Пб
Изготовления железобетонных конструкций	То же
Деревообрабатывающие	»
Механические	»
Помещения для технического обслуживания транспортных средств	»
Производства, связанные с переработкой и транспортированием сыпучих материалов	»

но опасные; 2 — высокоопасные; 3 — умеренно опасные; 4 — малоопасные (СН 245-71).

В приточном воздухе содержание вредных веществ не должно превышать 30% предельно допустимой концентрации. Для пожаровзрывоопасных веществ это требование соответствует также условиям предотвращения пожара и взрыва.

Смеси некоторых вредных веществ воздействуют на организм человека односторонне и обладают эффектом суммации. Предельно допустимая концентрация (ПДК) таких веществ должна удовлетворять выражению

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1, \quad (1.1)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ — концентрация вредных компонентов смеси, мг/м³.

Объемную концентрацию вредных веществ, %, рассчитывают по формуле

$$C_0 = 10^{-4} \cdot 22,4 C_M / M, \quad (1.2)$$

где C_M — массовая концентрация газа, мг/м³; M — молекулярная масса газа.

Некоторые газы (например, азот, метан и др.) не оказывают ядовитого воздействия на человека, но могут быть опасными вследствие вытеснения кислорода. Понижение содержания кислорода на 25% по объему смертельно опасно.

Многие вредные вещества взрывоопасны. Пределы взрываемости нескольких, одновременно выделяющихся веществ, вычисляют по формуле Лешателье в зависимости от пределов взрываемости $N_1, N_2, \dots, N_n$, мг/м³, и концентраций $P_1, P_2, \dots, P_n$, % компонентов смеси:

$$N = 100 \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \quad (1.3)$$

1.3. ПОСТУПЛЕНИЕ ВЛАГИ

Влага поступает в помещение вследствие испарения, кипения и непосредственно — го выпуска пара.

В условиях неподвижного воздуха интенсивность испарения, г/ч,

$$W = 25,2 \cdot 10^3 (p_n - p_0) F / B, \quad (1.4)$$

Таблица 1.5. Предельно допустимые и взрывоопасные концентрации некоторых паров и газов (ГОСТ 12.1.005—76, [52])

Вещество	Предельно допустимая концентрация, мг/м³	Класс опасности	Пределы взрываемости			
			нижний		верхний	
			% по объему	мг/м³	% по объему	мг/м³
Предельные углеводороды						
Бутан	—	—	1,5	37,4	8,5	204,8
Гексан	—	—	1,1	39,1	6	250
Метан	—	—	2,5	16,6	15,4	102,6
Пентан	—	—	1,1	32,8	8	238,5
Пропан	—	—	2	36,6	9,5	173,8
Этан	—	—	2,5	31,2	15	186,8
Непредельные углеводороды						
Ацетилен	—	—	1,5	16,5	82	885,6
Блаугаз	—	—	4	—	8	—
Бутилен	—	—	1,7	39,5	9	209
Дивинил	100	4	2	44,8	11,5	256,9
Пропилен	10	3	2	34,8	11,1	169
Псевдобутилен	—	—	1,8	41,8	7,8	181,7
Этилен	—	—	2,7	35	35	406
Ароматические углеводороды						
Бензол	5	2	1,3	42	9,5	308
Ксилол	50	3	1	44	7,6	334
Нафталин	20	4	0,4	23,5	—	—
Пропилбензол	—	—	0,6	33	—	—
Толуол	50	3	1	38,2	7	268
Этиленбензол	—	—	0,7	32	—	—
Спирты						
Амиловый	10	3	1,2	43,5	—	—
Бутиловый	10	3	1,7	53	3	554,4
Изоамиловый	—	—	1,2	48	—	—
Изопрониловый	—	—	2,5	62,5	10,2	255
Метиловый	5	3	3,5	46,5	38,5	512
Пропиловый	10	3	2,55	63,7	9,2	230
Этиловый	1000	4	2,6	50	19	363
Альдегиды, кетоны						
Ацетон	200	4	1,6	38,6	13	314
Бензальдегид	5	3	1,3	37,6	—	—
Камфара	3	3	0,6	—	3,5	—
Метилбутилкетон	—	—	1,2	—	8	—
Метилпропилкетон	200	4	1,5	—	8,2	—
Метилэтилкетон	200	4	1,9	59,2	12	360
Параальдегид	5	3	1,3	—	3,5	—
Укусный альдегид	—	—	3,9	72,6	57	1044
Фурфурол	10	3	2	109,6	—	—
Простые и сложные эфиры						
Амилацетат	100	4	1,1	93	10	540
Бутилацетат	200	4	1,7	83	15	721
Диэтиловый эфир	300	4	1,2	38,6	51	1576
Метилацетат	100	4	3,1	133	15,6	431
Метилформат	—	—	5	—	22,7	—
Метилэтиловый эфир	1—20	2	2	—	10	—

Вещество	Предельно допустимая концентрация, мг/м³	Класс опасности	Пределы взрываемости			
			нижний		верхний	
			% по объему	мг/м³	% по объему	мг/м³
Окись этилена	1	2	3	51,7	80	1462
Пропилацетат	200	4	1,9	80	6,3	266,5
Пропилформиат	—	—	2,4	89	—	—
Этилацетат	200	4	2,2	80,4	11,4	407
Этилформиат	—	—	3,5	108	16,5	508,7

Соединения, содержащие азот и серу

Аммиак	20	4	15,5	112	27	189
Анилин	0,1	2	1,5	61	—	—
Дициан	—	—	6,6	—	42,8	—
Пиридин	5	2	1,8	—	12,5	—
Сероводород	10	2	4,3	61	44,5	628
Сероокись углерода	—	—	11,9	—	28,5	—
Сероуглерод	1	2	1	31,5	50	157,5
Этилнитрит	—	—	3	—	50	—

Нефтепродукты и другие вещества

Бензин	160—300	4	1,1—2,4	—	4,9—5,4	—
Водород	—	—	4	3,4	80	66,4
Диоксан	10	3	1,97	—	22,5	—
Керосин	300	4	1,1	—	7	—
Нефтяной газ	—	—	3,2	—	13,6	—
Окись углерода	20	4	12,5	145	75	—
Петролейный эфир	—	—	1,1	—	5,9	—
Перекись диэтила	—	—	2,34	—	—	—
Скипидар	—	—	0,73	41,3	—	—

где p_n — давление паров, кПа, насыщающих воздух при температуре поверхности воды (табл. 1.7), которое принимают по $I-d$ -диаграмме (рис. 1.1) и табл. 1.8; p_o — парциальное давление паров в окружающем воздухе, кПа; F — площадь поверхности испарения, м²; B — барометрическое давление, кПа.

При движении воздуха над источником испарения со скоростью v , м/с, с учетом температуры поверхности воды t , °C,

$$W = (6,9 + 0,4t + 13,1v) \cdot 10^3 (p_n - p_o) F / B. \quad (1.5)$$

Если испарение происходит в условиях адиабатного теплообмена с окружающим воздухом, интенсивность влаговыделений рассчитывают по формуле

$$W = 6,1 (t_c - t_m) F, \quad (1.6)$$

где t_c и t_m — температура воздуха по сухому и мокрому термометрам, °C.

При испарении с открытой поверхности воды, протекающей в цехе по желобу в количестве G , кг/ч, с начальной t_n и конечной t_k температурами, °C, интенсивность испарения

$$W = 1,67G (t_n - t_k). \quad (1.7)$$

При работе станков с использованием эмульсии выделение влаги зависит от установочной мощности $N_{уст}$, кВт:

$$W = 150N_{уст}. \quad (1.8)$$

Формулами (1.4)—(1.7) можно пользоваться, если жидкость представляет собой раствор солей с концентрацией до 25%.

Поступление влаги от людей приведено в табл. 1.9.

Таблица 1.6. Характеристика некоторых взрывоопасных пылей
(ГОСТ 12.1.005—76, [52])

Вещество	Предельно до- пустимая кон- центрация, мг/м³	Класс опас- ности	Нижний пре- дел взрывас- мости, г/м³	Вещество	Предельно до- пустимая кон- центрация, мг/м³	Класс опас- ности	Нижний пре- дел взрывас- мости, г/м³
Алюминиевый по- рошок	1	4	58	Молоко сухое	2—6	4	7,6
Антрацен	6	4	5	Мучная пыль	6	4	30,2
Галалитовая пыль	6	4	8	Нафталин	20	4	2,5
Гороховая пыль	6	4	25,2	Овсяная пыль	6	4	30,2
Дифенил	—	—	12,6	Отруби пшеничные	6	4	10,1
Древесные опилки	—	—	65	Пек	6	4	15
Жмых	2—6	4	20	Сахар свеклович- ный	6	4	8,9
Козлепи техничес- кий	2—6	4	32,8	Сенная пыль	6	4	20,2
Камфара	3	3	10,1	Сера	—	—	2,3
Каменноугольная пыль	4—10	4	114	Сернистая пыль	4	4	13,9
Канифоль	6	4	5	Сланцевая пыль	4	4	58
Кормовая пыль	2—6	4	7	Табачная пыль	3	3	10,1
Кофе	2—6	4	42,8	Торфяная пыль	6	4	10,1
Красители	1—10	3	270	Уротропин	—	—	15
Крахмал карто- фельный	2—6	4	40,3	Ферромарганец	1	3	130
Кукурузная пыль	2—6	4	37,8	Ферротитан	—	—	140
Лигнин	1—10	3	30,2	Хлопок	2—6	4	25,2
Льняная костра	2—6	4	16,7	Цинкорий	2	4	45,4
Мансовая пыль	2—6	4	12,6	Чайная пыль	3	3	32,8
Мельничная пыль серая	2—6	4	10,1	Чечевичная пыль	6	4	10,1
				Шеллак	1—10	3	15
				Эбонитовая пыль	1—10	3	7,6
				Элеваторная пыль	6	4	227
				Электродная пыль	6	4	30

Таблица 1.7. Зависимость температуры поверхности воды t , °C, от температуры
внутри сосуда $t_{в.с.}$, °C

$t_{в.с.}$, °C	t , °C	$t_{в.с.}$, °C	t , °C	$t_{в.с.}$, °C	t , °C
20	18	50	45	80	69
25	23	55	48	85	75
30	28	60	51	90	82
35	33	65	54	95	90
40	37	70	58	100	97
45	41	75	63		

В процессе кипения воды интенсивность поступления паров зависит от воспри-
нимаемой водой тепловой энергии Q , Вт:

$$W = 14,4 \cdot 10^3 Q. \quad (1.9)$$

При отсутствии данных о Q интенсивность W принимают для кипения под дей-
ствием пара, выпускаемого в воду, равной расходу пара, а для подвода тепла дру-
гим способом — приблизительно 40 000 г/ч·м² [1].

Влагопоступления в помещения снижают путем устройства укрытий и местных
отсосов. Если источник укрыт полностью, то принимают, что в помещение прорыва-
ется до 10% пара, при полуоткрытых местных отсосах — 10—15% и при полностью
открытых — 20—35% общей интенсивности влаговыведения источника.

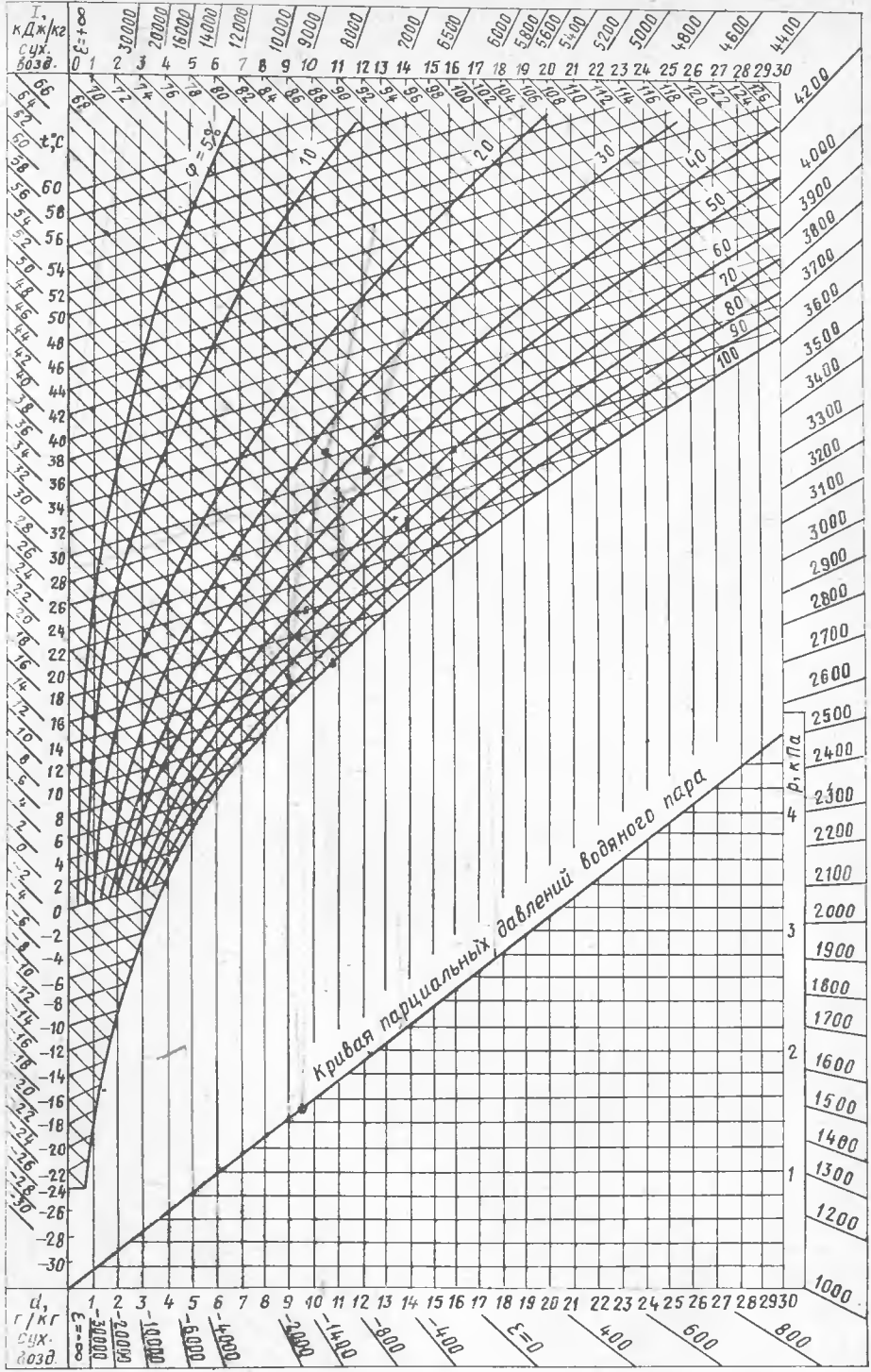


Таблица 1.8. Давление паров p_H , насыщающих воздух при нормальном атмосферном давлении и температуре поверхности воды t

$t, ^\circ\text{C}$	$p_H, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_H, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_H, \text{кПа}$
31	4,49	55	15,73	78	43,64
32	4,75	56	16,51	79	45,46
33	5,03	57	17,31	80	47,34
34	5,31	58	18,15	81	49,29
35	5,62	59	19,01	82	51,32
36	5,94	60	19,92	83	53,41
37	6,28	61	20,85	84	55,57
38	6,62	62	21,84	85	57,81
39	6,99	63	22,85	86	60,12
40	7,38	64	23,9	87	62,49
41	7,78	65	25	88	64,94
42	8,2	66	26,14	89	67,47
43	8,64	67	27,33	90	70,1
44	9,1	68	28,56	91	72,81
45	9,58	69	29,82	92	75,59
46	10,09	70	31,16	93	78,47
47	10,61	71	32,52	94	81,45
48	11,16	72	33,94	95	84,51
49	11,74	73	35,42	96	87,67
50	12,33	74	36,96	97	90,94
51	12,96	75	38,54	98	94,3
52	13,61	76	40,18	99	97,75
53	14,29	77	41,88	100	101,33
54	15				

Таблица 1.9. Выделение человеком влаги W , г/ч, явного тепла Q_a , Вт, и углекислого газа CO_2 , г/ч [32]

Категория работ	CO ₂	Температура окружающего воздуха, С										
		10		15		20		25		30		35
		W	Q _я	W	Q _я	W	Q _я	W	Q _я	W	Q _я	W
Легкие	45	40	150	55	120	70	80	125	70	140	35	235
Средней тяжести	60	70	160	110	130	160	90	180	80	230	40	290
Тяжелые	90	135	200	185	130	240	90	300	90	380	40	430

1.4. ВЫДЕЛЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

При химических реакциях интенсивность выделения вредных веществ рассчитывают по стехиометрическим соотношениям.

При зарядке аккумуляторов выделяются водород и пары серной кислоты или щелочи. Батарея в целом выделяет водород в количестве, г/ч,

$$G = 9,44 \cdot 10^{-3} E_B n_B, \quad (1.10)$$

где E_B — емкость батареи, А·ч; n_B — количество последовательно установленных аккумуляторов батареи.

При нанесении покрытий веществами, образующими при высыхании пленку (лакокрасочными материалами, клеями, смолами, связующими стеклопластиков, крем-

Рис. 1.1. $I-d$ -диаграмма влажного воздуха для давления 0,994 МПа

нийорганическими соединениями и др.), различают начальный период выделения летучих растворителей, в течение которого интенсивность испарения растет до некоторой максимальной величины, основной период, характеризуемый постоянством интенсивности, и конечный период, отличающийся падением интенсивности поступления вредных веществ.

Интенсивность выделения растворителя G , г/ч, рассчитывают с учетом коэффициентов, характеризующих период испарения (D), способ нанесения покрытия и тип установки (k_1), эффективность местного отсоса (k_2) и время, в течение которого вредные вещества испаряются с поверхности изделия непосредственно в помещение

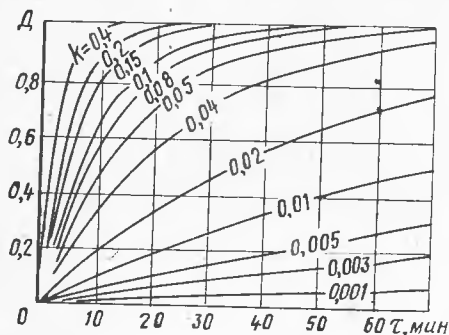


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента D от времени высыхания краски τ .

(k_3), а также с учетом расхода материала покрытия B , г/м², скорости нанесения покрытия ω , м²/ч, и процентного содержания летучих растворителей в покрытии Π , % [4, 5]:

$$G = 0,01 k_1 k_2 k_3 B \Pi D \omega. \quad (1.11)$$

Значения k_1 , k_2 , k_3 , B , Π , ω задают технологи, а множитель D принимают по графику (рис. 1.2) в зависимости от коэффициента k , который характеризует интенсивность испарения растворителя при определенных условиях и рассчитывается по формуле

$$k = k_{20} k_t k_\varphi k_v k_q k_r, \quad (1.12)$$

где k_{20} — коэффициент, мин⁻¹, характеризующий испаряемость растворителя при температуре 20 °С, относительной влажности 50–70% и обычной толщине пленки (табл. 7.14); k_t , k_φ , k_v , k_q — коэффициенты (рис. 1.3), учитывающие действительную температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и удельный расход материала покрытия; k_r — коэффициент, учитывающий расположение окрашиваемой поверхности в пространстве [для вертикальной поверхности $k_r=1$, для горизонтальной, направленной вверх — 0,7 и вниз (потолок) — 1,3].

Для предварительного решения задач рекомендуется использовать данные [22], согласно которым при испарении выделяется: летучих растворителей масляной краски — 2–5%, эмалистой краски — 5–10%, нитролаков и нитроэмалей — 25–30% полной массы лакокрасочного материала.

При свободной конвекции интенсивность испарения веществ с поверхности зависит от соотношения критериев, определяющих теплообмен, и температуры испаряющейся жидкости [66].

В процессе испарения температура поверхности жидкости становится ниже нормальной температуры окружающего воздуха (20 °С): у легколетучих веществ — на 48 (этиловый эфир) — 37 °С (ацетон); у менее летучих с температурой кипения около 80 °С (спирт, бензол, этилацетат) — на 20–25 °С; у веществ с $t_k=130\div140$ °С (хлорбензол, амилвый спирт, амилацетат) — на 6–9 °С. Вещества с температурой кипения 200 °С (анилин, нитробензол, нафталин) имеют $t_{ж}$ менее нормальной тем-

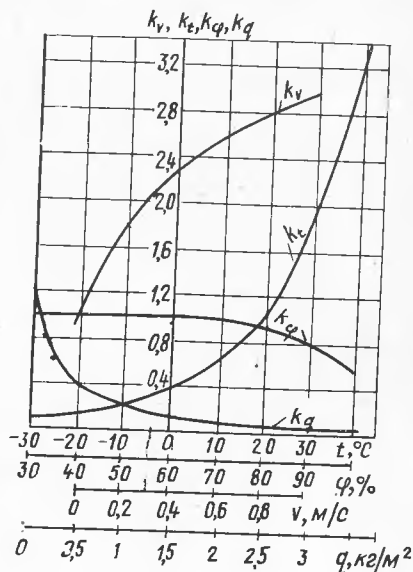


Рис. 1.3. График для определения коэффициентов k_v , k_t , k_φ и k_q .

пературы на 0,4—1,2°C; у веществ с более высокой температурой кипения (ртуть, антрацен и др.) температура поверхности жидкости равна температуре окружающего воздуха t_0 .

Для условий адиабатного теплообмена температуру поверхности жидкости $t_{ж}$, °C, определяют по уравнению, учитывающему теплоту испарения вещества r , Дж/кг, удельные теплоемкости воздуха и пара $c_{р.в}$ и $c_{р.п}$, Дж/(кг·°C), давление паров над

Рис. 1.4. Давление насыщенных паров химических чистых веществ (по В. А. Кирееву):

1 — метилсиликан; 2 — пропандиена; 3 — хлористого метила; 4 — хлористого этилена; 5 — бутадиина; 6 — хлорэтила; 7 — изопрена; 8 — метилформата; 9 — диэтилового эфира; 10 — пентана; 11 — бромэтила; 12 — хлористого метилена; 13 — сероуглерода; 14 — этилформата; 15 — хлороформа; 16 — *n*-гексана; 17 — четыреххлористого углерода; 18 — бензола; 19 — трихлорэтилена; 20 — этилацетата; 21 — дихлорэтана; 22 — фторбензола; 23 — гексана; 24 — этилпропионата; 25 — пропилацетата; 26 — толуола; 27 — тетрахлорэтилена; 28 — *n*-октана (V); 29 — *n*-октана (W); 30 — хлорбензола; 31 — бромбензола; 32 — *n*-гексана (V); 33 — *iso*-бензола; 34 — нафталина; 35 — камфары; 36 — дифенила; 37 — антрацена; 38 — аммиака; 39 — метиламина; 40 — ацетона; 41 — метилового спирта; 42 — этилового спирта; 43 — муравьиной кислоты; 44 — воды; 45 — пропилового спирта; 46 — уксусной кислоты; 47 — бутилового спирта; 48 — пропионовой кислоты; 49 — изомасляной кислоты; 50 — валериановой кислоты; 51 — *n*-бутиленгликоля; 52 — этиленгликоля; 53 — глицерина; 54 — ртути; 55 — сурьмы.

поверхностью жидкости $p_{ж}$ (рис. 1.4) и в окружающем воздухе p_0 , кПа, барометрическое давление B , кПа, и молекулярную массу паров $M_{п}$ (табл. 1.10) [66]:

$$t_{ж} = t_0 + \left[\left(1 + \frac{c_{р.п} t_0}{r} \right) p_0 - \left(1 + \frac{c_{р.п} t_{ж}}{r} \right) p_{ж} \right] \times \frac{34,5 \cdot 10^{-3} M_{п} r}{c_{р.в} (B - p_0)}. \quad (1.13)$$

При пленочном режиме испарения ($Gr \cdot Pr < 1$, $n=0$ и $Nu' = \text{const}$ в пределах до критического значения ($Gr \times Pr'_{\text{крит}} = 40$ (табл. 1.11).

В этом случае с учетом коэффициента молекулярной диффузии D , м²/с, (см. табл. 1.10) и характерного размера l , м, интенсивность выделения пара вещества, м³/ч,

$$V = 7,2 \cdot 10^3 D l (p_{ж} - p_0) / B, \quad (1.24)$$

а с учетом концентрации паров, насыщающих воздух $q_{ж}$ и находящихся в воздухе q_0 , г/м³, интенсивность выделения пара, г/ч,

$$G = 7,2 \cdot 10^3 D l (q_{ж} - q_0). \quad (1.25)$$

Если жидкость находится в сосуде на глубине h , м, то интенсивность испарения, м³/ч, с площадью F , м²,

$$V = \frac{3,6 \cdot 10^3 D F}{h} \ln \frac{B - p_0}{B - p_{ж}}. \quad (1.26)$$

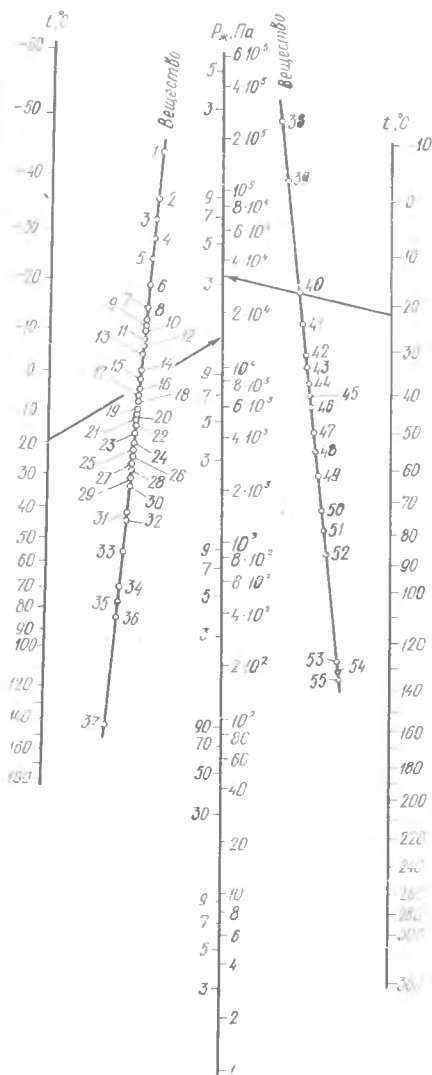


Таблица 1.10. Молекулярная масса M и значения коэффициентов D_0 и m некоторых веществ

Вещество	M	D_0 , м ² /с	m	Вещество	M	D_0 , м ² /с	m
Амиллацетат	130,2	0,052	1,87	Дихлорэтан	98,96	0,085	1,86
Аммиак	17,03	0,198	1,84	Метиловый спирт	32,04	0,129	2,08
Бензол	78,11	0,076	1,86	Окись углерода	28,01	0,149	1,72
Бутиловый спирт	74,12	0,068	1,86	Растворитель Р-4	81,7	0,077	2
Водяной пар	18,02	0,075	1,89	Ртуть	200,59	0,112	2
Дивиниловый эфир	70,09	0,077	1,84	Уксусная кислота	111,1	0,107	1,9
Диметиловый эфир	46,07	0,108	1,85	Формальдегид	30,03	0,146	1,81

При ламинарном и локонообразном режиме движения воздуха, когда $2 \cdot 10^2 < (Gr \cdot Pr') < (Gr \cdot Pr')_{\text{крит}}$, интенсивность испарения зависит от течения тепловых струй около нагретых поверхностей и $(Gr \cdot Pr')_{\text{крит}}$ соответствует $(Gr \cdot Pr)_{\text{крит}}$, так что для испарения с вертикальной стенки $(Gr \cdot Pr)_{\text{крит}} = 2,3 \cdot 10^8$, а для испарения с горизонтальной поверхности паров легче воздуха $(Gr \cdot Pr)_{\text{крит}} = 7,1 \cdot 10^5$ и тяжелее воздуха при $M_n > M_v$ (M_n и M_v — молекулярная масса пара и воздуха) $(Gr \cdot Pr)_{\text{крит}} = 1,25 \cdot 10^6$.

В критериальных уравнениях (1.21) и (1.22) $n=1,4$; при испарении с вертикальной поверхности $c=0,67$, с горизонтальной поверхности круглой или квадратной формы, если $M_n < M_v$, $c=1$, если же $M_n > M_v$, $c=0,55$. Для прямоугольных вытянутых поверхностей значение c надо умножить на 0,9.

Интенсивность испарения вредных выделений, г/ч, определяется по следующим формулам:

с вертикальной поверхности

$$G_v = 4,64 \cdot 10^{-2} Fl^{-1/4} D^{1/2} (p_{\text{ж}} M_n)^{5/4} \left[\left(1 - \frac{M_v}{M_n} \right) \right]^{1/4}; \quad (1.27)$$

с горизонтальной поверхности при $M_n < M_v$

$$G_{\text{г.м}} = 6,91 \cdot 10^{-2} Fl^{-1/4} D^{1/2} (p_{\text{ж}} M_n)^{5/4} \left(\frac{M_v}{M_n} - 1 \right)^{1/4}; \quad (1.28)$$

с горизонтальной поверхности при $M_n > M_v$

$$G_{\text{г.м}} = 3,78 \cdot 10^{-2} Fl^{-1/4} D^{1/2} (p_{\text{ж}} M_n)^{5/4} \left(1 - \frac{M_v}{M_n} \right)^{1/4}. \quad (1.29)$$

При турбулентном режиме $(Gr \cdot Pr) > (Gr \cdot Pr')_{\text{крит}}$, $n=1/3$.

При испарении с вертикальной поверхности $c=0,136$, с горизонтальной при $M_n < M_v$ — 0,18 и при $M_n > M_v$ — 0,09.

Интенсивность испарения при этих условиях, г/ч, соответственно

$$G_v = 12,42 F D^{1/3} p_{\text{ж}}^{4/3} M_n^{4/3} \left(1 - \frac{M_v}{M_n} \right)^{1/3}; \quad (1.30)$$

$$G_{\text{г.м}} = 16,42 F D^{1/3} p_{\text{ж}} M_n^{4/3} \left(\frac{M_v}{M_n} - 1 \right)^{1/3}; \quad (1.31)$$

$$G_{\text{г.м}} = 8,28 F D^{1/3} p_{\text{ж}} M_n^{4/3} \left(1 - \frac{M_v}{M_n} \right)^{1/3}. \quad (1.32)$$

При вынужденной конвекции интенсивность испарения G , г/ч, определяют с учетом скорости движения воздуха над поверхностью жидкости v , м/с:

$$G = (40,35 + 30,75v) F p_{\text{ж}} \sqrt{M_n} \quad (1.33)$$

Таблица 1.11. Основные критерии подобия

Формула	Обозначения
Критерий Рейнольдса $Re = \nu l / \nu \quad (1.14)$	ν — скорость воздуха (газа), м/с; l — характерный линейный размер, м, например, диаметр воздуховода; ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с
Критерий Фруда $Fr = g l / \nu^2 \quad (1.15)$	g — ускорение свободного падения, м/с²
Критерий Архимеда $Ar = g l \Delta t / \nu^2 (273 + t_{окр}) \quad (1.16)$	Δt — разность температур в рассматриваемой точке потока и окружающего воздуха $t_{окр}$, °С
Критерий Грасгофа $Gr = g l^3 \beta \Delta t / \nu^2 \quad (1.17)$ Для испаряющихся жидкостей $Gr' = g l^3 (\rho_o - \rho_{ж}) / \nu^2 \rho_{ж} \quad (1.18)$	$\beta = t_{ср}^{-1}$ — коэффициент объемного расширения воздуха, °С⁻¹; $t_{ср}$ — средняя температура поверхности тела и газов, обменивающихся теплом, °С; Δt — разность температур поверхностей тела и газов, °С; ρ_o и $\rho_{ж}$ — плотности окружающей газовой среды и паров на поверхности жидкости, кг/м³
Критерий Прандтля $Pr = \nu / a = \nu c_p \rho / \lambda \quad (1.19)$ Диффузионный критерий Прандтля $Pr' = \lambda / D \quad (1.20)$	$a = \lambda / c_p \rho$ — коэффициент температуропроводности, м²/с; λ — коэффициент теплопроводности сухого воздуха, Вт/(м·°С); c_p — удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, кДж/(кг·°С); $D = D_o (T/273)^m \cdot 101,325/B$ — коэффициент молекулярной диффузии, м²/с; D_o — то же, при $t=0$°С и барометрическом давлении $B=101,325$ кПа (см. табл. 1.10); $T=t+273$; m — показатель степени (см. табл. 1.10)
Критерий Нуссельта $Nu = a l / \lambda = c (Gr \cdot Pr)^n \quad (1.21)$ Диффузионный критерий Нуссельта $Nu' = \beta' l / D = c (Gr \cdot Pr')^n \quad (1.22)$	a — коэффициент теплоотдачи жидкости, Вт/(м²·°С); n — показатель степени, отражающий режим конвекции; $\beta' = G/F(q_{ж} - q_o)$ — массовая скорость испарения, м/с; F — площадь испарения, м²; G — интенсивность испарения, г/с; $q_{ж}$ и q_o — концентрация паров над источником испарения и в окружающем воздухе, г/м³; c — коэффициент, зависящий от условий эксперимента и режима конвекции
Критерий Пекле $Pe = Pr \cdot Re = \nu l / a \quad (1.23)$	

Таблица 1.12. Допустимые значения коэффициента негерметичности m [66]

Оборудование	Среда в оборудовании	Длительность испытания на герметичность, ч, при рабочем давлении	$m \cdot 10^3$
Сосуды, поршневые компрессоры, технологическое оборудование и трубопроводы, работающие под давлением токсичных и пожаровзрывоопасных газов	Токсичная	24	0,1
	Пожаровзрывоопасная	24	0,2
	Токсичная и пожаровзрывоопасная	4	0,5
Трубопроводы для горючих, токсичных и сжиженных газов*: цеховые	Токсичная и горючая	24	0,05
	Прочие горючие газы	24	0,1
	Токсичная и горючая	24	0,1
	Прочие горючие газы	24	0,2
межцеховые			

* При $d_y > 250$ мм коэффициент m умножают на $k = 250/d_y$.

Выделение паров и газов через неплотности аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением,

$$G = 37,7 \pi n p_r V_0 \sqrt{M_n / T}, \quad (1.34)$$

где $n = 1,5 \div 2$ — коэффициент запаса; m — коэффициент негерметичности (табл. 1.12); p_r — давление газов внутри аппаратуры и трубопроводов, кПа; V_0 — объем оборудования, м³; T — абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Если аппаратура и трубопроводы находятся под разрежением, то интенсивность выделения газов

$$G = 1800 f c_0 D_0^2 / v_c l_k, \quad (1.35)$$

где f — суммарная площадь сквозных пор, м²; c_0 — концентрация вредного газа в оборудовании, г/м³; D_0 — коэффициент молекулярной диффузии газа, м²/с (см. табл. 1.10); v_c — средняя скорость газа в сквозных порах, м/с; l_k — средняя длина каналов сквозных пор, м.

При перекачивании вредных веществ насосами интенсивность выделения паров и газов через сальники

$$G = 0,32 d B \sqrt{p}, \quad (1.36)$$

где d — диаметр продуктового штока, мм; p — давление, развиваемое насосом, кПа; B — опытный коэффициент, равный для высокотоксичных нефтепродуктов (полибензолы, алкилаты и др.) 5 и для бензинов, керосинов, лигроинов — 2,5.

При лабиринтном уплотнении интенсивность выделения паров

$$G = 113,84 \cdot 10^5 f \sqrt{(p_1^2 - p_2^2) p_r / n_k p_1}, \quad (1.37)$$

где f — площадь зазоров, м²; p_1 и p_2 — давление перед лабиринтом и после него, кПа; n_k — число камер лабиринта.

При работе дизелей интенсивность газовыделений

$$G = 1,36 \cdot 10^{-3} N (3K_{\text{ц}} + 30K_{\text{к}}), \quad (1.38)$$

где N — эффективная мощность двигателя, Вт; $K_{\text{ц}}$ и $K_{\text{к}}$ — концентрация газов, образующихся в цилиндре и картере, мг/л (табл. 1.13).

От карбюраторных двигателей газовыделения

$$G = 15 \cdot 10^3 (P/100) B, \quad (1.39)$$

Т а б л и ц а 1.13. Значения $K_{ц}$ и $K_{к}$, мг/л (СНиП II-93-74, [32])

Газ	$K_{ц}$	$K_{к}$	Газ	$K_{ц}$	$K_{к}$
Акролеин	0,9	0,04	Углекислый газ	0	160
Окислы азота	0,6	0	Углеводороды	0,7	0,3
Оксид углерода	0,8	1,3			

Т а б л и ц а 1.14. Содержание окиси углерода и акролеина в выхлопных газах автомобильных двигателей, % (СНиП II-93-74, [32])

Режим работы	Оксид углерода	Акролеин
Заводка, прогрев двигателя и выезд автомобиля с места стоянки	4	0,15
Въезд и маневрирование автомобиля при установке на место	2	0,13
Регулирование	4	0,15
Испытание на стенде	3	0,13

Т а б л и ц а 1.15. Масса и объем продуктов сгорания топлива при теоретической массе воздуха и барометрическом давлении 101,325 кПа [32]

Топливо	Количество продуктов сгорания 1 кг топлива с учетом влаги		Плотность продуктов сгорания, кг/м³	Теоретическая масса воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг	Нижняя теплота сгорания $Q_{н}^p$, МДж/кг
	Масса, кг	Объем, м³			
Дрова влажностью 20%	5,6—5,9	4,3—4,5	1,31	4,6	6,5
Торф воздушно-сухой влажностью 25%	5,6—6,5	4—4,7	1,38	4,9	8,5—9,2
Бурый уголь	5,6—7,8	4,3—6	1,29—1,32	4,9—7	7,4—18
Каменный уголь	10—10,5	7,8—8,5	1,36—1,37	9—9,6	14,7—29,6
Антрацит	10,6—11,5	8,1—8,9	1,39	10—10,7	23,8—26,9
Подмосковный уголь	7,3	5,4	1,36	6,5	5,9
Горючие сланцы	—	3,6	—	—	29,3—37,3
Кокс каменноугольный	9,5—11,5	6,8—8,3	1,39	8—10,4	29
Мазут	14,9	11,3	1,32	14,3	39,1—41,2
Автомобильный бензин	15,9	—	1,3	14,9	42,7
Природный газ	7,5	—	1,2	7	23,6—42,9
Генераторный газ из каменного угля	2,46	—	1,33	1,33	5,2—6,1
Генераторный газ из торфа	2,5	—	1,35	1,27	6,4
Ацетилен	0,7H ₂ O	—	—	—	56,1

где 15 — количество газов, образующихся при сжигании 1 кг топлива, кг; Π — содержание акролеина и окиси углерода в выхлопных газах, % (табл. 1.14); B — расход топлива одним мотором, кг/ч, определяемый по формулам

$$B = 0,018k \sqrt{N}; \quad B = 0,6 + 0,8V_{ц}, \quad (1.40)$$

где k — коэффициент, учитывающий режим работы двигателя (при выезде $k=1$, при въезде — 0,75); N — мощность двигателя, Вт; V_c — рабочий объем цилиндров двигателя, л.

При сжигании топлива интенсивность выделения вредных газов

$$G = 10^3 G_{\Gamma} g_{\Gamma} \quad (1.4)$$

где G_{Γ} — расход сжигаемого топлива, кг/ч; g_{Γ} — количество газов, кг, образующихся при сжигании 1 кг топлива (табл. 1.15).

Если интенсивность выделения вредных веществ невозможно рассчитать по формулам, следует прибегнуть к опытным данным (см. гл. 7). Это касается и выделения пыли при различных технологических процессах.

2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПОМЕЩЕНИЙ

2.1. РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Территория СССР характеризуется зонами влажности (СНиП II-3-79), а помещения зданий — влажностными условиями эксплуатации А и Б (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Тепловлажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций (СНиП II-3-79)

Режим эксплуатации помещения	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С			Тепловлажностные параметры А и Б (см. табл. 2.5), принимаемые для зоны влажности		
	до 12	13—24	25 и более	сухой	нормальной	влажной
Сухой	До 60	До 50	До 40	А	А	Б
Нормальный	61—75	51—60	41—50	А	Б	Б
Влажный	Более 75	61—75	51—60	Б	Б	Б
Мокрый	—	Более 75	Более 60	Б	Б	Б

Сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, равно сумме термических сопротивлений конструкции R_k с учетом коэффициентов теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$, внутренней α_v (табл. 2.2) и наружной α_n (табл. 2.3) поверхностей ограждения:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_v} + R_k + \frac{1}{\alpha_n} \quad (2.1)$$

Таблица 2.2. Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции α_v , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ (СНиП II-3-79)

Ограждающие конструкции	α_v
Стены, полы, потолки гладкие и с выступающими ребрами при отношении высоты ребер h к расстоянию между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,72
Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6

Термическое сопротивление однородного слоя ограждающей конструкции толщиной δ , м, с коэффициентом теплопроводности λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$,

$$R = \delta/\lambda; \quad (2.2)$$

Таблица 2.3. Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции α_n , Вт/(м²·°С), и ее положения n (СНиП II-3-79)

Ограждающие конструкции	α_n	n
Наружные стены и покрытия, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными без ограждающих стенок подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23,26	I
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными с ограждающими стенками подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17,45	0,9
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	11,63*	0,75
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	5,82	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	5,82	0,4

* Чердачные перекрытия также.

Таблица 2.4. Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек $R_{в.п}$, м²·°С/Вт (СНиП II-3-79).

Положение воздушной прослойки	Температура воздуха в прослойке	Толщина воздушной прослойки, м						
		0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2—0,3
Горизонтальное и вертикальное при потоке тепла снизу вверх	Положительная	0,129	0,138	0,138	0,138	0,146	0,155	0,155
	Отрицательная	0,146	0,155	0,163	0,172	0,181	0,181	0,189
Горизонтальное при потоке тепла сверху вниз	Положительная	0,138	0,155	0,163	0,172	0,181	0,189	0,189
	Отрицательная	0,155	0,189	0,206	0,224	0,232	0,241	0,241

Примечание. При оклейке одной или двух поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличить в 2 раза.

многослойной конструкции, состоящей из n однородных слоев, с учетом сопротивления замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п}$ (табл. 2.4) —

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{в.п}; \quad (2.3)$$

многослойной конструкции, состоящей из n неоднородных слоев, расположенных параллельно направлению теплового потока,—

$$R_a = (F_1 + F_2 + \dots + F_n) \left(\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n} \right); \quad (2.4)$$

многослойной конструкции, состоящей из однородных и неоднородных слоев с термическими сопротивлениями R_k и R_a —

$$R_0 = R_k + R_a. \quad (2.5)$$

Приведенное термическое сопротивление ограждающих конструкций, м²·°С/Вт,

$$R_k^{np} = (R_a + 2R_0)/3. \quad (2.6)$$

Теплотехническая характеристика строительных материалов приведена в СНиП II-3-79. Некоторые из этих сведений представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Теплофизические данные (плотность ρ_0 , удельная теплоемкость c_0 , коэффициент теплопроводности λ_0 , коэффициент теплоусвоения s , массовая влажность материала в конструкции w) некоторых строительных материалов

Материал	Характеристика материала в сухом состоянии			w, %		Расчетные коэффициенты при тепловлажностных параметрах			
	ρ_0 , кг/м³	c_0 , кДж/(кг·°C)	λ_0 , Вт/(м²·°C)			λ , Вт/(м²·°C)		s при периоде 24 ч, Вт/(м²·°C)	
				А	Б	А	Б	А	Б
Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,86	18,72
Пемзобетон	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,67	8,22	8,97
Бетон на доменных гранулированных шлаках	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,5	7,29
Аглопоритобетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,38	6,12
Кладка из кирпича: глиняного обыкновенного	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,14	10,09
силикатного пустотелого на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,64	2	4	0,7	0,81	8,54	9,61
Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,093	15	20	0,14	0,174	3,85	4,44
То же, вдоль волокон	500	2,3	0,174	15	20	0,291	0,349	5,55	6,29
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные	800	2,3	0,128	10	12	0,186	0,233	5,41	6,14
Памяля	150	2,3	0,047	7	12	0,058	0,07	1,28	1,45
Плиты минераловатные повышенной жесткости на органическом связующем	200	0,84	0,07	2	5	0,076	0,081	1	1,1
Перлитопластобетон	200	1,05	0,041	2	2	0,052	0,058	0,52	0,99
Засыпка щебнем и песком из перлита вспученного	400	0,83	0,076	1	2	0,087	0,093	1,49	1,57
Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,349	2	3	0,465	0,523	7,47	8,09
Асфальтобетон	2100	1,67	1,047	0	0	1,047	1,047	16,31	16,31
Руберойд, пергамин, толь	600	1,67	0,174	0	0	0,174	0,174	3,56	3,56
Изделия из вспученного перлита на битумном связующем	300	1,67	0,087	1	2	0,093	0,099	1,86	1,94
Сталь стержневая арматурная	7850	0,481	58,15	0	0	58,15	58,15	126,07	126,07
Алюминий	2600	0,84	221	0	0	221	221	186	186
Стекло оконное	2500	0,84	0,756	0	0	0,756	0,756	10,69	10,69

Примечания. 1. Коэффициент теплоусвоения материала в конструкции вычисляют по формуле $s=0,51\sqrt{\lambda_0(c_0+0,01w)}$. 2. Характеристики материалов в сухом состоянии даны при влажности по массе $w_0=0$.

Общее термическое сопротивление ограждающей конструкции должно удовлетворять условию

$$R_o^{эк} \leq R_o \geq k_n R_o^{тп}, \quad (2.7)$$

где $R_o^{эк}$ — экономически целесообразное термическое сопротивление

$$R_o^{эк} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_n} + R_{ут}^{эк} + \Sigma R_{к.с}; \quad (2.8)$$

Таблица 2.6. Коэффициент повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	k_n
Наружные стены:	
однослойные панели из легкого бетона	1,1
то же, из ячеистого	1,3
трехслойные железобетонные панели с эффективным утеплителем и гибкими связями	1,7
то же, с керамзитобетонными ребрами	1,5
металлические панели типа «Сэндвич» с утеплителем из пенополиуретана	2
то же, при полистовой сборке с утеплителем из минеральной ваты	1,5
Кровли:	
по железобетонным плитам с утеплителем из легких бетонов	1,3
то же, из минеральной ваты	1,5
по профилированному металлическому настилу с утеплителем из пенополистирола	2
то же, из минеральной ваты	1,5

Таблица 2.7. Температура наружного воздуха t_n

Тепловая инерция	Расчетная зимняя температура
$D \leq 1,5$ (безынерционная)	Абсолютная минимальная
$1,5 < D \leq 4$ (малая инерционность)	Средняя наиболее холодных суток
$4 < D \leq 7$ (средняя инерционность)	Средняя наиболее холодных трех суток
$D > 7$ (большая инерционность)	Средняя наиболее холодной пятидневки

Примечание. Среднюю температуру наиболее холодных трех суток определяют как среднее арифметическое температур наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки, округляя результат до целого числа.

k_n — коэффициент повышения сопротивления теплопередаче (табл. 2.6); $R_{тo}$ — сопротивление теплопередаче, требуемое из условий гигиены,

$$R_{тo}^{тp} = n (t_b - t_n) / \Delta t^n \alpha_b; \quad (2.9)$$

$R_{ут}^{эк}$ — термическое сопротивление экономически целесообразного утеплителя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$,

$$R_{ут}^{эк} = 3,6 \sqrt{\frac{(t_b - t_{он}) z_{о.п} C_{тl_T}}{\lambda_{y1} C_{ут}}}; \quad (2.10)$$

$R_{к.с}$ — термическое сопротивление конструктивных слоев многослойной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, n — коэффициент положения ограждающей конструкции (табл. 2.3); t_b — расчетная температура внутреннего воздуха, °C (табл. 1.1, 1.2); t_n — расчетная температура наружного воздуха, принимаемая по СНиП II-A.6-72 с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции (табл. 2.7)

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n; \quad (2.11)$$

Δt^n — нормативный перепад между температурами наружного воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C (табл. 2.8); $z_{о.п}$ — продолжительность отопительного периода, сут/год (СНиП II-A.6-72); $t_{о.п}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C (СНиП II-A.6-72); C_t — стоимость тепловой энергии по прейскуранту, руб./кДж; l_T — коэффициент измене-

Таблица 2.8. Температурный перепад Δt^H , °С, и коэффициент изменения стоимости тепловой энергии l_T с течением времени (СНиП II-3-79)

Здания и помещения	Температурный перепад Δt^H		l_T
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	
Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий, за исключением помещений с влажным и мокрым режимом	7	5,5	1,3
Производственные здания с сухим режимом	10	8	1,2
То же, с нормальным	8	7	1,2
Производственные и вспомогательные здания промышленных предприятий с влажным или мокрым режимом, если не допускается конденсация влаги на внутренней поверхности стен и потолков	$t_b - t_p$	0,8 ($t_b - t_p$)	1
То же, если не допускается конденсация влаги на внутренней поверхности только потолков	7	0,9 ($t_b - t_p$)	1
Производственные здания с влажным или мокрым режимом и с агрессивной средой (растворимые соли)	$t_b - t_{pp}$	$t_b - t_{pp}$	1
Производственные здания со значительными избытками явного тепла (более 23 Вт/м³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха менее 50%	12	12	1

Примечания. 1. Для перекрытий над проездами, подвалами и подпольями Δt^H не нормируется, если температура поверхности пола выше 23 °С. Кроме того, Δt^H не нормируется для отапливаемых производственных зданий при выполнении тяжелых физических работ (категория III) или для производственных помещений, где на постоянных рабочих местах пол снабжен деревянными щитами или теплоизолирующими ковриками. При невыполнении этих условий Δt^H нормируют только для участков с постоянными рабочими местами равным 2,5 °С. 2. Для производственных зданий с сухим и нормальными режимами температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха. 3. В таблице приняты следующие обозначения: t_b — нормируемая температура внутреннего воздуха; t_p — температура точки росы при расчетных параметрах внутреннего воздуха помещения; t_{pp} — то же, но с учетом агрессивной среды.

ния стоимости тепловой энергии (табл. 2.8); $\lambda_{ут}$ — расчетный коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м·°С); $C_{ут}$ — стоимость материала утеплителя, руб./м³; $s_1, s_2, \dots, s_n$ — расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С) (табл. 2.5).

Толщина теплоизоляционного слоя, м,

$$\delta_{ут} = \Delta R \lambda_{ут}, \quad (2.12)$$

где ΔR — разность между $k_n R^{тp}_0$ и R_0 при $k_n R^{тp}_0 > R^{эк}_0$ или между $R^{эк}_0$ и R_0 при $R^{эк}_0 > k_n R^{тp}_0$.

При сравнении различных ограждающих конструкций, удовлетворяющих требованию (2.7), предпочтение следует отдавать конструкции с наименьшими приведенными затратами P , руб./м², определяемыми по формуле

$$P = C_d + 9,59 (t_b - t_{o,п}) z_{o,п} C_T l_T / R_0, \quad (2.13)$$

где C_d — единовременные затраты (себестоимость строительно-монтажных работ), руб./м².

Требуемое сопротивление теплопередаче для дверей и ворот должно быть не менее 0,6 $R^{тp}_0$ стен, определяемого по выражению (2.9), а для заполнений световых проемов — не менее значений, приведенных в табл. 2.9.

Ограждающие конструкции должны удовлетворять требуемым СНиП II-3-79 сопротивлениям воздухо- и паропроницанию.

Таблица 2.9. Требуемое сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов $R_0^{тр}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, в зависимости от разности температур Δt , $^\circ C$, внутреннего и по параметру Б наружного воздуха (СНиП II-3-79)

Здания и помещения	Δt	Значения $R_0^{тр}$		
		для окон	для фонарей	
			П-образных	зенигных
Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	≤ 30	0,155	—	0,155
	31—49	0,31	—	0,31
	> 49	0,482	—	0,31
Производственные здания с сухим или нормальным режимом	≤ 35	0,155	0,155	0,155
	36—49	0,31	0,155	0,31
	> 49	0,31	0,155	0,482
Производственные здания, а также помещения вспомогательных зданий промышленных предприятий с влажным или мокрым режимом	≤ 30	0,155	0,155	—
	> 30	0,31	0,155	—
Производственные здания со значительными избытками явного тепла (более $23 Вт/м^3$) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50%	Любая	0,155	0,155	—

2.2. ТЕПЛОПОТЕРИ

Основные потери тепла — это потери через ограждающие конструкции $Q_{ог}$, Вт. Их рассчитывают по формуле (СНиП II-3-79)

$$Q_{ог} = \frac{F}{R_0} (t_a - t_n) n, \quad (2.14)$$

где F — площадь ограждающих конструкций по наружному обмеру, $м^2$; R_0 — сопротивление теплопередаче наружных стен, определяемое по формуле (2.1), и полов (табл. 2.10), $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; t_b — расчетная температура воздуха внутри помещения, $^\circ C$, принимаемая для части стек высотой 4 м равной температуре рабочей зоны (табл. 1.1, 1.2), для перекрытия — температуре уходящего воздуха t_y и для остальной части стен — среднему арифметическому между температурами рабочей зоны $t_{p,z}$ и уходящего воздуха t_y ; t_n — расчетная температура наружного воздуха, принимаемая для холодного периода года по параметру Б (СНиП II-3-75) и для переходного $+10^\circ C$; n — коэффициент, принимаемый по табл. 2.3.

Добавочные теплопотери на ориентацию наружных стен, дверей и светопроемов нормируют в количестве 10% от основных для ограждений, ориентированных на север, восток, северо-восток, северо-запад, и 5% — на юго-восток и запад.

Добавочные потери тепла q_n , Вт, на нагревание воздуха, поступающего путем инфильтрации через окна, двери, G_o и другие ограждающие конструкции G_k , $кг/(м^2 \cdot ч)$, определяют в зависимости от площадей окон и дверей F_o и других ограждающих конструкций F_k , $м^2$, а также расчетных температур внутреннего t_b и наружного t_n , $^\circ C$, воздуха:

$$q_n = 0,28c_p (A_o G_o F_o + \sum A_k G_k) (t_b - t_n), \quad (2.15)$$

где c_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении; A_o — коэффициент, принимаемый для окон и дверей с раздельными переплетами 0,8 и со спаренными — 1; A_k — коэффициент, принимаемый для других ограждающих конструкций 0,6.

Удельный расход воздуха, инфилирующего через ограждающие конструкции, G_k , $кг/(м^2 \cdot ч)$, кроме окон, дверей и фонарей, зависит от суммарного сопротивления

Таблица 2.10. Сопротивление теплопередаче конструкций полов — неутепленных $R_{н.п}$ и утепленных $R_{п}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (СНиП II-33-75)

Полы	$R_{н.п}$	$R_{п}$
Расположенные непосредственно на грунте: неутепленные, независимо от толщины, состоящие из нескольких слоев материалов, каждый из которых имеет коэффициент теплопроводности $\lambda \geq 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, для зон:		
I — полосы шириной 2 м, примыкающей к наружной стене или, для стен подполий и подвалов, к поверхности земли по всему периметру здания	2,2	—
II — полосы шириной 2 м, примыкающей к I зоне	4,3	—
III — полосы шириной 2 м, примыкающей к II зоне	8,6	—
IV — внутренней части помещения, ограниченной III зоной	14,2	—
утепленные, состоящие из нескольких слоев материалов, каждый из которых имеет коэффициент теплопроводности $\lambda_{у.с} < 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и толщину слоя $\delta_{у.с}$	—	$R_{н.п} + \frac{\delta_{у.с}}{\lambda_{у.с}}$
Расположенные на лагах	—	$\frac{1}{0,85} \left(R_{н.п} + \frac{\delta_{у.с}}{\lambda_{у.с}} \right)$
Расположенные над проветриваемыми подпольями	—	Определяется расчетом

Примечание. Участки пола I зоны угловых помещений вводят в расчет дважды, соответственно их наложению в углах.

Таблица 2.11. Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций $R_{н}$ (СНиП II-3-79)

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	$R_{н}^*$ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$
Бетон сплошной без швов	100	19644
Газосиликат сплошной без швов	140	20,6
Известняк-ракушечник	500	5,9
Картон строительный без швов	1,3	63,7
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в один кирпич и более	≥ 250	17,7
То же, толщиной в полкирпича	120	2
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в один кирпич и более	≥ 250	8,8
То же, толщиной в полкирпича	120	1

воздухопроницанию $\Sigma R_{н}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$ (табл. 2.11) и перепада давления внутреннего и наружного воздуха Δp , Па:

$$G_{к} = \Delta p / \Sigma R_{н}. \quad (2.16)$$

Для фонарей, окон, дверей и других заполнителей проемов удельный расход G_0 , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, зависит от суммы коэффициентов сопротивления воздухопроницанию ΣR_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}^{2/3}/\text{кг}$ (табл. 2.12):

$$G_0 = \Delta p^{2/3} / \Sigma R_0. \quad (2.17)$$

Таблица 2.12. Сопротивление воздухопроницанию заполнений и проемов R_0 .

Производственные здания	$R_0, \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}^{2/3} / \text{кг}$		
	окон	зенитных фонарей	светоаэрационных П-образных фонарей (в закрытом положении)
С избытками тепла, Вт/м ³ :			
более 23	0,458	—	0,055
20 и менее	1,145	1,604	0,115
С кондиционированием воздуха	1,604	1,604	—

При определении разности давлений Δp учитывают высоту здания от поверхности земли до центра верхней створки фонаря, верхнего окна, уровня шахты H , м, и до центра рассматриваемого проема h , м, плотность наружного ρ_n и внутреннего ρ_v воздуха, кг/м³, наибольшую скорость ветра за январь по румбам северного направления (С, СВ, СЗ) v , м/с, принимаемую по СНиП II-A.6-72, а для типовых проектов — 5 м/с и в климатических подрайонах IB и IG — 8 м/с, аэродинамические коэффициенты наветренной c_n и заветренной c_z поверхностей, принимаемые по СНиП II-6-74, разность статических давлений Δp_m , Па, возникающих вследствие работы механической вентиляции в случае принятого в проекте или наблюдаемого в натуре удельного дебаланса между подаваемым в помещение и удаляемым из него воздухом ΔG_n , кг/(м²·ч):

$$\Delta p = 9,807 (H - h) (\rho_n - \rho_v) + 0,5 \rho_n v^2 (c_n - c_z) k_h + \Delta p_m, \quad (2.18)$$

где k_h — коэффициент, учитывающий высоту сооружения и тип местности, принимаемый по табл. 2.13.

Таблица 2.13. Значение коэффициента k_h (СНиП II-6-74)

Тип местности	Высота здания над поверхностью земли, м										
	10	20	30	40	50	60	70	80	100	200	350 и более
А	1	1,25	1,4	1,55	1,65	1,75	1,85	1,95	2,1	2,6	3,1
Б	0,65	0,9	1,05	1,2	1,33	1,45	1,55	1,65	1,8	2,45	3,1
В	0,3	0,5	0,63	0,75	0,87	1	1,1	1,2	1,4	2,2	3,1

Разность давлений Δp_m определяют по выражению

$$\Delta p_m = \Delta G_n^{3/2} (\Sigma R_0)^{3/2}. \quad (2.19)$$

При отсутствии данных для расчета допускается принимать потери тепла на нагревание инфильтрующегося в помещение воздуха равными 30 % потерь тепла через ограждающие конструкции.

Затраты тепла на нагрев материалов Q_m , Вт, поступающих в цех, определяют по формуле

$$Q_m = 0,28 G_m c_m (t_n - t_k) B, \quad (2.20)$$

где G_m — количество материала, поступающего в цех, кг/ч; c_m — средняя теплоемкость материала в интервалах температур $t_n - t_k$, кДж/(кг·°С) (см. табл. 2.5); t_n и t_k — начальная и конечная температура материала, °С (значение t_n для сыпучих материалов принимают на 20 °С выше температуры наружного воздуха, для несущих — на 10 °С выше, для металла — равным температуре наружного воздуха); B — коэффициент неравномерности тепловосприятия во времени, зависящий от критерия Фурье (рис. 2.1).

Применительно к определению коэффициента B критерий Фурье выражается отношением

$$Fo = \tau / cGR, \quad (2.21)$$

где τ — время, отражающее период теплообмена, с; c — теплоемкость материала, кДж/(кг·°C); G — масса изделия, кг; R — полное сопротивление теплопередаче, °C/Вт, всей поверхности изделия F , м²:

$$R = R_m + R_{\text{п}}; \quad R = G / \rho \lambda F^2 + (\alpha_{\text{п}} F)^{-1}; \quad (2.22)$$

R_m и $R_{\text{п}}$ — термическое сопротивление в массе и на поверхности изделия, м²·°C/Вт; ρ — плотность материала изделия, кг/м³; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м²·°C); $\alpha_{\text{п}}$ — коэффициент теплообмена, Вт/(м²·°C).

Для сыпучих материалов значение R_m надо увеличивать на 25%.

Расход тепла на обогрев транспорта Q , МДж, определяют с учетом коэффициента B (см. рис. 2.1) и количества тепла $Q_{\text{т}}$, МДж, необходимого для обогрева вагона (табл. 2.14) и автомобиля (табл. 2.15):

$$Q = \Sigma nBQ_{\text{т}}, \quad (2.23)$$

где n — среднее количество однотипных железнодорожных вагонов или автомашин, одновременно находящихся в помещении в расчетный час.

Если в табл. 2.14 и 2.15 отсутствуют данные для определенных температур, то расчет производят по зависимости

$$Q = 0,28B \Sigma G_i c_i (t_{\text{в}} - t_i), \quad (2.24)$$

где G_i — массы однородных частей и деталей транспортных средств, поступающих в помещение цеха, кг/ч; c_i — удельные теплоемкости частей и деталей транспортных средств, кДж/(кг·°C); $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении, °C; t_i — температура частей и деталей транспортных средств, °C.

Таблица 2.14. Расход тепла $Q_{\text{т}}$ на обогрев железнодорожного товарного вагона [6]

Тип вагона	Грузоподъемность, т	Значение $Q_{\text{т}}$, МДж, при расчетной температуре наружного воздуха по параметру Б, °С									
		-15		-20		-25		-30		-35	
		и внутренней температуре помещения, °С									
		+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15
Крытый	16,5	115,6	173,3	144,4	202,2	173,3	231,1	202,2	255,8	231,1	288,9
Платформа	16,5	83,7	125,6	14,7	146,5	125,6	167,5	146,5	188,4	167,5	209,3
Крытый	20	163,3	244,5	203,9	285,5	244,5	326,6	285,5	367,2	326,6	408,2
Платформа	20	104,7	158,7	130,6	183	158,7	209,3	183	235,3	209,3	261,7
Крытый	50	301,4	452,2	376,8	527,5	452,2	590,3	527,5	678,3	590,3	753,6
Платформа	50	251,2	376,8	314	439,6	376,8	502,4	439,6	611,3	502,4	628
Хоппер	60	226,1	339,1	282,6	395,7	339,1	452,2	395,7	508,7	452,2	565,2

Потери тепла на нагрев воздуха, поступающего через открытые проемы без воздушных завес Q , Вт, рассчитывают по выражению, рекомендуемому для незначительных тепловыделений,

$$Q = c_p [A + (a + kv) F] (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (2.25)$$

где A и a — коэффициенты (табл. 2.16); k — коэффициент, принимаемый для ворот размером 3×3 м — 0,25 и размером 4×4 м — 0,2; v — скорость ветра, м/с; F — пло-

Таблица 2.15. Расход тепла Q_T на обогрев автомобиля [6]

Марка автомобиля	Значения Q_T , МДж, при расчетной температуре наружного воздуха по параметру Б, °С													
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40							
	и внутренней температуре помещения, °С													
	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	
«Москвич-408»,	1,67	0	3,35	0,84	5,44	2,51	7,12	4,19	8,79	5,86	10,47	7,95	12,56	
«Москвич-412»	2,51	0	2,44	2,09	7,54	4,19	3,63	6,7	12,14	8,79	14,24	10,89	16,33	
«Москвич-433»	1,67	0	4,19	0	6,28	2,09	8,79	5,02	11,3	7,12	13,82	9,63	16,33	
«Волга» ГАЗ-24	4,19	0	9,63	0,84	15,07	5,86	20,52	11,72	25,54	16,75	30,98	22,19	36,43	
ЗИЛ-111	5,02	0,42	8,37	3,77	11,3	6,7	14,65	10,05	18	13,4	20,33	16,33	24,28	
ГАЗ-69, ГАЗ-69А	20,52	0	35,59	13,4	50,66	28,47	65,73	43,54	80,81	58,62	95,88	73,69	110,95	
ЗИЛ-157	19,68	6,7	29,31	16,33	38,94	25,96	48,57	35,59	58,2	45,22	67,83	54,85	77,46	
ПАЗ-625Б	6,7	1,26	10,47	5,02	14,24	9,21	18	12,98	21,77	16,75	25,96	20,52	29,73	
УАЗ-450А	5,86	1,67	8,79	4,61	12,14	7,95	15,07	11,3	18,42	14,65	21,77	17,58	24,7	
РАФ-08	5,44	0,42	8,79	3,77	11,72	7,12	15,49	10,89	18,84	14,24	22,19	17,58	25,54	
РАФ-10														
ЗИЛ-130, ЗИЛ-150, ЗИЛ-164	24,28	9,21	35,59	20,93	48,15	32,66	59,03	43,96	70,76	56,1	82,48	67,83	94,2	
ГАЗ-51, ГАЗ-51А —	13,82	5,02	20,93	12,14	27,63	18,84	34,33	25,96	41,45	32,66	48,15	39,36	55,27	
МАЗ-500, МАЗ-504	23,03	2,51	34,75	14,65	46,65	26,8	59,03	38,94	71,59	51,5	83,32	63,64	95,88	

Таблица 2.16. Значения коэффициентов A и a [6]

Размеры взрост, м	Внутренняя температура, °С	Коэффици- ент	Температура наружного воздуха, °С						
			-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
3×3; 4×4	+5	a	—	—	1,27	1,38	1,46	1,51	1,65
	+15	a	—	1,27	1,4	1,5	1,55	1,57	1,6
3×3	+5	A	—	5	5,8	6,6	7,4	8,1	8,9
	+15	A	6	6,5	7,3	8	8,8	9,4	10
4×4	+5	A	10	11,6	13	14,5	16	17,5	19
	+15	A	12,7	13,9	15	16,3	17,5	18,8	20

щадь открываемых фрагм в фонарях, окнах верхнего света и поперечного сечения шакт, m^2 ; t_b — температура воздуха в помещении, °С; t_n — температура наружного воздуха по параметру Б (СНиП II-33-75).

Ворота и двери без воздушных завес следует открывать не более чем на 8 мин в час и в общей сложности не более чем на 15 мин в смену. В противном случае их следует оборудовать устройствами, предотвращающими поступление холодного воздуха в помещение.

Потери тепла по укрупненным показателям, Вт, определяют по выражению

$$Q = qV(t_{cp} - t_n), \quad (2.26)$$

где q — удельная тепловая характеристика здания, Вт/($m^3 \cdot ^\circ C$), определяемая по формуле [48]

$$q = \frac{P}{S} \left[\frac{1}{R_{ст}} + \rho_0 \left(\frac{1}{R_{ок}} + \frac{1}{R_{ст}} \right) \right] + \frac{1}{h} \left(\frac{0,9}{R_{пт}} + \frac{0,6}{R_{пл}} \right); \quad (2.27)$$

V — наружный объем здания или отапливаемой части его, m^3 ; t_{cp} — средняя температура воздуха внутри помещений, °С; t_n — температура наружного воздуха по параметру Б (СНиП II-33-75), °С; P , S и h — периметр, м, площадь, m^2 , и высота, м, здания; $R_{ст}$, $R_{ок}$, $R_{пт}$, $R_{пл}$ — термические сопротивления стен, окон, потолка и пола, $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$; ρ_0 — коэффициент остекления, равный отношению площади остекления к площади вертикальных наружных ограждений.

2.3. ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЯ

Поступления тепла Q , Вт, рассчитывают в зависимости от назначения помещений, технологических процессов, оборудования и пернодов года.

Теплопоступления от электродвигателей и приводимого ими в действие оборудования [32]

$$Q_d = 10^3 N_y k_n k_o k_o (1 - \eta_d + k_t \eta_d), \quad (2.28)$$

где N_y — установочная мощность двигателя, кВт; $k_n = 0,7 \div 0,9$ — коэффициент использования установочной мощности; $k_o = 0,5 \div 0,8$ — коэффициент загрузки двигателя; $k_o = 0,5 \div 1$ — коэффициент одновременности работы двигателей; $\eta_d = 0,75 \div 0,92$ — КПД двигателя; $k_t = 0,1 \div 1$ — коэффициент ассимиляции тепла воздухом помещения (меньшие значения k_t относятся к помещениям, в которых часть тепла, вырабатываемого двигателем, удаляется с материалом, веществом и т. п., например, при работе насоса с водой или жидкостью).

От нагретых поверхностей оборудования площадью F_n , m^2 , при известных значениях температур поверхностей t_n и окружающего воздуха t_b , $^{\circ}C$, поступление тепла

$$Q_{к.л} = (\alpha_n + \alpha_k) (t_n - t_b) F_n, \quad (2.29)$$

где α_n и α_k — коэффициенты теплоотдачи излучением и конвекцией, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$, определяемые уравнениями

$$\alpha_n = c_{пр} \left[\left(\frac{273 + t_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_b}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{t_n - t_b}; \quad (2.30)$$

$$\alpha_k = a \sqrt[4]{t_n - t_b}; \quad (2.31)$$

$c_{пр}$ — приведенный коэффициент излучения тел в помещении, который принимают равным $4,9 \text{ Вт}/(м^2 \cdot K^4)$ [2]; a — коэффициент, принимаемый для горизонтальной стенки с тепловым потоком, направленным вверх, $3,26$, направленным вниз — $1,28$, для вертикальной стенки — $2,56$ и для горизонтальной расположенной трубы — $2,09$.

Теплопоступления от печей. Выделения тепла от стенок печей определяют следующим образом. Для случаев, когда температура поверхности стенки неизвестна, задаются этой температурой t_n в первом приближении и расчет ведут по формулам

$$Q_{пр} = k_c (t_{в.п} - t_b) F_n; \quad (2.32)$$

$$k_c = \left(\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n} \right)^{-1}; \quad (2.33)$$

$$\alpha_n = \alpha_k + \alpha_l, \quad (2.34)$$

где $t_{в.п}$ — температура внутренней поверхности стенки печи, $^{\circ}C$, принимаемая на $5^{\circ}C$ ниже температуры газов в печи; k_c — коэффициент теплопередачи, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$, определяемый с использованием постоянных величин: толщины стенки δ , м, коэффициента теплопроводности λ , $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$, и полученного в первом приближении коэффициента теплоотдачи α_n , который вычисляют с использованием выражений (2.30) и (2.31).

Кроме этого, в первом приближении по формуле (2.29) определяют количество тепла $Q_{к.л}$, отдаваемого поверхностью стенки. Если разница между $Q_{пр}$ и $Q_{к.л}$ больше 10% , то расчет следует повторить с уточненным значением t_n , причем, если $Q_{к.л} < Q_{пр}$, то t_n увеличивают, и наоборот. Последовательные приближения производят до тех пор, пока будет удовлетворено неравенство

$$\left| \frac{Q_{к.л} - Q_{пр}}{Q_{к.л}} \right| < 0,1 Q_{к.л}$$

Тепловыделения от подов печей

$$Q = mf \frac{F_{пл}}{D} \lambda (t_{в.п} - t_b), \quad (2.35)$$

где $m = 0,5 \div 0,7$ — коэффициент, учитывающий долю тепла, поступающего в помещение; f — коэффициент, учитывающий форму пода (для круглого пода $f = 4,1$, для квадратного — $4,6$, для пода вытянутой формы — $3,9$); $F_{пл}$ — площадь пода, m^2 ; $D = 1,13 \sqrt{F_{пл}}$ — эквивалентный по площади диаметр пода, м; λ — коэффициент теплопроводности материала пода, $Вт/(м \cdot ^{\circ}C)$; $t_{в.п}$ и t_b — температура внутренней поверхности пода и воздуха, $^{\circ}C$.

Количество тепла, поступающего от закрытого загрузочного отверстия печи, вычисляют как среднее арифметическое тепла, проходящего через дверку отверстия $Q_{пр}$ и отдаваемого дверкой $Q_{к.л.}$, при ориентировочном значении температуры поверхности дверки t_n :

$$Q_{з.о} = 0,5 (Q_{пр} + Q_{к.л.}) \frac{z_3}{60}, \quad (2.36)$$

где z_3 — время, в течение которого отверстие закрыто, мин.

Интенсивность тепловыделения при открытом загрузочном отверстии принимают равной $0,5 Q_{з.о}$.

Интенсивность поступления лучистого тепла от нагретой поверхности определяется по формулам (2.29) и (2.30) с исключением α_k . Однако при температуре 400°C ее следует рассчитывать по формуле

$$Q_{л} = c_{пр} \left(\frac{273 + t_n}{100} \right)^4 F_{пр} \quad (2.37)$$

Выделение лучистого тепла от открытого загрузочного отверстия печи рассчитывают, принимая коэффициент излучения абсолютно черного тела $c_{и} = 5,76 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$, температуру газов в печи t_n и коэффициент диафрагмирования $\varphi_{от}$ (рис. 2.2):

$$Q_{л.о} = c_{и} (T_n/100)^4 \varphi_{от} \quad (2.38)$$

Общее количество тепла, выделяемого печью, следует проверять, используя тепловой баланс печи по данным специальной литературы. Ориентировочно количество тепла, поступающего от стенок печи, можно принять 32–35%, на нагревание металла 15–18% и уходящего с газами — 50% количества тепла, выделяемого сгораемым топливом.

От продуктов сгорания, полностью выпускаемых в цех, в зависимости от теплотворной способности топлива $Q_{п.н.}$, кДж/кг (см. табл. 1.15), и расхода его G_r , кг/ч, количество выделяемого тепла

$$Q_{п.с} = 0,28 G_r Q_{п.н.} \eta_T (1 - \eta_m), \quad (2.39)$$

где η_T — коэффициент неполноты сгорания топлива, принимаемый 0,85 для твердого и 0,9–0,97 — для жидкого и газообразного топлива; η_m — коэффициент, учитывающий эффективность местных отсосов (см. гл. 5).

Теплопоступления при сварке электрическими машинами с воздушным охлаждением определяются в зависимости от среднего расхода электроэнергии $N_{с.э.}$, кВт·ч:

$$Q_{с.э} = 0,28 N_{с.э} \eta, \quad (2.40)$$

где η — собирательный коэффициент, учитывающий загрузку аппаратов, одновременно их работы и ассимиляцию тепла воздухом помещения, принимаемый по данным технологов.

Если машины работают с водяным охлаждением, то выделение тепла

$$Q_{с.в} = 0,25 Q_{с.э}. \quad (2.41)$$

Теплопоступление от поста ручной электродуговой сварки принимают 4600 Вт и от поста ручной газовой сварки — 10 000–11 000 Вт. При работе аппарата газовой сварки с известным расходом ацетилен G_r , кг/с, тепловыделение

$$Q_{с.г} = 10^3 G_r Q_{п.н.} \eta_r, \quad (2.42)$$

где η_r — коэффициент использования горелок, принимаемый 0,85.

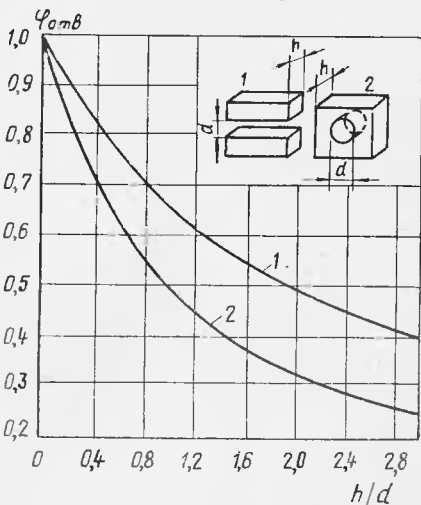


Рис. 2.2. Зависимость коэффициента диафрагмирования при излучении из отверстия печи от отношения h/d (h — толщина стенки печи; d — диаметр или высота отверстия).

Поступление тепла от электрических печей, ванн и сушил зависит от мощности холостого хода N_x , кВт, установочной мощности N_y , кВт, и расхода электроэнергии N_z , кВт·ч:

$$Q_{э.п} = 10^3 N_x \eta_x \eta_i; \quad (2.43) \quad Q_{э.п} = AN_y \eta_i; \quad (2.44)$$

$$Q_{э.п} = 0,28 N_y (1 - \eta_n) \eta_i, \quad (2.45)$$

где $\eta_x = 0,65 \div 0,7$ — коэффициент, учитывающий загрузку печи; η — коэффициент одновременности работы печей; A — коэффициент, зависящий от типа печи (для камерных, шахтных и методических печей $A=200$, колокольных — 130, муфельных — 150, печей-ванн — 400, сушил — 300, печей без указания типа — 250); η_n — коэффициент, учитывающий энергию, не реализованную в данном помещении (принимается по данным технологов).

Выделение тепла от пара при работе паровых машин зависит от начальной I_1 и конечной I_2 , кДж/кг, энтальпии:

$$Q_{п.м} = 0,28 G (A_y I_1 - I_2) \eta, \quad (2.46)$$

где G — интенсивность поступления пара в машину, кг/ч; $A_y = 1,001$ — коэффициент утечки пара; η — коэффициент загрузки и одновременности работы машин.

Если пар выпускается в результате технологического процесса непосредственно в помещение, то при его расходе W , кг/ч, количество поступающего полного тепла

$$Q_{п} = 0,28 W (I_1 - I_2) \eta. \quad (2.47)$$

Начальная энтальпия I_1 задается технологами, а конечная I_2 определяется в зависимости от состояния пара, выпускаемого в помещение. При перегретом паре

$$I_2 = 2500 + 1,8 t_v, \quad (2.48)$$

а при конденсирующемся

$$I_2 = 4,19 t_n, \quad (2.49)$$

где t_v — температура воздуха в помещении, °С.

От нагретой поверхности воды при условии, что ее температура $t_{п.в}$ больше температуры окружающего воздуха t_v , °С, явное теплопоступление

$$Q = F_{п.в} (5,7 + 4,07 v_n) (t_{п.в} - t_v), \quad (2.50)$$

где $F_{п.в}$ — площадь открытой поверхности воды, м²; v_n — скорость воздуха над открытой поверхностью воды, м/с.

От неизолированных трубопроводов в зависимости от их диаметра d , м, длины l , м, температур теплоносителя t_t и окружающего воздуха t_v , °С, количество поступающего тепла

$$Q_{т.п} = \pi d l \alpha (t_t - t_v), \quad (2.51)$$

где α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С), определяемый по формуле

$$\alpha = 9,3 + 0,047 t_t + 7 \sqrt{v}; \quad (2.52)$$

v — скорость движения воздуха в районе трубопровода, м/с.

От изолированного трубопровода количество выделяющегося тепла зависит от температуры на поверхности изоляции $t_{из}$, °С, диаметра трубопровода d_0 и слоев изоляции $d_1, d_2, \dots, d_n$, мм, и соответствующих коэффициентов теплопроводности $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, Вт/(м·°С):

$$Q_{т.п} = \frac{2\pi l (t_t - t_{из})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}} + \frac{2}{\alpha d_n}}, \quad (2.53)$$

где α — коэффициент теплоотдачи поверхности изоляции, Вт/(м²·°С).

От осветительных приборов теплопоступления рассчитывают в зависимости от мощности осветительных установок $N_{ос}$, кВт, доли тепла, поступающего в помещение, η_0 и коэффициента использования светильников η_n :

$$Q_{ос} = 10^3 N_{ос} \eta_0 \eta_n. \quad (2.54)$$

Значение η_n для люминесцентных светильников принимают 0,4—0,7 и для ламп накаливания — 0,8—0,9.

От трансформаторов тепловыделения рассчитывают в зависимости от их установочной мощности N_y , кВт, коэффициента полезного действия η , принимаемого равным 0,98, и коэффициента загрузки η_z :

$$Q_{тр} = 10^3 N_y (1 - \eta) \eta_z. \quad (2.55)$$

От остывающего материала, находящегося в твердой фазе, тепловыделения зависят от расхода материала G_m , кг/ч, теплоемкости c , кДж/кг, начальной и конечной температур t_n и t_k , °C:

$$Q_{м.т} = 0,28 G_m c B (t_n - t_k), \quad (2.56)$$

где B — коэффициент, учитывающий интенсивность выделения тепла во времени и принимаемый по графику (см. рис. 2.1) в зависимости от критерия Фурье.

Тепловыделения от материала, находящегося в двухфазном состоянии, рассчитывают с учетом его теплоемкости в жидком $c_{ж}$ и твердом $c_{тв}$, кДж/(кг·°C), состояниях, теплоты плавления i , кДж/кг, температуры плавления $t_{пл}$, начальной t_n и конечной t_k , °C, температур:

$$Q_m = 0,28 G_m [c_{ж} (t_n - t_{пл}) + i + c_{тв} (t_{пл} - t_k)]/z, \quad (2.57)$$

где G_m — количество остывающего материала, кг; z — время остывания материала, ч, в данном помещении.

Данные для расчета тепlopоступлений от некоторых материалов приведены в табл. 2.17.

Т а б л и ц а 2.17. Теплофизические характеристики некоторых материалов [56]

Материал	$c_{тв} = a + b (273 + t)$, кДж/(кг·°C)			Температура плавления, °C	Теплота плавления, кДж/кг	$c_{ж}'$, кДж/(кг·°C)
	t , °C	a	b			
Алюминий	0—658	4,8	0,003	660	399,4	7,6
Висмут	25—271	4,49	0,005	271	54,43	7,21
Кремний	25—1327	5,55	0,00088	1417	534,7	7,07
Марганец	25—727	5,7	0,003	1245	272	10,83
Медь	25—1084	5,41	0,0015	1083	180	7,44
Никель	25—360	4,06	0,007	—	—	—
	360—1452	6	0,0018	1453	293	9,11
Олово	25—232	4,42	0,0068	232	60,7	7,85
Свинец	0—328	6,17	0,0016	327	23,15	7,13
Сталь	0—1227	0,46	0,000193	1300—1500	96,3	1,17
Цинк	23—420	5,35	0,0024	420	102,2	7,01
Чугун	0—1227	0,53	0,000197	1050—1500	98,4	1,05

Т а б л и ц а 2.18. Формулы для определения солнечного азимута остекления (СНП II-33-75)

Ориентация световых проемов	Для первой половины дня, до 12 ч включительно	Для второй половины дня, после 12 ч
С, Ю	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.58)	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.63)
В, СВ	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.59)	$A_{с.о} = 360 - (A_c + A_o)$ (2.64)
З, СЗ	$A_{с.о} = 360 - (A_c + A_o)$ (2.60)	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.65)
ЮВ	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.61)	$A_{с.о} = A_c + A_o$ (2.66)
ЮЗ	$A_{с.о} = A_c + A_o$ (2.62)	$A_{с.о} = A_c - A_o $ (2.67)

Поступления тепла от людей принимают по табл. 1.9 в зависимости от выполняемой работы и температуры окружающего воздуха.

Тепlopоступления от солнечной радиации рассчитывают по следующей методике.

Определяют солнечный азимут $A_{с.о}$ (рис. 2.3) по формулам (2.58) — (2.67), введенным в табл. 2.18. Данные для расчета $A_{с.о}$ принимают для периода суток

с максимальным поступлением тепла или для заданного расчетного часа (табл. 2.19). Если расчетный час суток не задан и световые проемы в помещении расположены в противоположных стенах, то поступление тепла рассчитывают отдельно для каждого ограждения и принимают наибольшее значение в период работы предприятия. При расположении стен со световыми проемами под углом 90° наибольшее теплопоступление определяют в результате построения графика почасовых теплопоступлений по ходу солнца за период производственного процесса, начиная с предшествующего часа. Приняв время максимальной солнечной радиации, по табл. 2.20 находят азимут A_c . Значение азимута A_c определяют путем построений, указанных на рис. 2.3.

В зависимости от $A_{c,0}$ и положения остекления, по табл. 2.21 принимают формулу для расчета удельных теплопоступлений q' и q'' соответственно прямой и рассеянной солнечной радиации.

Рассчитывают поступление тепла, Вт, через световые проемы по формуле

$$Q_0 = \beta_{c,з} (q' F'_0 + q'' F''_0), \quad (2.74)$$

где $\beta_{c,з}$ — коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств (табл. 2.25); F'_0, F''_0 — площади световых проемов, освещаемых солнцем и находящихся в тени, m^2 .

При применении солнцезащитных устройств (ребер, козырьков и т. п.) площади F'_0, F''_0 определяют посредством геометрических построений, указанных в СНиП II-33-75.

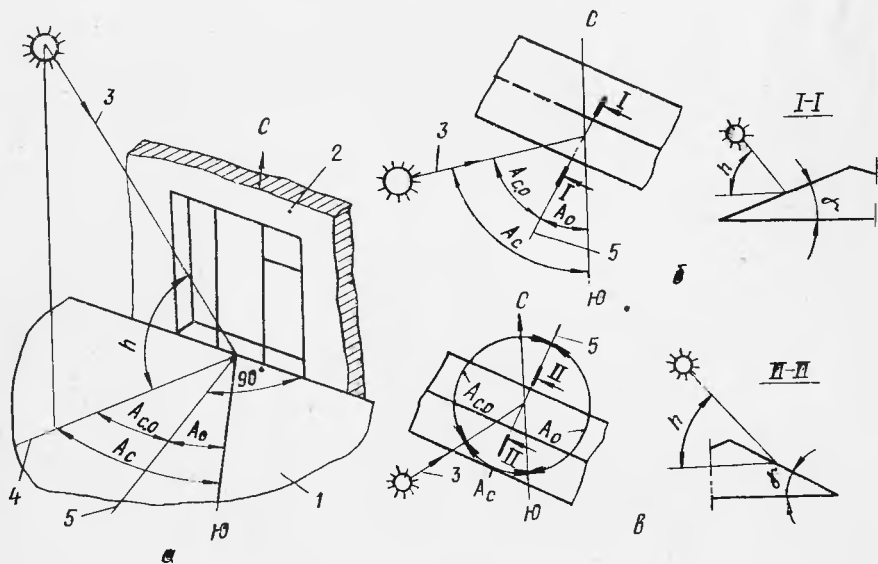


Рис. 2.3. Проекция солнечных лучей и азимутов:

а — проем в вертикальной стене; б — треугольный фонарь с остеклением, ориентированным на ЮЗ; в — то же, на СВ; 1 — горизонтальная плоскость; 2 — плоскость остекления светового проема; 3 — солнечный луч; 4 — горизонтальная проекция солнечного луча; 5 — нормаль к плоскости остекления.

Вычисляют количество тепла, Вт, поступающего через покрытие, решив уравнение

$$Q_{\Pi} = (q_0 + \beta A_q) F, \quad (2.75)$$

где q_0 — удельная среднесуточная интенсивность теплопоступления, Вт/ m^2 :

$$q_0 = \frac{1}{R_0} (t_{н}^{усл} - t_{в});$$

Таблица 2.19. Поступление тепла от прямой $q_{в.п.}$, $q_{г.п.}$ и рассеянной $q_{в.р.}$, $q_{г.р.}$ Вт, солнечной радиации в июле через вертикальное и горизонтальное одинарное остекление световых проемов со стеклом толщиной 2,5—3,5 мм (СНиП II-33-75)

Географическая широта, °с, ш	Истинное солнечное время — часы до полудня	Ориентация вертикального светового проема до полудня							$q_{г.п}$ (числитель) и $q_{г.р}$ (знаменатель) для горизонтального светового проема	Истинное солнечное время — часы после полудня	
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З			СЗ
		$q_{в.п}$ (числитель) и $q_{в.р}$ (знаменатель)						$q_{в.р}$			
36	5—6	67/36	117/36	116/24	24/28	0/16	0/16	21	19	13/31	18—19
	6—7	55/71	334/91	348/109	156/86	0/45	0/36	44	47	100/62	17—18
	7—8	27/81	369/114	435/134	273/109	0/71	0/56	55	56	242/78	16—17
	8—9	0/71	274/104	419/123	307/108	0/77	0/60	64	60	470/87	15—16
	9—10	0/64	149/80	345/99	298/91	35/78	0/63	62	62	554/100	14—15
	10—11	0/62	38/71	186/85	230/83	87/78	0/65	62	65	672/101	13—14
	11—12	0/60	0/67	33/76	119/74	110/78	3/69	67	65	716/104	12—13
40	5—6	71/31	170/47	214/47	50/35	0/20	0/20	21	22	20/31	18—19
	6—7	61/71	350/97	419/112	183/86	0/55	0/42	44	47	114/62	17—18
	7—8	6/78	345/114	493/133	302/109	0/71	0/56	55	57	271/78	16—17
	8—9	0/71	258/104	471/121	354/108	60/78	0/60	60	60	431/87	15—16
	9—10	0/64	116/80	363/99	342/95	150/79	0/63	62	62	558/93	14—15
	10—11	0/62	6/71	191/81	274/83	222/81	0/67	62	65	651/100	13—14
	11—12	0/60	0/67	35/73	172/77	257/81	45/72	65	65	692/104	12—13
44	5—6	84/38	222/53	292/58	72/40	0/23	0/22	22	23	31/36	18—19
	6—7	42/70	369/98	452/112	209/86	0/55	0/44	44	33	126/62	17—18
	7—8	0/77	357/110	509/130	333/109	0/71	0/55	55	55	283/88	16—17
	8—9	0/71	256/101	490/121	398/108	66/79	0/60	59	60	431/83	15—16
	9—10	0/64	84/80	371/100	387/101	162/84	0/63	60	62	543/93	14—15
	10—11	0/60	0/71	198/80	305/86	245/84	0/67	60	64	629/98	13—14
	11—12	0/59	0/67	37/72	214/79	288/85	73/77	65	65	668/98	12—13
48	5—6	93/45	256/60	327/65	95/45	0/27	0/26	24	26	37/42	18—19
	6—7	35/69	385/98	472/114	237/87	0/55	0/43	44	44	145/62	17—18
	7—8	0/74	349/107	542/129	363/109	3/73	0/53	53	53	285/73	16—17
	8—9	0/70	222/99	497/121	427/112	80/81	0/60	58	59	420/83	15—16
	9—10	0/64	60/81	372/100	419/107	186/86	0/65	58	62	519/93	14—15
	10—11	0/60	0/71	193/81	352/94	271/87	7/70	60	64	601/95	13—14
	11—12	0/59	0/67	37/72	251/84	317/89	106/78	65	65	643/98	12—13
52	5—6	102/55	301/69	371/73	116/52	0/31	0/28	28	28	57/42	18—19
	6—7	26/69	391/98	497/119	272/91	0/59	0/43	44	44	158/62	17—18
	7—8	0/71	342/106	545/129	398/110	13/76	0/55	53	53	291/74	16—17
	8—9	0/67	197/97	498/123	448/114	94/85	0/63	57	58	419/83	15—16
	9—10	0/63	42/79	374/100	429/110	206/87	0/67	59	60	508/87	14—15
	10—11	0/60	0/69	193/84	363/98	299/90	14/72	60	62	585/93	13—14
	11—12	0/59	0/65	37/72	231/86	344/91	150/78	65	63	630/98	12—13
56	4—5	88/19	165/33	227/27	17/20	0/12	0/13	13	12	33/20	19—20
	5—6	104/56	344/74	423/74	140/57	0/35	0/28	30	30	76/42	18—19
	6—7	17/66	401/93	523/115	287/90	0/58	0/42	43	44	169/57	17—18
	7—8	0/65	340/98	547/122	424/105	22/74	0/53	48	53	287/71	16—17
	8—9	0/62	174/87	504/114	479/108	128/85	0/64	55	56	405/78	15—16
	9—10	0/58	26/71	378/91	479/102	245/88	0/67	56	57	493/87	14—15
	10—11	0/57	0/62	193/76	427/92	347/91	21/72	58	58	566/91	13—14
11—12	0/55	0/59	37/67	330/79	398/92	176/76	63	58	606/93	12—13	
60	3—4	40/7	63/9	95/7	0	0	0	0	0	0	20—21
	4—5	112/28	272/40	291/37	58/14	0/16	0/15	14	14	49/23	19—20
	5—6	107/51	387/71	448/78	152/58	0/35	0/28	30	33	92/42	18—19
	6—7	15/59	404/86	542/107	313/85	0/53	0/40	40	43	178/57	17—18
	7—8	0/57	331/83	556/110	441/97	37/70	0/49	45	50	284/65	16—17
	8—9	0/55	147/77	509/99	501/98	166/81	0/60	60	52	40/67	15—16
	9—10	0/51	19/62	378/77	501/92	287/86	0/65	51	53	466/78	14—15
10—11	0/51	0/55	193/65	452/84	384/91	70/69	53	53	534/80	13—14	
11—12	0/50	0/55	37/60	363/74	449/91	215/71	56	53	578/78	12—13	
64	3—4	70/19	126/23	121/19	35/12	0/12	0/9	9	10	34/15	20—21
	4—5	158/38	330/51	307/51	97/39	0/21	0/19	21	22	63/30	19—20
	5—6	109/52	429/74	471/85	208/61	0/36	0/28	31	35	105/42	18—19
	6—7	12/55	408/83	558/105	362/85	0/52	0/38	37	44	187/57	17—18
	7—8	0/52	316/83	576/106	483/95	57/67	0/47	42	48	286/62	16—17
	8—9	0/51	133/73	519/95	543/95	194/79	0/58	47	50	386/62	15—16
	9—10	0/49	12/58	379/74	544/91	331/85	0/64	48	50	443/72	14—15
10—11	0/48	0/51	193/62	488/83	435/90	116/67	49	51	544/65	13—14	
11—12	0/48	0/51	37/57	395/74	495/90	256/70	51	51	507/67	12—13	

Продолжение табл. 2.19

Географическая широта, °с.ш.	Истинное солнечное время — часы до полудня	Ориентация вертикального светового проема до полудня							$q_{г.п}$ (числитель) и $q_{г.р}$ (знаменатель) для горизонтального светового проема	Истинное солнечное время — часы после полудня	
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З			СЗ
		$q_{в.п}$ (числитель) и $q_{в.р}$ (знаменатель)									$q_{в.р}$
68	2—3	63/17	145/16	144/12	28/9	0/8	0/6	7	8	27/15	21—22
	3—4	112/28	281/33	258/35	70/19	0/19	0/12	9	14	59/31	20—21
	4—5	128/44	409/58	384/65	135/42	0/23	0/17	17	20	83/37	19—20
	5—6	113/52	475/78	504/95	245/56	0/38	0/28	31	38	134/47	18—19
	6—7	9/55	412/83	584/106	386/88	7/55	0/38	37	44	198/57	17—18
	7—8	0/51	297/88	588/106	499/99	79/69	0/47	42	48	283/62	16—17
	8—9	0/51	135/74	531/98	578/99	231/102	0/58	47	49	376/62	15—16
	9—10	0/48	5/57	394/74	583/91	369/85	0/65	48	49	440/67	14—15
	10—11	0/48	0/51	193/62	531/85	463/90	174/65	49	50	483/67	13—14
	11—12	0/48	0/51	37/57	442/74	523/90	302/71	51	51	520/67	12—13

Примечания. 1. Истинное солнечное время τ с поясным (местным) временем $\tau_{п}$ данного номера пояса N и географической долготой места строительства $\lambda_{г}$ связано выражением $\tau = \tau_{п} + 0,067 (\lambda_{г} - 15N)$, где $\tau_{п}$ на один час меньше декретного времени $\tau_{д}$: $\tau_{п} = \tau_{д} - 1$. 2. Поступление тепла от рассеянной радиации дано с учетом отражения от земной поверхности прямой радиации со средним альбедо 20%.

Таблица 2.20. Высота h , град (числитель) и азимут солнца A_s , град (знаменатель) на различных широтах в июле (СНИП II-33-75)

Истинное солнечное время — часы		Географическая широта, °с. ш.								
до полудня	после полудня	36	40	44	48	52	56	60	64	68
2-3	21-22	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	4/145
3-4	20-21	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	6/131
4-5	19-20	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	1/130	3/131	10/118
5-6	18-19	6/111	8/111	9/111	10/110	12/109	13/108	14/107	15/106	16/104
6-7	17-18	18/104	19/104	19/100	20/99	21/97	21/95	21/94	21/92	21/91
7-8	16-17	30/94	29/93	29/90	30/87	30/85	29/82	28/81	27/79	27/77
8-9	15-16	42/86	41/82	40/78	40/76	38/72	37/69	36/67	34/64	32/61
9-10	14-15	54/75	52/69	50/65	49/60	47/56	45/53	43/50	40/49	37/45
10-11	13-14	65/56	62/49	59/45	56/40	54/36	51/33	48/31	44/29	40/28
11-12	12-13	73/24	69/20	65/18	61/16	58/13	54/12	50/11	46/10	42/9
12	(полдень)	74/0	70/0	66/0	62/0	58/0	54/0	50/0	46/0	42/0

Примечание. Азимут солнца отсчитывается от южного направления в первой половине дня (до 12 ч) против часовой стрелки, а во второй половине дня (после 12 ч) — по часовой стрелке.

β — коэффициент изменения теплового потока во времени (табл. 2.26); A_q — амплитуда колебаний теплового потока, Вт/м²:

$$A_q = k\alpha_v F A_{т.в}; \quad (2.77)$$

F — площадь покрытия, м²; R_o — сопротивление теплопередаче покрытия, м²·°С/Вт, вычисляемое по формуле (3.1); $t_{н.усл}$ — условная среднесуточная температура наружного воздуха, °С:

$$t_{н.усл} = t_{н} + \rho I_{ср} / \alpha_{и}; \quad (2.78)$$

$t_{н}$ — расчетная температура внутреннего воздуха помещения, °С; k — коэффициент, принимаемый 0,6 для покрытия с вентилируемой воздушной прослойкой и 1 — для всех других покрытий; α — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности по-

Таблица 2.21. Формулы для расчета удельного количества тепла от солнечной радиации, поступающего через световые проемы (СНиП II-33-75)

Положение остекления	Для остекления, находящегося в освещенной части, при $A_{c.o} < 90^\circ$	Для остекления, находящегося в тени, при $A_{c.o} > 90^\circ$
Вертикальное	$q' = (q_{в.п} + q_{в.р}) k_1 k_2 \quad (2.68)$	$q' = q_{в.р} k_1 k_2 \quad (2.71)$
Наклонное	$q' = (q_{г.п} k_3 + q_{в.п} k_4 + q_{г.р}) k_1 k_2 \quad (2.69)$ При $h > \gamma$ (см. рис. 2.3) $q' = (q_{г.п} k_3 - q_{в.п} k_4 + q_{г.р}) k_1 k_2 \quad (2.70)$	При $h \leq \gamma$ (см. рис. 2.3) $q'' = q_{г.р} k_1 k_2 \quad (2.72)$
Горизонтальное	$q' = (q_{г.п} + q_{г.р}) k_1 k_2 \quad (2.73)$	

Примечание. q' и q'' — количество тепла, поступающего в помещение в июле через одинарное остекление светового проема, Вт/м², в расчетный час суток; k_1 — коэффициент, учитывающий затенение остекления и загрязнение атмосферы (табл. 2.22); k_2 — коэффициент, учитывающий загрязнение стекла (табл. 2.23); h — угол между направлением солнечного луча и его проекцией на горизонтальную плоскость, град (см. рис. 2.3, табл. 2.20); k_3, k_4 — коэффициенты, учитывающие особенности солнечной радиации через наклонные остекления (табл. 2.24); γ — острый угол между плоскостью наклонного остекления световых проемов и горизонтальной плоскостью, град (см. рис. 2.3).

Таблица 2.22. Значения коэффициента k_1 (СНиП II-3-79)

Заполнение светового проема	Атмосфера чистая, проемы на солнце и в тени	Атмосфера загрязненная, район промышленный, географическая широта, °с. ш.			
		36—40	44—68	36—40	44—68
		Проемы в расчетный час на солнце		Проемы в расчетный час в тени	
Остекление одинарное без переплетов, заполнение проема стеклоблоками или стеклом профильным	1	0,7	0,75	1,6	1,75
Остекление двойное без переплетов	0,9	0,63	0,68	1,45	1,58
Остекление в металлических переплетах:					
одинарных	0,8	0,56	0,6	1,28	1,4
двойных	0,72	0,51	0,54	1,15	1,26
Остекление в деревянных переплетах:					
одинарных	0,65	0,46	0,48	1,04	1,14
двойных	0,6	0,42	0,45	0,96	1,05

крытия, Вт/(м²·°С) (см. табл. 2.2); $A_{т.в}$ — амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности покрытия, °С:

$$A_{т.в} = A_{т.н}^p / \nu; \quad (2.79)$$

t_n — средняя месячная температура наружного воздуха за июль, °С, принимаемая по СНиП II-A.6-72; ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности покрытия (табл. 2.27); $I_{ср}$ — среднесуточное количество тепла от суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на горизонтальную

Таблица 2.23. Значения коэффициента k_2 (СНИП II-3-79)

Степень загрязнения остекления	Для вертикального остекления при $80^\circ < \gamma < 90^\circ$	Для наклонного или горизонтального остекления при $0^\circ < \gamma < 90^\circ$	Степень загрязнения остекления	Для вертикального остекления при $80^\circ < \gamma < 90^\circ$	Для наклонного или горизонтального остекления при $0^\circ < \gamma < 90^\circ$
Значительное	0,85	0,75	Незначительное	0,95	0,85
Умеренное	0,9	0,8	Чистое стекло	1	0,95

Примечание. Загрязнение значительное — при содержании в воздухе помещения пыли, дыма или копоти более или равно 10 мг/м³, умеренное — 5–10 мг/м³ и незначительное — менее 5 мг/м³.

Таблица 2.24. Значения коэффициентов k_3 и k_4 (СНИП II-33-75)

γ	k_3	k_4	γ	k_3	k_4	γ	k_3	k_4
0	1	0	25	0,91	0,42	60	0,5	0,87
5	1	0,09	30	0,87	0,5	70	0,34	0,94
10	0,99	0,17	40	0,77	0,64	80	0,17	0,98
15	0,97	0,26	50	0,64	0,77	90	0	1
20	0,94	0,34						

Таблица 2.25. Значения коэффициента $\beta_{с.з.}$ (СНИП II-3-79)

Солидзащитные устройства	$\beta_{с.з.}$
Наружные	
Штора или маркиза из светлой ткани	0,15
То же, из темной	0,2
Ставня-жалюзи с деревянными пластинами	0,1/0,15
Штора-жалюзи с металлическими пластинами	0,15/0,2
Межстекольные (непротвтриваемые)	
Штора-жалюзи с металлическими пластинами	0,3/0,35
Штора из светлой и темной ткани	0,25/0,4
Внутренние	
Штора-жалюзи с металлическими пластинами	0,6/0,7
Штора из светлой ткани	0,4
То же, из темной	0,8

Примечания. 1. В числителе приведены значения коэффициента для пластины под углом 45° к плоскости проема, в знаменателе — под углом 90° . 2. Для протвтриваемых межстекольных пространств значения $\beta_{с.з.}$ принимают в два раза меньшими.

Таблица 2.26. Значения коэффициента β (СНИП II-33-75)

Число часов до или после максимума поступления тепла	β	Число часов до или после максимума поступления тепла	β	Число часов до или после максимума поступления тепла	β
0	1	5	0,26	9	—0,71
1	0,97	6	0	10	—0,87
2	0,87	7	—0,26	11	—0,97
3	0,71	8	—0,5	12	—1
4	0,5				

Таблица 2.27. Значение коэффициента ρ (СНП II-3-79)

Материал наружной поверхности	ρ
Алюминий	0,5
Асбестоцементные листы	0,65
Асфальтобетон	0,9
Бетон	0,7
Дерево неокрашенное	0,6
Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия	0,65
Кирпич глиняный красный	0,7
» силикатный	0,6
Облицовка природным камнем белым	0,45
Окраска силикатная темно-серая	0,7
» известковая белая	0,3
Плитка облицовочная керамическая	0,8
То же, стеклянная синяя	0,6
То же, белая или падевая	0,45
Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
Сталь листовая, окрашенная белой краской	0,45
То же, темно-красной краской	0,8
То же, зеленой краской	0,6
Сталь кровельная оцинкованная	0,65
Стекло облицовочное	0,7
Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7
» цементная светло-голубая	0,3
То же, темно-зеленая	0,6
То же, кремовая	0,4

поверхность, Вт/м²; α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности покрытия, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_n = 5 + 10 \sqrt{v}; \quad (2.80)$$

$A_{T, n}$ — расчетная амплитуда колебания температуры наружного воздуха, °C:

$$A_{T, n}^p = 0,5 A_{T, n} + \frac{\rho (I_{\max} - I_{\text{ср}})}{\alpha_n}; \quad (2.81)$$

v — величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха:

$$v = 0,9 e^{D/\sqrt{2}} \frac{(s_1 + y_1)(s_2 + y_2) \dots (s_n + y_{n-1})(\alpha_n + y_n)}{(s_1 + y_1)(s_2 + y_2) \dots (s_n + y_n) \alpha_n}; \quad (2.82)$$

v — расчетная скорость ветра, м/с, принимаемая по СНП II-3-75; $I_{\max}$, $I_{\text{ср}}$ — максимальное и среднее значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), принимаемое по СНП II-A.6-72 для покрытий как для горизонтальной поверхности, Вт/м²; D — тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле (2.11); $s_1, s_2, \dots, s_n$ — расчетные коэффициенты теплоусвоения слоев ограждающей конструкции (см. табл. 2.5); $y_1, y_2, \dots, y_n$ — коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

При $D \geq 1$ коэффициенты y равны коэффициенту теплоусвоения s материала этого слоя. При $D < 1$ для первого слоя

$$y = (R_1 s_1^2 + \alpha_n)/(1 + R_1 \alpha_n); \quad (2.83)$$

для i -го слоя

$$y_i = (R_i s_i^2 + y_{i-1})/(1 + R_i y_{i-1}), \quad (2.84)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_i$ — термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции, м²·°C/Вт.

Таблица 2.28. Значения коэффициента m (СНиП II-33-75)

Материал конструкции	Расчетная толщина конструкции, см	Коэффициент теплопроводности λ , в.д.ж/(м·с)	Коэффициент температуропроводности a , м²/ч	Значение m при продолжительности периода поступления прямой солнечной радиации на фасад здания, ч			
				12	10	8	6
Бетон, железобетон, естественные камни	3,5	1,0—1,74	0,002—0,003	0,78	0,71	0,64	0,54
	5			0,7	0,64	0,55	0,45
	10			0,6	0,53	0,45	0,38
	15			0,53	0,48	0,42	0,36
	28			0,45	0,41	0,36	0,31
Кирпичная кладка, легкие бетоны	≥ 40	0,7—0,9	0,0012—0,0019	0,42	0,4	0,35	0,3
	6			0,74	0,65	0,57	0,49
	13			0,6	0,55	0,49	0,43
	19			0,58	0,53	0,47	0,42
	≥ 26			0,55	0,5	0,45	0,41

Примечания. 1. Толщину стен и перегородок, разделяющих два нагреваемых солнцем помещения (смежных), следует принимать равной половине их фактической толщины, а разделяющих нагреваемое и неотапливаемое помещения — фактической толщине. 2. При ориентации проема на Ю, ЮЗ или З коэффициент m следует умножать на 1,2.

Расчетное количество тепла от солнечной радиации Q_p , Вт, с учетом аккумуляции тепла внутренними ограждающими конструкциями определяют в функции от площадей стен F_1 , F_2 , F_3 , потолка F_4 , пола F_5 , м², и соответствующих им коэффициентов аккумуляции тепла m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 (табл. 2.28):

при отсутствии наружных солнцезащитных средств

$$Q_p = Q_0 \left(\frac{F_1 m_1 + F_2 m_2 + F_3 m_3 + 0,5 F_4 m_4 + 1,5 F_5 m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5} \right); \quad (2.85)$$

при использовании наружных солнцезащитных устройств

$$Q_p = Q_0 \left(\frac{F_1 m_1 + F_2 m_2 + F_3 m_3 + F_4 m_4 + F_5 m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5} \right), \quad (2.86)$$

где Q_0 — максимальное количество тепла, поступающего через оконные проемы, Вт.

2.4. БАЛАНС ТЕПЛА

Тепловой баланс составляют на основе расчетов теплопоступлений и теплопотерь во все периоды года. В разделе теплопоступлений в холодный и переходный периоды года учитывают тепло от освещения, а в теплый период — от солнечной радиации. Для каждого помещения и цеха в целом составляют отдельный баланс.

Таблица 2.29. Тепловой баланс помещений по явному теплу

Наименование помещений	Период года	Объем помещения, м³	Теплопоступления, Вт					
			от оборудования	от остывающих материалов	от людей	от солнечной радиации	прочие (5—6 % от суммы предыдущих)	Всего
Механическое отделение	Холодный	1730	45600	8200	1160	—	2750	57710
	Переходный		45600	8200	1160	—	2750	57710
	Теплый		44100	5800	770	25300	3800	79770

Пример теплового баланса механического отделения цеха приведен в табл. 2.29. Результатом теплового баланса являются значения избытков или недостатков тепла, которые получают как разность между общим количеством теплоступлений и теплотерь. Дебаланс тепла учитывают при решении задач вентиляции и устраняют средствами отопления помещений (см. гл. 6).

3. РАСЧЕТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

3.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ

Элементы свободной осесимметричной струи (рис. 3.1) включают диаметр выпускного отверстия d_0 или ширину щели b_0 , начальную скорость v_0 и температуру t_0 , текущие значения скорости v_x и температуры t_x на расстоянии x от выпускного отверстия и угол β между направлением оси струи и линией, соединяющей точки, в которых скорость равна половине осевой скорости. В качестве границ струи принимают линии, на которых скорость равна 5% осевой скорости. С учетом этого полный угол расширения струи $\gamma = 4\beta$ [4].

Струи подразделяются на прямоточные и закрученные (рис. 3.2) [40]. К прямоточным относятся плоские, компактные, веерные и конические струи.

В струе выделяют условные поверхности максимальных параметров (ПМП). Значения скоростей v_x , избыточной температуры Δt_x и избыточной концентрации вредных веществ Δz_x на ПМП максимальные и уменьшаются с увеличением расстояния от места выпуска струи x и в ее сечении — от центра к периферии.

Компактная струя образуется при выпуске воздуха из круглого или близкого к квадратному отверстия, ее ПМП является геометрической осью струи. Плоская

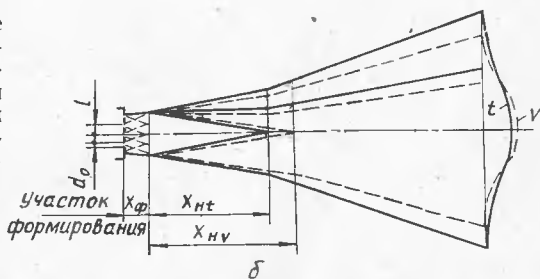
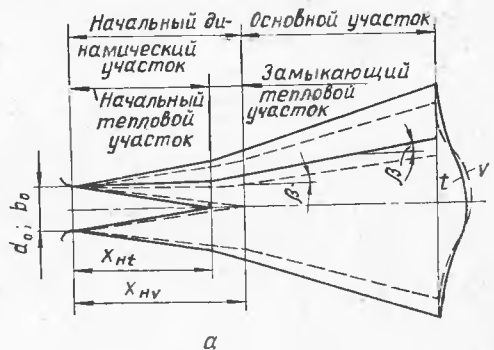


Рис. 3.1. Схемы свободной осесимметричной струи, истекающей из открытого (а) и затененного (б) отверстий.

Теплотери, Вт						Избытки тепла		Недостатки тепла	
через ограждающие конструкции	на нагрев infiltrирующегося воздуха	на нагрев материалов и транспорта	на нагрев воздуха, поступающего через открытые проемы	прочие (5—6 % от суммы предыдущих)	Всего	общие, Вт	удельные, Вт/м²	общие, Вт	удельные, Вт/м²
86500	25950	20300	—	6640	139390	—	—	81680	47,21
35700	10700	9100	—	2780	58280	570	0,33	—	—
—	—	—	—	—	—	79770	46,11	—	—

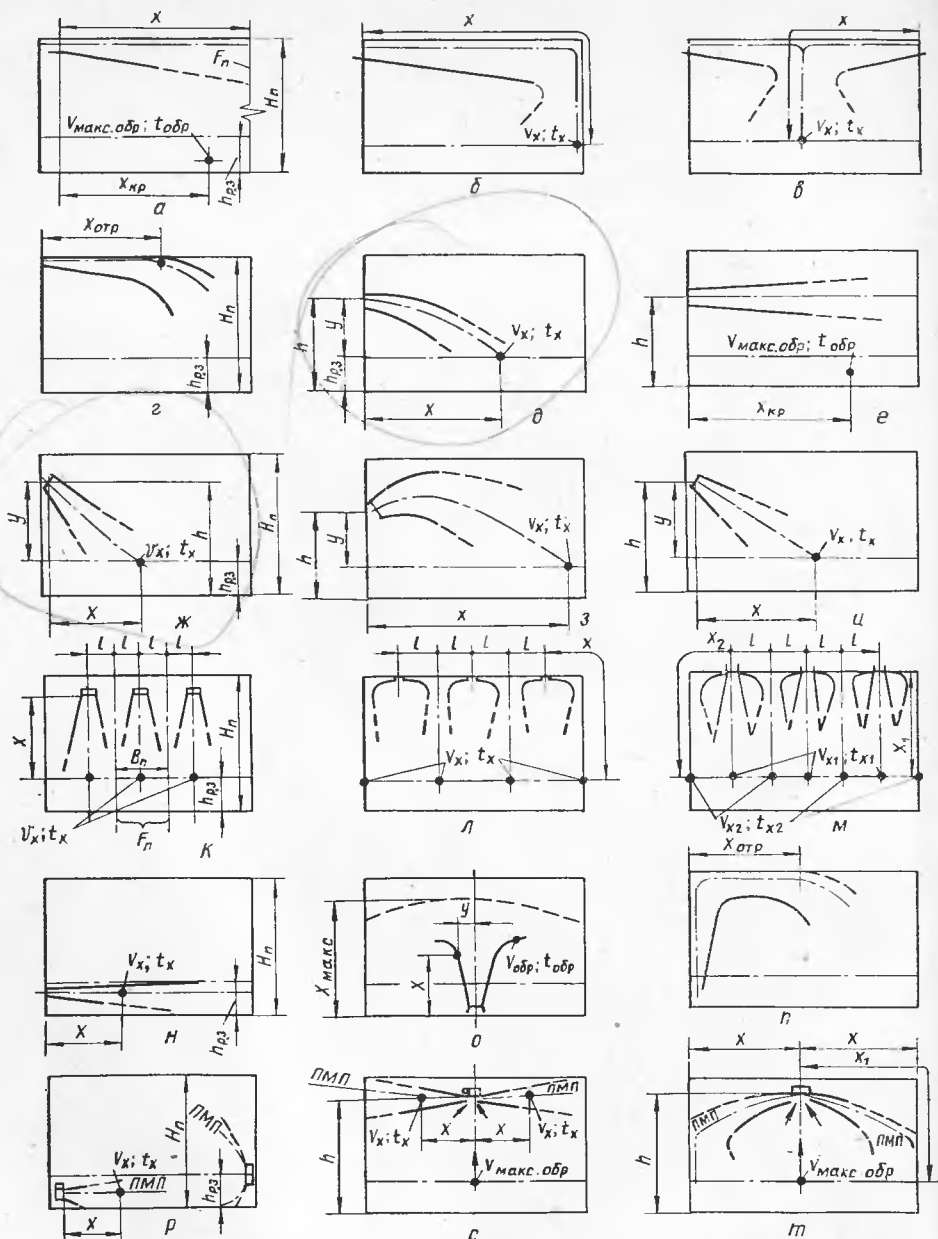


Рис. 3.2. Схемы струй при различных способах подачи воздуха:

а — г — горизонтально с настилянием; б, е — горизонтально без настиляния; ж — и — под углом к горизонтальной плоскости; к — вертикально сверху вниз; л, м — горизонтально с настилянием и вертикально сверху вниз (двухструйно); н — горизонтально в рабочую зону; о — вертикально без настиляния снизу вверх; п — вертикально с настилянием снизу вверх; р — закрученными струями в рабочей зоне горизонтально; с — закрученными струями горизонтально с настилянием и без настиляния; т — то же, без настиляния; у — горизонтально и наклонно закрученными струями в верхнюю зону.

струя образуется при выпуске воздуха из вытянутого прямоугольного отверстия; при этом ПМП совпадает с длиной плоскостью симметрии струи. Плоскую струю на расстоянии $x > 6l_0$, где l_0 — размер большей стороны прямоугольного отверстия, принято рассчитывать как компактную. Коническая струя образуется в результате выпуска воздуха радиально через кольцевое отверстие под острым углом к геометрической оси конуса; коническая поверхность, расположенная в центре струи, представляет ПМП. Верная струя является частным случаем конической, когда угол выпуска струи относительно оси конуса равен 90° . Верная струя, как и коническая, может быть полной и неполной.

Прямоточная струя, истекающая вблизи ограждения, настиляется на него и образует настилающуюся струю. У такой струи ПМП почти совпадает с плоскостью ограждения.

Закрученная струя образуется при движении воздуха через закручивающие устройства или при тангенциальном подводе воздуха к воздухораспределителю. Форма струи получается верная или коническая: при этом ПМП представляет собой сложную поверхность и ПМП скорости (ПМС) может не совпадать с ПМП избыточной температуры (ПМТ) и концентрации (ПМК). Закрученная струя с увеличением расстояния от источника трансформируется в прямоточную с большей площадью поперечного сечения.

Различают струи свободные, на которые не влияют ограничивающие плоскости и соседние струи, а также стесненные, испытывающие тормозящее влияние обратных, индуцированных основной струей потоков. В свободных струях выделяют начальный участок, в котором сохраняются максимальные начальные параметры на оси струи, и основной участок, в котором значения параметров ниже начальных.

Взаимодействие свободных параллельных однонаправленных струй учитывают коэффициентом взаимодействия k_v . При этом значения параметров воздуха в общей струе больше по сравнению с параметрами отдельной струи.

В стесненной струе, выпускаемой в помещение, выделяют первое и второе критические сечения, площадь которых достигает соответственно 25 % и более и 40 % площади поперечного сечения помещения. Развитие стесненной струи учитывают коэффициентом стеснения k_c . Значения скоростей уменьшаются и, начиная со второго критического сечения, струя затухает. На участке от первого до второго критического сечения избыточная температура падает меньше, а после второго остается постоянной. При равномерном распределении в помещении выпускных отверстий, создающих однонаправленные струи, подпитываемые обратными потоками, для расчета применяют коэффициент k_c и не учитывают k_v .

Изотермические условия характеризуются одинаковыми температурами струи и воздуха помещения. На струю воздействуют только инерционные силы. В неизотермических условиях струя развивается под влиянием инерционных и гравитационных сил, обусловленных разностью плотностей воздуха струи и помещения. Холодная струя, выпущенная горизонтально, опускается вниз, а нагретая — поднимается вверх. Вертикально выпущенная струя может затормозиться на расстоянии $x_{\max}$ и изменить направление движения на обратное. Вертикальная струя, направленная вверх, настилаясь на поверхность окна или стены, продолжает движение, настилаясь на потолок, и при охлаждении отрывается от потолка на расстоянии $x_{\text{отр}}$. Траекторию струи и значения ее параметров рассчитывают с учетом коэффициента неизотермичности k_n .

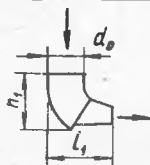
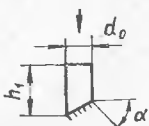
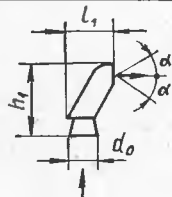
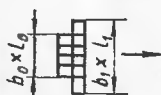
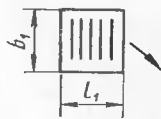
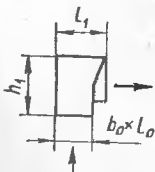
3.2. ПОДБОР ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне могут обеспечить правильно подобранные воздухораспределители (табл. 3.1, 3.2).

Подачу воздуха непосредственно в рабочую зону осуществляют прямоточными струями с помощью воздухораспределителей типа ВПП и закрученными — типа ВПЭП и ВЭП [40].

Для подачи воздуха выше рабочей зоны при кратностях воздухообмена до 10 ч^{-1} рекомендуется совмещать вентиляцию с воздушным отоплением, применяя компактные струи от воздухораспределителей типа ВГК, закрученные и конические — от ВЭС, неполные верные — от НРВ, РР и компактные — от РР; при кратностях воздухообмена от 10 до 20 ч^{-1} — применяя верные струи от ВДУМ, ВЦ, ВЭЦ, неполные верные — от НРВ, РР, конические — от ВДУМ, ВЭП и двухструйные — от ВДУМ; при кратностях более 20 ч^{-1} — применяя двухструйные потоки от ВДУМ, перфорированные воздухораспределители типа ВПК и панели типа ВПЭП.

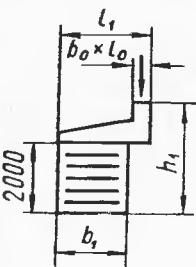
Таблица 3.1. Характеристика типовых воздухораспределителей [40]

Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз	
			$d_o, b_o \times l_o$	
Воздухораспределители, образующие				
Патрубок поворотный душирующий (серия 4.904-22) — для душирования рабочих мест при подводе воздуха сверху		ППД-5 ППД-6 ППД-8	500 630 800	
Патрубок душирующий (серия 4.904-36) — для душирования постоянных рабочих мест с увлажнением и без увлажнения воздуха, с возможностью подвода его сверху и снизу		ПДв-3 ПДв-4 ПДв-5	315 400 500	
		ПДв-3 ПДв-4 ПДв-5	315 400 500	
Решетка воздухоприточная регулируемая (серия 1.494-8) — для подачи воздуха в помещения вспомогательных и общественных зданий системами отопления, вентиляции и кондиционирования		PP1, исполнение A1B1 PP2, исполнение A2B2 PP3, исполнение A3B3 PP4, исполнение A4B4 PP5, исполнение A5B5	100×200 100×400 200×200 200×400 200×600	
Решетка щелевая (серия 1.494-10) — для подачи и удаления воздуха из помещений с пониженными требованиями к параметрам воздуха рабочей зоны		P150 (СТД-296) P200 (СТД-296)	—	
Воздухораспределитель (серия 4.904-68) — для сосредоточенной подачи воздуха в производственные и вспомогательные помещения, а также для душирования группы по-		ВГК-1 ВГК-2 ВГК-3 ВГК-4	400×800 800×800 800×1600 1600×1600	

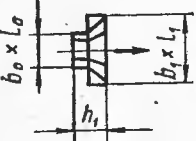
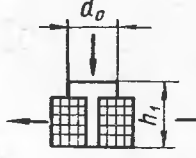
меры, мм			$F_{\text{с}}, \text{м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
d_1, b_1	h_1	l_1		скрости воздуха $v_{\text{с}}, \text{м/с}$	расхода воз- духа $L_{\text{с}}, \text{м}^3/\text{ч}$	

компактные прямоточные струи

—	1260 1540 1900	1010 1260 1590	0,1 0,16 0,26	1—5	360—1300 580—2900 940—4700	61 88 125
—	760 960 1200	—	0,14 0,23 0,36	1—5	500—2500 830—4150 1300—6500	20,7 30 42,7
—	895 1220 1450	553 689 831	0,14 0,23 0,36	1—5	500—2500 830—4150 1300—6500	24,3 35,1 52,1
150	—	250	0,016	2—5	115—290	1,05
150	—	450	0,032		230—580	1,8
250	—	250	0,032		230—580	1,7
250	—	450	0,064		460—1050	3
250	—	650	0,096		690—1730	4,5
200 252	—	200 252	0,0144 0,0256	1—3	50—160 90—280	0,4 0,6
—	565 1035 1035 1970	765 1335 1335 2460	0,32 0,64 1,28 2,56	5—15	5750—17200 11500—34500 23000—69000 46000— —138000	60 121 191 413

Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз	
			$d_o, b_o \times l_o$	
стоянных рабочих мест (исполнение с нижним и верхним подводом воздуха)				
Воздухораспределитель пристенный панельный (серия 4.924-59) — для подачи воздуха в рабочую зону производственных помещений горизонтальным потоком (исполнение с правым и левым подводом воздуха)		ВПП-51 ВПП-52 ВПП-53 ВПП-81 ВПП-82 ВПП-101	500×500 500×500 500×500 500×800 500×800 500×1000	

Воздухораспределители, образующие

Решетка воздухоприточная регулируемая (серия 1.494-8)		РР1, исполнение А1В1 РР2, исполнение А2В2 РР3, исполнение А3В3 РР4, исполнение А4В4 РР5, исполнение А5В5	100×200 100×400 200×200 200×400 200×600	
Воздухораспределитель приколонный регулируемый веерного типа (серия 1.494-37) — для подачи воздуха в производственные помещения с установкой у колонн и стен на высоте 3—5 м от пола с системами отопления и вентиляции с возможностью сезонного регулирования угла наклона лопаток в горизонтальной плоскости (исполнение с верхним и нижним подводом воздуха)		НРВ-1 НРВ-2 НРВ-3 НРВ-4 НРВ-5 НРВ-6 НРВ-7 НРВ-8 НРВ-9 НРВ-10 НРВ-11 НРВ-12	280 355 630 710 900 1250 400 500 710 1000 1250 1400	

меры, мм			$F_0, \text{м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
d_1, b_1	h_1	l_1		скорости вз- духа $v_0, \text{м/с}$	расхода вз- духа $L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	
1600	2588	2233	1,5	0,3—2	1620—10800	168,4
3810	2588	3811	3		3240—21600	296,8
4760	2588	5391	4,5		4860—32300	423,1
2390	2892	3325	2,25		2430—16200	272,1
3960	2892	4905	3,75		4040—27000	397
3180	3096	4319	3		3240—21600	363

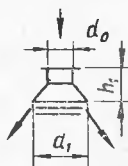
неполиые веерные прямоточные струи

150	112	250	0,016		115—290	1,2
150	112	450	0,032		230—580	1,9
250	112	250	0,032	2—5	230—580	1,7
250	112	450	0,064		460—1050	3
250	112	650	0,096		690—4730	4,5
—	300	—	0,032×2	5—9	1000—1800	11,7
	478		0,056×2	5,5—10,6	2200—4300	15,2
	478		0,112×2	6—12,7	4800—10000	26,9
	678		0,168×2	6—12	7200—14500	52,8
	685		0,252×2	7—10	12700—18200	88
	689		0,336×2	7,5—10,8	18200—26100	126
	278		0,028×4	5—9	2000—3600	20
	478		0,056×4	5,5—10,6	4400—8600	27,9
	478		0,112×4	6—12,7	9600—20000	57,9
	685		0,168×4	6—12	14000—29000	93
	689		0,252×4	7—10	25400—36400	154,3
	689		0,336×4	7,5—10,8	36400—52200	209,4

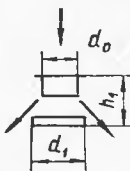
Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз
			$d_o \times b_o \times l_o$

Воздухораспределители, образующие

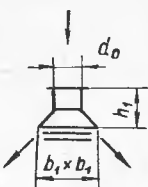
Воздухораспределитель универсальный, модернизированный (серия 1.494-19) — для подачи воздуха в помещения производственных и административно-общественных зданий системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха



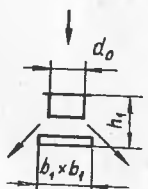
ВДУМ-2Д	250
ВДУМ-3Д	315
ВДУМ-4Д	400
ВДУМ-5Д	500
ВДУМ-6Д	630
ВДУМ-8Д	800
ВДУМ-10Д	1000



ВДУМ-2	250
ВДУМ-3	315
ВДУМ-4	400
ВДУМ-5	500
ВДУМ-6	630
ВДУМ-8	800
ВДУМ-10	1000



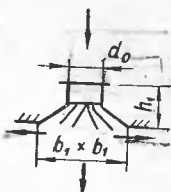
ВДУМп-2Д	250
ВДУМп-3Д	315
ВДУМп-4Д	400
ВДУМп-5Д	500
ВДУМп-6Д	630
ВДУМп-8Д	800
ВДУМп-10Д	1000



ВДУМп-2	250
ВДУМп-3	315
ВДУМп-4	400
ВДУМп-5	500
ВДУМп-6	630
ВДУМп-8	800
ВДУМп-10	1000

Воздухораспределитель, образующий

Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения (серия 4.904-29) — для подачи воздуха в помещения с повышенными требованиями к интерьеру системами вентиляции и кондиционирования воздуха (вариант из алюминия ВДШПА серии 1.494-29)



ВДШп-2	250
ВДШп-3	315
ВДШп-4	400
ВДШп-5	500
ВДШп-6	630
ВДШп-8	800

меры, мм			$F_0, \text{м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
d_1, b_1	h_1	l_1		скорости воз- духа $v_0, \text{м/с}$	расхода возду- ха $L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	

всерные и конические прямооточные струи

550	130	—	0,05	4—12	720—2160	7,4(6,45)
680	160		0,08		1150—3450	11(9,5)
850	200		0,13		1870—5650	15,8(13,75)
1064	250		0,2		2880—8650	24,5(21,5)
1324	320		0,31		4460—13400	38,8(34,35)
1680	400		0,5		7200—21600	60,8(54,3)
2100	500		0,785		11300—33900	95(85,4)
375	202	—	0,05	4—12	720—2160	4,75(3,8)
475	242		0,08		1150—3450	6,85(5,35)
600	292		0,13		1870—5650	10,6(8,55)
750	352		0,2		2880—8650	15,3(12,3)
945	432		0,31		4460—13400	26,2(31,75)
1200	532		0,5		7200—21600	38,6(32,14)
1500	705		0,785		11300—33900	62,7(53,1)
550	223	—	0,05	4—12	720—2100	11,6(10,65)
630	263		0,08		1150—3450	17,1(15,6)
850	313		0,13		1870—5650	22,2(21,25)
1050	370		0,2		2880—8650	31,3(27,3)
1324	447		0,31		4460—13400	54,1(49,65)
1630	550		0,5		7200—21600	83(76,54)
2100	721		0,785		11300—33900	128(118,4)
375	202	—	0,05	4—42	720—2100	4,93(3,98)
475	242		0,08		1150—3450	7,22(5,72)
600	292		0,13		1170—5650	11,3(10,25)
750	352		0,2		2880—8650	15,6(12,8)
945	432		0,31		4460—13400	28,2(12,8)
1200	532		0,5		7200—21600	41,8(35,34)
1500	705		0,785		11300—33900	69,9(56,3)

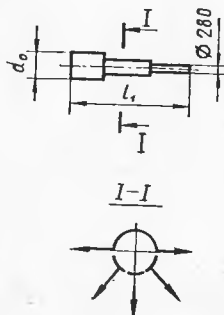
всерную и компактную струи (прямоточные)

530	141	—	0,05	2—5	390—900	10,07
660	158		0,08		575—1440	14,51
830	201		0,13		935—2340	22,3
1030	227		0,2		1140—3600	31,64
1290	261		0,31		2230—5400	45,82
1680	304		0,5		3600—9000	68,38

Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз
			$d_o, b_o \times l_o$

Воздухораспределитель, образующий

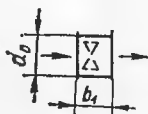
Воздухораспределитель перфорированный круглый (серия 4.904-24) — для рассеянной подачи приточного воздуха в производственные помещения системами вентиляции и кондиционирования воздуха



ВПК-1 № 4	315
ВПК-1 № 6	400
ВПК-1 № 8	400
ВПК-1 № 10	450
ВПК-1 № 12	450
ВПК-1 № 14	500
ВПК-1 № 16	500
ВПК-1 № 18	630
ВПК-1 № 20	630
ВПК-1 № 22	630
ВПК-1 № 24	630
ВПК-1 № 26	710
ВПК-1 № 28	710
ВПК-1 № 30	800
ВПК-1 № 32	800
ВПК-2 № 4	400
ВПК-2 № 6	450
ВПК-2 № 8	500
ВПК-2 № 10	630
ВПК-2 № 12	630
ВПК-2 № 14	630
ВПК-2 № 16	800

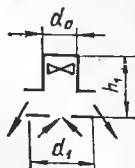
Воздухораспределители, образующие конические

Воздухораспределитель эжекционный (серия 1.494-17) — для сосредоточенной подачи воздуха из верхней в рабочую зону производственных помещений системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха



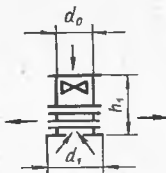
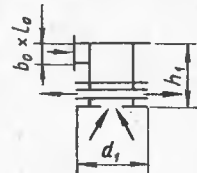
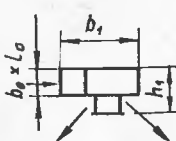
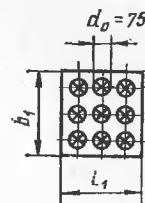
ВЭС-8/50	800
ВЭС-10/50	1000
ВЭС-12 5/50	1250
ВЭС-14/50	1400
ВЭС-16/50	1600

Воздухораспределитель эжекционный потолочный (серия 1.494-20) — для подачи воздуха в направлении рабочей зоны производственных помещений сверху вниз с высоты 4 м и более



ВЭПв-3	315
ВЭПв-4,5	450
ВЭПв-6	630
ВЭПв-9	900
ВЭПв-12,5	1250
ВЭПв-14	1400

меры, мм			$F_0, \text{м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
d_1, b_1	h_1	l_1		скорости воз- духа $v_0, \text{м/с}$	расхода возду- ха $L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	
плоскую струю (прямоточную)						
—	—	4000	0,1	4—8	1440—2880	25
		6000	0,16		2300—4600	48
		8000	0,21		3020—6040	61
		10000	0,26		3740—7480	82
		12000	0,31		4460—8920	101
		14000	0,36		5180—10360	124
		16000	0,42		6050—12100	146
		18000	0,47		6760—13520	187
		20000	0,52		7500—15000	225
		22000	0,57		8200—16400	264
		24000	0,63		9050—18100	302
		26000	0,68		9800—19600	348
		28000	0,73		10500—21000	391
		30000	0,78		11200—22400	443
		32000	0,83		12000—24000	491
		4000	0,16		2300—4600	30,5
		6000	0,26		3740—7480	51
		8000	0,36		5180—10360	74
		10000	0,47		6760—13520	115
		12000	0,57		8200—16400	158
		14000	0,68		9800—19600	199
		16000	0,78		11200—22400	251
или полные веерные закрученные струи						
—	700	—	0,5	6—12	10800—21600	22,2
	965		0,78		16850—33700	45,6
	1210		1,23		26570—53140	69,3
	1350		1,54		33260—66530	85,4
	1530		2		43200—86000	136,8
437	497	—	0,78	6—12	1680—3370	6,3
617	701		0,16		3430—6870	14,1
880	978		0,31		6730—13460	24,4
1237	1880		0,64		13820—27650	74,8
1750	1905		1,23		26570—53140	136,7
1960	2137		15,4		33260—66530	168,2

Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз	
			$d_o, b_o \times l_o$	
Воздухораспределитель эжекционный пристенный (серия 1.494-5) — для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону		ВЭП-3 ВЭП-4,5 ВЭП-6	315 450 630	
Воздухораспределитель эжекционный центробежный (серия 1.494-16) — для подачи воздуха в верхнюю зону помещений с высоты 4 м и менее в промышленных и административно-общественных зданиях		ВЭЦ-2,8 ВЭЦ-3 ВЭЦ-4,5 ВЭЦ-6 ВЭЦ-9	70×140 79×160 113×225 158×315 225×450	
Воздухораспределитель центробежный (серия 1.904-52) — для подачи воздуха в производственные помещения горизонтальными или коническими вертикальными струями		ВЦ-5 ВЦ-6 ВЦ-7 ВЦ-9	250×400 400×500 500×800 800×800	
Воздухораспределитель пристенный эжекционный, панельный (серия 1.494-18) — для подачи воздуха в рабочую зону производственных помещений с избытками тепла и на любом уровне производственных, административно-общественных, лабораторных помещений без избытков тепла		ВПЭП-11 ВПЭП-11п, ВПЭП-11л, ВПЭП-116 ВПЭП-11Гв П-ВПЭП-11, П-ВПЭП-11Г ВПЭП-12, ВПЭП-12Гв ВПЭП-12Г6 ВПЭП-21 ВПЭП-Д П-ВПЭП-12 П-ВПЭП-12Г ВПЭП-13 ВПЭП-13Г6 ВПЭП-13Гв П-ВПЭП-13 ВПЭП-14 ВПЭП-14Г6 ВПЭП-14Гв ВПЭП-22		

меры, мм			$F_{\text{о}}, \text{м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
d_1, b_1	h_1	l_1		скорости в з-духа $v_{\text{о}}, \text{м/с}$	расхода в з-духа $L_{\text{о}}, \text{м}^3/\text{ч}$	
437 617 880	590 890 1160	—	0,078 0,16 0,31	6—12	1680—3370 3430—6870 6780—13460	8,3 17,9 23
364×364 437 617 880 1837	407 413 490 626 805	—	0,01 0,013 0,025 0,05 0,1	4—8 6—12	144—288 187—375 540—1080 1400—4300 2160—4320	7 7,7 13,9 26,3 45,2
720 1085 1442 2066	720 970 1450 1600	—	0,1 0,2 0,4 0,64	4—12	1400—4300 2800—8500 5700—17000 9200—27400	32 61,5 145,5 229,5
590 1090	—	1090 590	0,22	1,6—6,3	1250—5000	39 39,2
1090		590				37
570		1070				5,5
1130		1150	0,44	1,6—6,3	2500—10000	71,5
1130		1150				72,5
590		2180				69
2×590		1090				33
1136		1106				18,5
1136		1106	0,66	1,6—6,3	3750—13000	18,8
1710		1150				96
1710		1150				97
1710		1150				99
1666		1106				25,5
2240		1150	0,88	1,6—6,3	5000—20000	118
2240		1150				119
2240		1150				118,5
2240		1150				129

Воздухораспределитель и область применения	Эскиз	Тип, марка	Раз	
			d_o	$b_o \times l_o$
(См. с. 50)	(См. с. 50)	ВПЭП-22Г6 ВПЭП-22Гв П-ВПЭП-14 П-ВПЭП-14Г ВПЭП-23 ВПЭП-23Г6 ВПЭП-23Гв ВПЭП-Т ВПЭП-24, ВПЭП-24Гв ВПЭП-24Г6	—	

Примечание. Масса в скобках относится к воздухораспределителю без регулятора

Высоту установки воздухораспределителей рекомендуется принимать для РР, НРВ, ВЭЦ, ВПЭП до 4 м, для РР, НРВ, ВГК, ВДУМ, ВДШ, ВПК, ВЦ, ВЭПв — 4—6 м, для ВГК, ВЭС — более 6 м от пола.

Т а б л и ц а 3.2. Значения коэффициентов m , n и ζ [4, 40]

Воздухораспределители (см. табл. 3.1)	m	n	ζ
ППД-5÷ППД-8	6,3	4,5	4
ПДв-3÷ПДв-5 при $\alpha=30^\circ$	5,3	4,5	1,6
45°	5,1	3,4	1
60°	4,5	3,1	0,8
ПДн-3÷ПДн-5 при $\alpha=0^\circ$	4,5	3,1	3,2
+20°	4,5	3,1	3,2
-20°	4	2,8	2,8
РР-1÷РР-5, образующие компактные струи	4,5	3,2	2,2
Р150, Р200	4	3	2
ВГК-1÷ВГК-4	6,2	5,1	1,9
РР-1÷РР-5, образующие веерные струи	1,8	1,2	3,3
НРВ-1÷НРВ-12	2	1,6	3
ВДУМ-2Д÷ВДУМ-10Д	5,1—1,1	4,2—0,8	5,9—1,4
ВДУМ-2÷ВДУМ-10	1,5—0,6	2—0,8	1,3
ВДУМп-2Д÷ВДУМп-6Д	1,9—0,7	2,4—0,8	2—1,3
ВДУМп-8Д÷ВДУМп-10Д	1,9—0,7	2,4—0,8	1,3
ВДУМп-2÷ВДУМп-10	2,2—1,6	2,5—1,9	1,5
ВДШп-2÷ВДШп-8	0,8	0,65	1,3
	(1,4)	(1,05)	
ВПК-1 № 4	0,24	0,22	1,7
ВПК-1 № 6 и № 8	0,22	0,2	1,7
ВПК-1 № 10 и № 12	0,21	0,19	1,7
ВПК-1 № 14 и № 16	0,2	0,18	1,7
ВПК-1 № 18	0,19	0,18	2
ВПК-1 № 20 и № 24	0,18	0,17	2
ВПК-1 № 26 и № 28	0,18	0,16	2
ВПК-1 № 30 и № 32	0,17	0,16	2
ВПК-2 № 4	0,3	0,27	1,7
ВПК-2 № 6	0,28	0,26	1,7
ВПК-2 № 8	0,27	0,25	1,7
ВПК-2 № 10 и № 12	0,26	0,23	2

меры, мм			$F_o, \text{ м}^2$	Рекомендуемые значения		Масса, кг
$d_1, \text{ б}_1$	h_1	l_1		скорости воз- духа $v_o, \text{ м/с}$	Расхода воз- духа $L_o, \text{ м}^3/\text{ч}$	
1180	—	2300	0,88	1,6—6,3	5000—20000	131
2196		1106				131,1
2196		1106				33
2196		1106				33,3
1710		2300	1,32	1,6—6,3	7500—30000	170
1710		2300				171
1710		2300				168
3×1267		1150				77
2240	—	2300	1,77	1,6—6,3	10000—40000	210
2240		2300				212

расхода.

Продолжение табл. 3.2

Воздухораспределители (см. табл. 3.1)	m	n	ζ
ВПК-2 № 14	0,24	0,22	2
ВПК-2 № 16	0,23	0,21	2
ВЭС-8/50÷ВЭС-16/50	2,5	2,4	5,2
ВЭПв-3÷ВЭПв-14	0,5	0,4	4,2
ВЭП-3÷ВЭП-6	0,4	0,35	4
ВЭЦ-2,8÷ВЭЦ-9	0,7	1	2,5
ВЦ-3÷ВЦ-9	0,8	1	6,2
	(1,3)	(1,6)	(5,8)
Воздухораспределитель пристенный эжекци- онный панельный типа ВПЭП всех модифи- каций	—	—	2,5
Цилиндрическая труба	6,8	4,8	1,1
Цилиндрическая труба после отвода с дли- ной прямой части, равной 0,4—0,8 диамет- ра	5,4	3,6	1,5
Решетки, сетки перфорированные решетки с коэффициентом живого сечения $k_{ж.с}=0,5\div$ $\div 0,8$	6	4,2	1,8

Примечания. 1. Для ВДУМ приведены предельные значения коэффициентов в зависи-
мости от положения отражателя и относительного расстояния. 2. Для ВДШ значения m и n
без скобок для компактной вертикальной, в скобках — для настилающейся веерной струи, а для
ВЦ без скобок для веерной, в скобках — для конической вертикальной струи. 3. При настилении
струй коэффициенты m и n надо умножать на k_v (табл. 3.7), за исключением ВДШ и распре-
делителей, образующих закрученные струи. 4. Для ВПК при расчетах коэффициентов эффектив-
ности воздухообмена $\chi_{кр}$, Δt_o и $l_{п}$ следует принимать $m=0,5$ и $n=1$; для настилающихся плос-
ких струй в этих случаях $m=0,7$ и $n=1,4$. 5. Для закрученных струй значения m и n даны
осредненные по длине струи.

3.3. РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Воздухораспределители рекомендуется рассчитывать по нулевым выпускам соот-
ветствующих серий, за исключением тех, для которых такие выпуски не разработа-
ны. Для этих воздухораспределителей расчетные зависимости приведены в табл. 3.3.

В случае расположения воздухораспределителя в рабочей зоне (рис. 3.2, $n-p$)
или вблизи ее возникает необходимость рассчитать параметры начального участка
струи (см. табл. 3.3). В формулах (3.1)—(3.6) значения m , n , F_o , b_o , v_o принимают

Таблица 3.3. Расчетные зависимости для начального участка приточных струй [40]

Параметры	Струи	
	компактные и веерные	плоские
Длина начального участка: по скорости по температуре и концентрации вредных веществ	$x_{н.в} = m \sqrt{F_0} \quad (3.1)$ $x_{н.т} = n \sqrt{F_0} \quad (3.3)$	$x_{н.в} = m^2 b_0 \quad (3.2)$ $x_{н.т} = n^2 b_0 \quad (3.4)$
Максимальная скорость	$v_x = v_0 \sqrt{k_{ж.с} k_n} \quad (3.5)$	
» избыточная температура	$\Delta t_x = \Delta t_0 \sqrt{k_{ж.с}} \frac{1}{k_n} \quad (3.6)$	

по табл. 3.1 и 3.2; коэффициент живого сечения $k_{ж.с}$ решеток определяют как отношение $F_0/b_0 l$, а незатененных отверстий — принимают равным 1. Значение k_n при $6 < H/F_0 < 14,7$, где H — геометрическая характеристика струи (табл. 3.4), а также для вертикальных струй принимают по графику, представленному на рис. 3.3.

Подачу воздуха на рабочие места помещений осуществляют основными участками струй (см. табл. 3.4). В формулах (3.7) — (3.10) коэффициент стеснения k_c принимают по табл. 3.5, причем в (3.8) и (3.10) $k_c \geq 10$. Для поливых веерных струй k_c принимают по табл. 3.6.

Коэффициент взаимодействия k_v для компактных и веерных струй зависит от количества струй и отношения x/l (табл. 3.7), где x — длина струи, l — половина

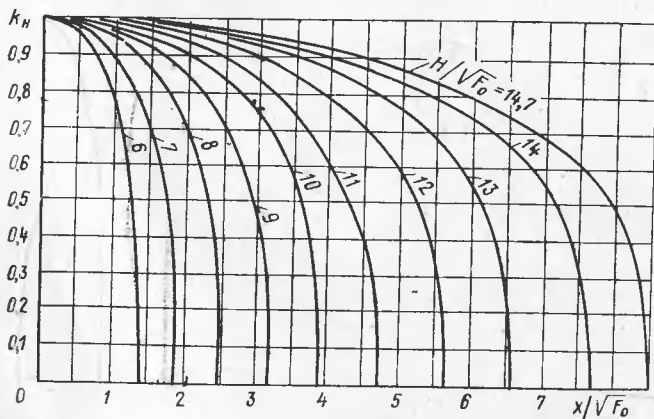


Рис. 3.3. Зависимость коэффициента k_n при вертикальной подаче нагретого воздуха вниз (охлажденного — вверх) от $x/\sqrt{F_0}$.

расстояния между воздухораспределителями, м. Из условий ограничения параметров воздуха принимают $x/l \leq 1,8$ (рис. 3.2, к, л, м). Для настилающихся струй значение k_v принимают как для двух струй.

Коэффициент неизотермичности рассчитывают в зависимости от геометрической характеристики струи H . Знак «—» принимают при нагретой струе, а «+» — при охлажденной. Если $H/\sqrt{F_0} > 100$, то струи изотермические и $k_n = 1$. В формулах (3.9) и (3.10) k_n также равно 1 при подаче воздуха ненастилающимися горизонталь-

Таблица 3.4. Расчетные зависимости для основного участка приточных струй [49]

Параметры	Виды струй	Зависимости
Максимальная скорость	Компактные веерные и конические (рис. 3.2, а — n) Плоские (рис. 3.2, а — n)	$v_x = \frac{mv_0 \sqrt{F_0}}{x} k_c k_B k_H \quad (3.7)$ $v_x = \frac{mv_0 \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} k_c k_B k_H \quad (3.8)$
Максимальная разность температур	Компактные веерные и конические (рис. 3.2, а — n) Плоские (рис. 3.2, а — n)	$\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{F_0}}{x} \cdot \frac{k_B}{k_c k_H} \quad (3.9)$ $\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot \frac{k_B}{k_c k_H} \quad (3.10)$
Геометрическая характеристика	Компактные и веерные (рис. 3.2, а — n) Плоские (рис. 3.2, а — n)	$\varphi H \approx 5,45 \frac{mv_0 \sqrt{F_0}}{\sqrt{n \Delta t_0}} \quad (3.11)$ $H \approx 9,6 \sqrt[3]{\frac{b_0 (mv_0)^4}{(n \Delta t_0)^2}} \quad (3.12)$
Текущий критерий Архимеда	Компактные и веерные (рис. 3.2, а — n) Плоские (рис. 3.2, а — n)	$Ar_x = 1,2 \left(\frac{x}{H} \right)^2 \quad (3.13)$ $Ar_x = \sqrt[3]{\left(\frac{x}{H} \right)^3} \quad (3.14)$
Вертикальное расстояние от геометрической оси неизотермической струи до уровня истечения при угле выпуска к горизонтальной плоскости α	Компактные и веерные (рис. 3.2, д, ж, з, и) Плоские (рис. 3.2, д, ж, з, и)	$y = x \operatorname{tg} \alpha + \frac{x^3}{3H^2 \cos^2 \alpha} \quad (3.15)$ $y = x \operatorname{tg} \alpha + 0,4 \sqrt{\frac{x^5}{H^3 \cos^2 \alpha}} \quad (3.16)$
То же, при горизонтальной подаче охлажденного воздуха	Компактные и веерные (рис. 3.2, д, ж, з, и) Плоские (рис. 3.2, д, ж, з, и)	$y = \frac{x^3}{3H^2} \quad (3.17)$ $y = 0,4 \sqrt{\frac{x^5}{H^3}} \quad (3.18)$
Расстояние от воздухораспределителя до места отрыва настилающейся на потолок струи, выпущенной горизонтально	Компактные (рис. 3.2, е) Плоские и веерные (рис. 3.2, е)	$x_{\text{отр}} = 0,5H \quad (3.19)$ $x_{\text{отр}} = 0,4H \quad (3.20)$
Дальнобойность вертикальной струи при отсутствии ограничений по высоте	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, о) Плоские (рис. 3.2, о)	$x_{\text{макс}} = 0,55H \quad (3.21)$ $x_{\text{макс}} = 0,8H \quad (3.22)$
Глубина зоны действия горизонтальной струи при омывании рабочей зоны обратным потоком	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, е) Плоские: при удалении воздуха из рабочей зоны вблизи места подачи	$l_n = 0,7m \sqrt{F_n} \quad (3.23)$ $l_n = 0,21m^2 H_n \quad (3.24)$

Параметры	Виды струй	Зависимости
	при сосредоточенном удалении в конце струи или рассредоточении из рабочей зоны (рис. 3.2, е)	$l_n = 0,23m^2H_n$ (3.25)
Максимальная скорость в обратном потоке прямооточной горизонтальной струи, выпущенной в верхнюю зону	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, е) Плоские (рис. 3.2, е)	$v_{\text{макс.обр}} = kv_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_n}}$ (3.26) $v_{\text{макс.обр}} = kv_0 \sqrt{\frac{b_0}{H_n}}$ (3.27)
Максимальная разность температур в обратном потоке прямооточной горизонтальной струи, выпущенной в верхнюю зону	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, е)	$\Delta t_{\text{макс.обр}} = 1,4\Delta t_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_n}}$ (3.28)
Расстояние от воздухораспределителя до второго критического сечения, имеющего максимальные значения параметров воздуха в обратном потоке	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, е, м) Плоские (рис. 3.2, е, м)	$x_{кр} = 0,3m\sqrt{F_n}$ (3.29) $x_{кр} = 0,1m^2H_n$ (3.30)
Максимально допустимая избыточная температура в струе, подаваемой на высоте $h > 0,5 H_n$, обеспечивающая в рабочей зоне нормируемые параметры	Компактные (рис. 3.2, д — к) Плоские (рис. 3.2, д — к)	$\Delta t = 1300 \frac{v_0^2}{mn} \sqrt{\frac{F_0}{F_n}}$ (3.31) $\Delta t_0 = 400 \frac{v_0^2}{mn} \sqrt{\frac{b_0}{H_n^3}}$ (3.32)
Расстояние от плоскости максимальных скоростей до границы зоны прямого воздействия струи ($v = 0,5 v_x$)	Компактные и неполные веерные (рис. 3.2, к, л, м) Полные веерные (рис. 3.2, к, л, м) Плоские (рис. 3.2, д, ж, з, и)	$R = \frac{0,66x}{m}$ (3.33) $R = \frac{0,095x}{m^2}$ (3.34) $R = \frac{0,67x}{m^2}$ (3.35)
Коэффициент неизотермичности при вертикальной подаче воздуха сверху вниз ($100 > \frac{H}{\sqrt{F_0}} > 14,7$)	Компактные Неполные веерные Плоские	$k_n = \sqrt[3]{1 \pm \left(\frac{x}{H}\right)^2}$ (3.36) $k_n = \sqrt[3]{1 \pm \frac{3}{2} \left(\frac{x}{H}\right)^2}$ (3.37) $k_n = \sqrt[3]{1 \pm 2 \left(\frac{x}{H}\right)^3}$ (3.38)
То же, при горизонтальной подаче воздуха настилающимися струями	Компактные Плоские	$k_n = \sqrt{1 \pm \left(\frac{x}{H}\right)^4}$ (3.39) $k_n = \sqrt{1 \pm \left(\frac{x}{H}\right)^3}$ (3.40)

Параметры	Виды струй	Зависимости
То же, при подаче воздуха под углом к горизонтальной плоскости	Компактные	$k_H = \cos \alpha \times$ $\times \sqrt{\cos^2 \alpha + \left[\sin^2 \alpha \pm \right.}$ $\left. \pm \left(\frac{x^2}{H \cos \alpha} \right)^2 \right]^2} \rightarrow \dots$ (3.41) $k_H = \cos \alpha \quad (3.42)$
	Плоские	$k_H = \sqrt{\cos \alpha} \times$ $\times \sqrt{\cos^2 \alpha + \left[\sin \alpha \pm \right.}$ $\left. \pm \sqrt{\left(\frac{x}{H \cos \alpha} \right)^3} \right]^2} \rightarrow \dots$ (3.43) $k_H = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (3.44)$
	Компактные	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{2}{m} \cdot \frac{x}{\sqrt{F_0}} \quad (3.45)$
	Плоские	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{1,4}{m} \sqrt{\frac{x}{b_0}} \quad (3.46)$
Относительный условный расход воздуха в струе $\bar{L}_{\text{стр}} = L_{\text{стр}}/L_0$ при размещении вытяжки вне зоны непосредственного воздействия струи	Всеерные	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{1,4}{m} \cdot \frac{x}{\sqrt{F_0}} \quad (3.47)$
	Компактные	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{2}{m} \cdot \frac{x}{\sqrt{F_0}} - \frac{x}{h_B} \quad (3.48)$
	Плоские	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{1,4}{m} \sqrt{\frac{x}{b_0}} -$ $- \sqrt{\frac{x}{h_B}} \quad (3.49)$
	Всеерные	$\bar{L}_{\text{стр}} = \frac{1,4}{m} \cdot \frac{x}{\sqrt{F_0}} - \frac{x}{h_B} \quad (3.50)$
✓ Относительная условная площадь струи $\bar{F}_{\text{стр}} = F_{\text{стр}}/F_{\Pi}$	Компактные	$\bar{F}_{\text{стр}} = 4,8 \left(\frac{1}{m} \cdot \frac{x}{\sqrt{F_{\Pi}}} \right)^2 \quad (3.51)$
	Плоские	$\bar{F}_{\text{стр}} = 2,8 \left(\frac{1}{m} \sqrt{\frac{x}{B_{\Pi}}} \right)^2 \quad (3.52)$
	Всеерные	$\bar{F}_{\text{стр}} = 1 - 0,15 \left(z - \frac{H_{\Pi} - h_{\text{p.з}}}{\sqrt{F_{\Pi}}} \right) \quad (3.53)$

Таблица 3.5. Значения коэффициента k_c для компактных, неполных веерных и плоских струй [40]

Форма струи	$F = F_0/F_{\Pi}$	Значения k_c при $\bar{x}$					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Компактная и неполная веерная ($\bar{x} = x/m\sqrt{F_{\Pi}}$)	<0,003	1	1	1	1	1	1
	0,003	1	1	0,9	0,85	0,8	0,75
	0,005	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65
	0,01	1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
	0,05	1	0,8	0,5	0,4	0,2	0,15
	0,1	1	0,7	0,45	0,35	0,15	0,1
	0,2	0,95	0,55	0,35	0,3	0,1	0,05
Плоская ($\bar{x} = x/m^2 H_{\Pi}$)	—	1	0,85	0,7	0,6	0,5	0,4

Таблица 3.6. Значения коэффициента k_c для полных веерных струй [40]

$\frac{H_{\Pi} - h_{p.3}}{\sqrt{F_{\Pi}}}$	k_c	$\frac{H_{\Pi} - h_{p.3}}{\sqrt{F_{\Pi}}}$	k_c	$\frac{H_{\Pi} - h_{p.3}}{\sqrt{F_{\Pi}}}$	k_c
0,1	0,9	0,8	0,7	1,6	0,6
0,4	0,8	1,2	0,65	2	0,6

Таблица 3.7. Значения коэффициента k_B для компактных и неполных веерных струй (числитель — для скорости, знаменатель — для температуры) [40]

x/l	Значения k_B при количестве струй											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	>12
10	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
20	$\frac{1,15}{1,3}$	$\frac{1,2}{1,35}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$	$\frac{1,2}{1,4}$
30	$\frac{1,3}{1,35}$	$\frac{1,4}{1,55}$	$\frac{1,45}{1,65}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$	$\frac{1,45}{1,7}$
40	$\frac{1,35}{1,4}$	$\frac{1,55}{1,65}$	$\frac{1,65}{1,8}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$	$\frac{1,7}{1,95}$
50	$\frac{1,35}{1,4}$	$\frac{1,6}{1,65}$	$\frac{1,75}{1,85}$	$\frac{1,85}{2}$	$\frac{1,85}{2,1}$	$\frac{1,9}{2,15}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,2}$
60	$\frac{1,4}{1,4}$	$\frac{1,65}{1,7}$	$\frac{1,8}{1,9}$	$\frac{1,25}{2,05}$	$\frac{2}{2,2}$	$\frac{2,05}{2,25}$	$\frac{2,1}{2,35}$	$\frac{2,1}{2,35}$	$\frac{2,1}{2,4}$	$\frac{2,1}{2,4}$	$\frac{2,1}{2,4}$	$\frac{2,1}{2,4}$
80	$\frac{1,4}{1,4}$	$\frac{1,7}{1,7}$	$\frac{1,9}{1,95}$	$\frac{2,05}{2,15}$	$\frac{2,15}{2,3}$	$\frac{2,25}{2,4}$	$\frac{2,3}{2,5}$	$\frac{2,35}{2,6}$	$\frac{2,4}{2,65}$	$\frac{2,4}{2,7}$	$\frac{2,4}{2,7}$	$\frac{2,4}{2,7}$
100	$\frac{1,4}{1,4}$	$\frac{1,7}{1,7}$	$\frac{1,95}{1,95}$	$\frac{2,1}{2,15}$	$\frac{2,25}{2,35}$	$\frac{2,4}{2,5}$	$\frac{2,45}{2,6}$	$\frac{2,55}{2,7}$	$\frac{2,6}{2,8}$	$\frac{2,6}{2,9}$	$\frac{2,65}{2,95}$	$\frac{2,7}{3,2}$

ными струями. Для струй, настилающихся на поверхность стены или окна и распространяющихся вдоль потолка горизонтально (рис. 3.2, л), место отрыва определяют по графику, представленному на рис. 3.4.

Максимальную скорость и температуру закрученных струй, выпускаемых из воздухонагревателей, кроме типа ВПЭП, определяют по формулам (3.7) и (3.9).

При определении по формулам (3.26) и (3.27) максимальных скоростей движения воздуха в обратном потоке значение коэффициента k для компактной струи принимают в зависимости от числа струй в ряду (табл. 3.8), а для неполных веерных струй — в зависимости от способа удаления воздуха (табл. 3.9).

Эффективная зона действия струй зависит от места удаления воздуха из помещения (см. табл. 3.4). Установлено, что горизонтальные компактные струи не настилаются на потолок при выпуске на высоте $h = (0,35 \div 0,65) H_n$. Веерные и плоские струи настилаются на ближайшее от выпуска ограждение независимо от высоты h .

При выпуске вертикальной плоской струи (рис. 3.2, о) максимальные параметры воздуха в обратном потоке рассчитывают по формуле

$$v_{обр} = 6,23 v_0 b_0 / (2x_{\max} - x) \theta, \quad (3.54)$$

где θ — коэффициент, определяемый по графику на рис. 3.5.

Разность температур в обратной струе $\Delta t_{обр}$ определяют по рис. 3.6.

Для отверстий, затененных решетками и другими устройствами, элементы струи такие же, как и у открытых отверстий (рис. 3.1, а). Здесь имеются участки формирования, на которых происходит слияние струек в сплошной поток — начальный и основной [5]. Длина участка формирования затененной струи

$$l_\phi = l_0 / 2 \operatorname{tg} \beta, \quad (3.55)$$

где l_0 — шаг между отверстиями, м; β — угол между осью и линией, соединяющей точки струн, у которых скорость равна половине осевой скорости.

Скорость, м/с, избыточная температура, °С, и расход воздуха, м³/ч, в конце участка формирования равны [4, 5]:

$$v_\phi = 1,3 v_0 \sqrt{\frac{ik_{ж.с} (273 + t_{окр})}{273 + t_0}} \sqrt{\zeta}; \quad (3.56)$$

$$\Delta t_\phi = 1,1 \Delta t_0 \sqrt{\frac{k_{ж.с} (273 + t_{окр})}{i (273 + t_0)}} \frac{1}{\sqrt{\zeta}}; \quad (3.57)$$

$$L_\phi = 1,1 L_0 \sqrt{\frac{i (273 + t_{окр})}{k_{ж.с} (273 + t_0)}} \sqrt{\zeta}, \quad (3.58)$$

Таблица 3.8. Значения коэффициента k для компактных струй [40]

Количество струй	k	Количество струй	k	Количество струй	k
1	1,3	6	1	12	0,8
2	1,15	8	0,95	14	0,7
4	1,05	10	0,9	≥ 16	0,65

Таблица 3.9. Значения коэффициента k для плоских струй [40]

Способ удаления воздуха	k	Способ удаления воздуха	k
Сосредоточенный из рабочей зоны вблизи места подачи воздуха	1,25	То же, в конце действия струи	1
		Рассредоточенный из рабочей зоны	1,2

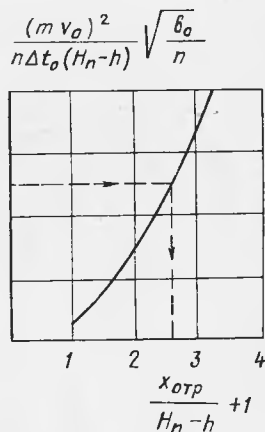


Рис. 3.4. График для определения $k_{отр}$.

где v_o , Δt_o , L_o — скорость, м/с, избыточная температура, °C, и расход воздуха, м³/ч, на истечении из отверстий; $k_{ж.с}$ — коэффициент живого сечения, представляющий собой отношение площади отверстия к общей площади решетки; $t_{опр}$, t_o — температура воздуха окружающего и на выходе из отверстий, °C; $i = M_o/M_o$ — отношение количества движения секундной массы в конце участка формирования и на выходе из отверстий; ξ — коэффициент местного сопротивления, отнесенный к выходу из воздухоораспределителя.

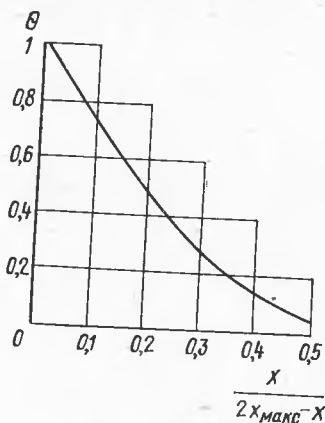


Рис. 3.5. График для определения θ при подаче воздуха вертикальными плоскими струями.

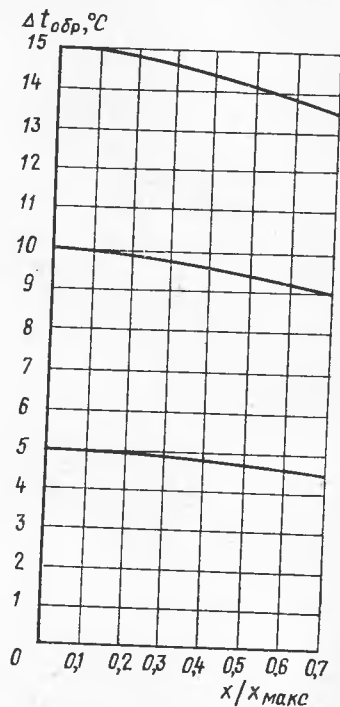


Рис. 3.6. Зависимость $\Delta t_{обр}$ от $x/x_{макс}$ при подаче воздуха вертикальными плоскими изотермичными струями.

Для закрученных струй максимальная осевая и тангенциальная скорости $v_{a \max}$ и $v_{\tau \max}$, а также избыточная температура $\Delta t_{\max}$ определяются по формулам

$$v_{a \max} = 0,67 \sqrt{\frac{i M_o}{\rho}} \cdot \frac{1}{x \operatorname{tg} \beta}; \quad (3.59)$$

$$v_{\tau \max} = 0,52 \frac{k_o}{\sqrt{i M_o \rho}} \cdot \frac{1}{x^2 \operatorname{tg}^3 \beta}; \quad (3.60)$$

$$\Delta t_{\max} = \frac{G}{c g \sqrt{M_{op}^4 \sqrt{\xi}}} \cdot \frac{1}{x \operatorname{tg} \beta}, \quad (3.61)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; M_o — импульс секундной массы на истечении, кг·с, зависящий от количества движения перед закручивающим устройством $M_{нач}$:

$$M_o = M_{нач} \xi; \quad (3.62)$$

k_o — момент импульса секундной массы на истечении, кг·с·м, вычисляемый по выражению

$$k_o = G M_o \frac{d_o}{4}; \quad (3.63)$$

G — степень закрутки, определяемая опытным путем; c — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C).

$$\text{Результирующая скорость в точке струи, м/с,} \\ v = \sqrt{v_a^2 + v_r^2}. \quad (3.64)$$

$$\text{Расход воздуха в сечении закрученной струи, м}^3/\text{с,} \\ L_x = 0,95x \operatorname{tg} \beta \sqrt{iM_0/\rho}. \quad (3.65)$$

Устойчивая работа воздухораспределителей при выпуске неизотермических струй обеспечивается соблюдением численных значений критерия Архимеда (табл. 3.10). Ширину струи для некоторых воздухораспределителей можно определить по формулам табл. 3.11.

Т а б л и ц а 3.10. Условия выпуска охлажденного и нагретого приточного воздуха [4]

Способ подачи приточного воздуха в помещение	Выпуск охлажденного воздуха	Выпуск нагретого воздуха
Вертикально вниз осесимметричными струями (рис. 3.2, а, б, ж, з)	Схема циркуляции не зависит от Ar_x	$Ar_x \leq 0,5;$ $x = h_n - h_{p.з}$
Горизонтально в верхнюю зону осесимметричными или плоскими, настилающимися на потолок струями (рис. 3.2, в)	$Ar_x \leq 0,4;$ $x = (0,8 \div 1,0) B$	$Ar_x \leq 0,5;$ $x = B + (h_n - h_{p.з})$
Горизонтально в рабочую зону осесимметричными или плоскими, настилающимися на пол струями (рис. 3.2, е)	Схема циркуляции не зависит от Ar_x	$Ar_x \leq 0,4;$ $x = (0,8 \div 1,0) B$
В верхнюю зону вверными струями (рис. 3.2, д)	$Ar_x \leq 0,2;$ $x = (0,4 \div 0,5) B$	$Ar_x \leq 0,5;$ $x = \frac{B}{2} + (h_n - h_{p.з})$
Сосредоточенно осесимметричными струями (рис. 3.2, и)	$Ar_x \leq 0,2;$ $x = x_{кр1} \approx 0,22 m \sqrt{F_{\Pi}}$	

Т а б л и ц а 3.11. Формулы для расчета ширины свободной струи [4]

Тип воздухораспределителя	Отношение диаметра d_x (ширины b_x) струи на расстоянии x к начальному диаметру d_0 (ширине b_0)
Цилиндрическая труба	$\frac{d_x}{d_0} = 1 + 0,44 \frac{x}{d_0} \quad (3.66)$
Прямоугольный и перфорированный воздуховоды	$\frac{b_x}{b_0} = 1 + 0,44 \frac{x}{b_0} \quad (3.67)$
Круглый перфорированный воздуховод	$\frac{b_x}{b_0} = 4 + 0,44 \left(\frac{x}{b_0} - 2 \right) \quad (3.68)$

3.4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Расчет воздухораспределителей по прямому потоку, влияющему непосредственно на скорость и разность температур в рабочей зоне, производят в такой последовательности.

1. Принимают схему подачи воздуха в помещении (см. рис. 3.2). В зависимости от общего расхода воздуха $L_{\text{пр}}$, размещения источников вредных выделений и рабочих мест, а также возможной компоновки вентиляционных установок намечают типы и количество воздухораспределителей $z_{\text{в}}$.

2. Определяют расход воздуха одним воздухораспределителем, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$L_0 = L_{\text{пр}} / z_{\text{в}}. \quad (3.69)$$

3. Используя значение L_0 , по табл. 3.1 принимают площадь F_0 и скорость v_0 струи на истечении, а по табл. 3.2 — коэффициенты m и n .

4. Вычисляют максимальные скорости v_x и разности температур воздуха Δt_x на входе струи в рабочую зону:

$$v_x = kv, \quad (3.70)$$

где v — нормативная (ГОСТ 12.1.005—76) скорость воздуха в рабочей зоне (табл. 1.1—1.3); k — коэффициент перехода скоростей к максимальным значениям (табл. 3.12).

Таблица 3.12. Значения коэффициента k для расчета максимальной скорости воздуха при поддержании допустимых метеорологических параметров [40]

Категория раб ты	Расположение рабочих мест				
	в зоне прямого воздействия приточной струи в пределах участков		в зоне прямого воздействия приточной струи в пределах участков		в зоне обратного потока воздуха
	начального	основного	начального	основного	
Легкая	1 (1)	1,4 (1,2)	1,3	1,6	1,3
Средней тяжести и тяжелой	1 (1)	1,8 (1,2)	1,3	2,0	1,8

Примечание. В скобках даны значения k при поддержании оптимальных или заданных технологами параметров воздуха.

5. Рассчитывают допустимую разность температур на выходе из отверстия $\Delta t_{\text{доп}}$ по текущему критерию Архимеда (см. табл. 3.10).

Разность между максимальными температурами в струе и в рабочей зоне Δt_x принимают для холодного и переходного периодов года: при недостатках тепла — не более разности между большим и меньшим значениями температур, требуемых ГОСТ 12.1.005—76 (см. табл. 1.2); при избытках тепла, когда $t_{\text{доп}} > t_{\text{опт}}$, — по выражению

$$\Delta t_x \leq 0,5(t_{\text{доп}} - t_{\text{опт}}), \quad (3.71)$$

причем $t_{\text{доп}} - t_{\text{опт}}$ должно быть в пределах 3—6 °С, а когда $t_{\text{доп}} \leq t_{\text{опт}}$ — не более 2 °С.

Если работающие находятся вне зоны прямого воздействия струи, значения Δt_x принимают с коэффициентом 1,5.

6. Определяют расстояние x_v и x_l (см. рис. 3.1) от воздухораспределителя до рабочей зоны соответственно по условиям v_x (3.7), (3.8) и Δt_x (3.9), (3.10). Если $x_v > x_l$, рассчитывают v_0 , приняв $x_v = x_l$, и определяют количество воздухораспределителей z , удовлетворяющее этому условию.

Расчет воздухораспределителей, создающих обратный поток в рабочей зоне, проводят в такой последовательности [40, 4].

1. Принимают компоновку воздуховодов, максимальную скорость воздуха в рабочей зоне $v_x = v_{\text{обр. макс}}$, тип воздухораспределителя, коэффициенты m и n (см. табл. 3.2).

2. Рассчитывают ширину помещения, обслуживаемого одной струей, в зависимости от начальной площади струи F_0 , площади помещения F_n , приходящейся на струю, и высоты помещения H_n :

$$\text{при } \sqrt{F_n}/\sqrt{F_0} \geq 22 \quad B_n \leq 3,5H_n; \quad (3.72)$$

$$\text{при } 22 > \sqrt{F_n}/\sqrt{F_0} > 11 \quad B_n \leq 2,5H_n; \quad (3.73)$$

$$\text{при } 11 > \sqrt{F_n}/\sqrt{F_0} \quad B_n \leq 1,5H_n. \quad (3.74)$$

Определяют длину участка помещения, приходящуюся на один воздухораспределитель:

$$l_n = F_n / B_n = (0,7 \div 1,0) x_{\text{макс}}. \quad (3.75)$$

В соответствии с этим находят количество воздухораспределителей z .

3. Вычисляют расход воздуха, подаваемого одним воздухораспределителем, по формуле (4.56) и диаметр воздухораспределителя — по формулам (4.41) — (4.46).

4. Определяют расстояние от выпуска до второго критического сечения струи по выражениям (4.26) и (4.27).

5. Находят допустимое значение температурного перепада $\Delta t_{\text{доп}}$ из условия $\Delta t_{\text{гр}} \leq 0,2$, при котором обратная струя не всплывает в верхнюю зону.

6. Находят количество тепла, которое может внести струя, используемая для отопления, совмещенного с вентиляцией, по формуле

$$Q = L_o c \Delta t_{\text{доп}}, \quad (3.76)$$

и приточный воздух в целом — $Q_{\text{п}} = \Sigma Q_o$.

Примеры расчета воздухораспределителей даны в гл. 6.

4. МЕСТНАЯ ПРИТОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

4.1. ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ

Согласно СНиП II-33-75, у ворот, открывающихся 5 и более раз или менее чем на 40 мин в смену, а также у открытых технологических проемов отапливаемых зданий, расположенных в районах с расчетной температурой наружного воздуха для холодного периода года -15°C и ниже (параметр Б), при отсутствии тамбуров или шлюзов предусматривают воздушные завесы. При обосновании их устраивают независимо от расчетных температур и продолжительности открывания.

Минимальная температура воздуха на рабочих местах в зоне открытых ворот должна быть не ниже 14°C при легкой работе, 12°C — при работе средней тяжести, 8°C — при тяжелой работе и 5°C — при отсутствии рабочих мест. Максимальная температура подаваемого завесой воздуха принята 70°C , скорость выпуска струи из щели — не более 25 м/с и в начале раздаточного короба — 70 % скорости в щели.

Для эффективной работы при движении транспорта через ворота рекомендуется применять двусторонние боковые завесы.

Воздушные завесы рассчитывают по следующей методике [62]. Общий расход воздуха, кг/ч, подаваемого завесой при отсутствии в помещении механического притока и вытяжки или при их балансе, определяют по формуле

$$G_z = 16\,000 \bar{q}_{\text{пр}} F_{\text{пр}} \sqrt{h} (\rho_n - \rho_v) \rho_{\text{см}}, \quad (4.1)$$

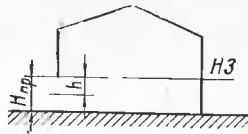
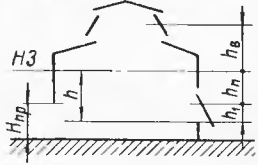
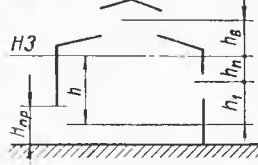
где $\bar{q}$ — отношение количества воздуха, подаваемого завесой, к количеству смеси воздуха, проходящего через проем, $G_{\text{пр}}$; $\mu_{\text{пр}}$ — коэффициент расхода воздуха, движущегося через проем при работе завесы (табл. 4.1); $F_{\text{пр}}$ — площадь открываемого

Т а б л и ц а 4.1. Значения коэффициента $\mu_{\text{пр}}$ для боковых завес

Относительная площадь $\bar{F}$	Значения $\mu_{\text{пр}}$ для раздвижного (числитель) и распашного (знаменатель) проема при относительном расходе воздуха $\bar{q}$					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
10	0,42	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29
	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25
20	0,35	0,32	0,3	0,29	0,29	0,29
	0,3	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25
30	0,31	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
40	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

П р и м е ч а н и е. Рекомендуется принимать: $\bar{F} = F_{\text{пр}} / F_{\Sigma} = 20 \div 30$ (F_{Σ} — суммарная площадь воздуховыпускных щелей); $\bar{q} = 0,6 \div 0,7$.

Таблица 4.2. Формулы для определения h

Характеристика здания	Схема	Формула
Аэрационные проемы отсутствуют		$h = 0,5H_{\text{пр}} \quad (4.2)$
Аэрационные проемы в холодный период года закрыты		$h = h_1 + \frac{h_v + h_p}{0,25 \left(\frac{l_p}{l_v} \right)^2 + 1} \quad (4.3)$
То же, открыты		$h = h_1 + h_p, \quad (4.4)$ где h_p определяется при расчете аэрации для холодного периода года по параметрам Б

Примечание: $H_{\text{пр}}$ — высота проема, оборудованного завесой, м; h_1 — расстояние от центра проема, оборудованного завесой, до центра приточных проемов, м; h_v — расстояние от центра вытяжных проемов до нейтральной зоны, м; h_p — расстояние от центра приточных проемов до нейтральной зоны, м; l_p — длина открываемых в теплый период года притворов приточных проемов, м; l_v — то же, вытяжных проемов. НЗ — нейтральная зона.

проема, оборудованного завесой, м²; h — расчетная величина, соответствующая расстоянию от середины проема, оборудованного завесой, до нейтральной зоны, м (табл. 4.2); ρ_n — плотность воздуха, кг/м³, при наружной температуре, соответствующая расчетным параметрам Б для холодного периода года (СНиП II-33-75); ρ_v — плотность воздуха при температуре помещения, кг/м³; $\rho_{см}$ — плотность смеси воздуха, проходящего через открытый проем при температуре, равной нормируемой температуре в районе ворот, кг/м³.

При превышении в помещении механической вытяжки над механическим притоком расход воздуха определяют по следующим формулам:

при заборе воздуха на завесу из помещения

$$G_3 = \Delta G \frac{\bar{q}}{1 - \bar{q}} \cdot \frac{F_{\text{пр}} l_{\text{пр}}}{\Sigma (F_{\text{п}} l_{\text{п}}) + \Sigma (F_{\text{пр}} l_{\text{пр}})}; \quad (4.5)$$

при заборе воздуха на завесу снаружи

$$G_3 = \Delta G \bar{q} \frac{F_{\text{пр}} l_{\text{пр}}}{\Sigma (F_{\text{п}} l_{\text{п}}) + \Sigma (F_{\text{пр}} l_{\text{пр}})}. \quad (4.6)$$

где ΔG — превышение механической вытяжки над механическим притоком, кг/ч (величина ΔG должна быть не более однократного обмена в час); $\Sigma (F_{\text{п}} l_{\text{п}})$ — сумма произведений площадей открытых приточных проемов и соответствующих им коэффициентов расхода воздуха, м².

Максимальное количество воздуха, подаваемого завесой, полученное по формулам (4.5) или (4.6), должно составлять не более 4000 кг/ч на 1 м² открытого проема. В противном случае предусматривают дополнительные приточные проемы или увеличивают производительность приточной механической вентиляции.

При определении значения G_3 по формулам (4.5) или (4.6) обязательна проверка его по (4.1). В качестве расчетного расхода воздуха принимают большее из значений, полученных по формулам (4.5) и (4.1) или (4.6) и (4.1).

Температура воздуха, подаваемого завесой, °С,

$$t_3 = \frac{t_{см} - t_n}{q(1 - Q)} + t_n. \quad (4.7)$$

где $t_{см}$ — температура смеси воздуха, проходящего через открытый проем, принимаемая равной нормируемой температуре в районе ворот, °С; t_n — наружная расчетная температура воздуха для холодного периода года по параметру Б, °С; Q — отношение количества тепла, теряемого с воздухом, уходящим через открытый проем наружу, к тепловой мощности калориферов завесы (рис. 4.1).

Суммарная тепловая мощность калориферов агрегатов воздушно-тепловой завесы, Вт,

$$Q_3 = G_3 0,28 (t_3 - t_{нач}), \quad (4.8)$$

где G_3 — количество воздуха, подаваемого завесой, кг/ч; $t_{нач}$ — температура воздуха, забираемого на завесу, °С.

Температуру воздуха, забираемого на завесу на уровне всасывающего отверстия вентилятора, принимают равной нормируемой температуре в районе ворот, при заборе воздуха из верхней зоны — равной температуре в этой зоне, при заборе воздуха снаружи — равной температуре наружного воздуха для холодного периода года, соответствующей параметру Б.

Количество тепла, Вт, необходимого для компенсации дополнительных теплопотерь помещения за счет врывания воздуха через открытые ворота или технологические проемы, определяют по формуле

$$Q_{доп} = \frac{0,28G_3}{q} (t_{p.з} - t_{см}) \frac{n}{60}, \quad (4.9)$$

где $t_{p.з}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С; n — продолжительность открывания ворот или технологического проема в течение часа, мин.

Ширина щели, м,

$$b_{щ} = F_{пр} / 2\bar{F}H_{щ}, \quad (4.10)$$

где $H_{щ}$ — высота щели, м; $\bar{F}$ — относительная площадь (см. табл. 4.1).

Таблица 4.3. Техническая характеристика агрегатов воздушно-тепловых завес по серии 1.494-2

Размеры про- емов ворот, м	Вентиляторный агрегат Ц4-70 №6,3				Количество калориферов КВБ-8	Производитель- ность		t_3 , °C	$v_{ш}$, м/с
	Обозначение комплекта	Электродвигатель				по воз- духу, тыс. м³/ч	по теплу, кВт		
		Тип	Мощ- ность, кВт	Частота враще- ния, об/мин					
3×3; 3,6×3; 3,6×3,6; 4,2×3,6 3,6×3; 3,6×3,6; 4,2×3,6	A6,3105-1	4A100LB6	2,2	950	2	12	116,3	44	12,5
	A6,3105-2	4A132S4	7,5	1450	4	17	255,9	58	14,5

Примечания. 1. Технические показатели приведены для одного агрегата. У ворот устанавливается два агрегата. 2. Производительность по теплу приведена для теплоносителя — воды с параметрами 150—70 °С. 3. Температура воздуха, подаваемого завесой, дана при начальной температуре 16 °С. 4. Скорость воздуха дана при полностью открытой щели.

Таблица 4.4. Характеристика унифицированных воздушно-тепловых завес

Тип установки	Электродвигатель			Воздухораздаточный короб			
	Марка	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Размеры, мм	Ширина щели, мм	$\bar{F}$	$v_{щ}$, м/с
A6,3	АО2-31-4	2,2	1450	750×750	100	18	11,5
A8	АО2-32-6	2,2	980	870×870	150	12	9,5
A10	АО2-51-6	5,5	980	1000×1000	200	12	10,5

Примечания. 1. Теплопроизводительность приведена для теплоносителя — воды с расходом воздуха и теплопроизводительности приведены для высоты проема ворот 4200 мм.

Скорость воздуха на выходе из щели, м/с,

$$v_{щ} = G_3 / 7200 b_{щ} H_{щ} \rho_3, \quad (4.11)$$

где ρ_3 — плотность воздуха, подаваемого завесой, кг/м³.

Если скорость воздуха, полученная по формуле (4.11), будет выше допустимой ($v_{щ} = 25$ м/с), то ширину щели определяют по формуле

$$b_{щ} = G_3 / 180 H_{щ} \rho_3. \quad (4.12)$$

Потеря давления в раздаточном коробе, Па,

$$H = \zeta v_{щ}^2 / 2, \quad (4.13)$$

где $\zeta = 2$ — коэффициент местного сопротивления раздаточного короба.

Для воздушных завес следует предусматривать автоматическую блокировку вентилятора завесы с воротами. Конструкции воздушно-тепловых завес рекомендуется принимать по чертежам типовой серии 1.494-2. Завеса (табл. 4.3) представляет собой вертикальный короб, на котором размещены калориферы и вентиляторный агрегат. Ширина щели равна 200 мм. В конструкции предусмотрено уменьшение ее по участ-

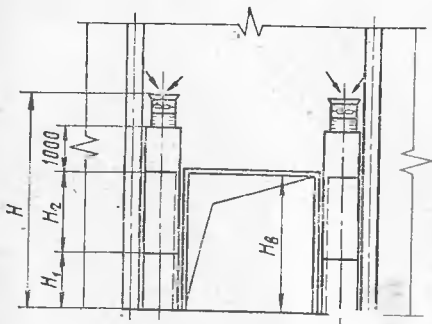


Таблица 4.5. Комплектация агрегатов унифицированных воздушно-тепловых завес

Тип установки	Номер комплекта	Высота ворот H_B , мм	Комплект секций короба		Высота H , мм	Масса агрегата, кг
			H_1 , мм	H_2 , мм		
A6,3	1	3000	1200	0	4453	522
	2	3600	0	2×1800	5053	551
	3	4200	2×1200	1800	5653	611
A8	4	3000	1200	1800	4570	625
	5	3600	0	2×1800	5170	657
	6	4200	2×1200	1800	5770	715
A10	7	3600	0	2×1800	5310	806
	8	4200	2×1200	1800	5910	882

Расход воздуха		Калориферы (ГОСТ 7201-80)					
L , тыс. м³/ч	G , кг/ч	Тип	Номер	Количество	Теплопроиз- водительность, кВт	$\Delta t = t_a - t_{см}$ °C	
16	18300	КВБ2-П-01	2	4	173,3	43	
20	22800	КВБ3-П-01	3	4	218,6	41,9	
34	39000	КВБ4-П-01	4	4	325,6	37,5	

параметрами 150—70 °C. 2. Скорость в щели дана при полностью открытой щели. 3. Данные по

кам, что позволяет регулировать производительность и скорость выпуска воздуха по высоте щели.

Унифицированные воздушно-тепловые завесы с осевыми вентиляторами (Горьковский механический завод № 1) состоят из двух агрегатов и устройства управления вредными веществами на уровне и ниже норм, установленных ГОСТ 12.1.005—76. Температуру и скорость движения воздуха на рабочих местах нормируют в зависимости от интенсивности теплового облучения (табл. 4.6). Интенсивность облучения рабочего места, Вт/м², расположенного на расстоянии x , м, от излучаемой поверхности площадью F , м², определяют по формуле

$$q_{р.м} = 5,76 \varphi_{р.м} \varphi_{от} [(273 + t_n) / 100]^4, \quad (4.14)$$

где 5,76 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴); $\varphi_{р.м}$ — коэффициент, учитывающий расстояние от рабочего места до источника излучения (рис. 4.2); $\varphi_{от}$ — коэффициент диафрагмирования (рис. 2.2) в случае излучения из отверстия; t_n — температура источника облучения, °C.

Интенсивность теплового облучения рабочих мест принимают по технологическим данным или по табл. 4.7.

При расчете систем воздушного душирования принимают расчетные параметры А для теплого и Б — для холодного периодов года. Расстояние от душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м, а расчетная площадь воздухоораспределителя — не менее 0,1 м².

Воздушный душ направляют на рабочее место горизонтально или сверху под углом 45°. Для душирования отдельного рабочего места следует применять поворотные душирующие патрубки ППД или ПД, а для группы рабочих мест — воздухоораспределитель типа ВГК.

Системы, подающие воздух для воздушных душей, нельзя совмещать с системами приточной вентиляции. Установки для обработки и подачи наружного воздуха выполняются в виде приточных камер или кондиционеров.

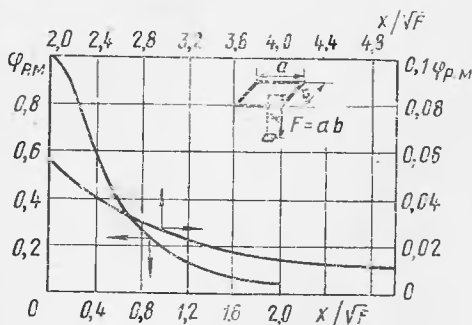


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента облучения $\varphi_{р.м}$ от соотношения $x/\sqrt{F}$.

Т а б л и ц а 4.6. Температура воздуха t , °С, и скорость движения его v , м/с, при

Период года	Категория работ	Параметры воздуха		
		350–700		
		t	v	
Теплый (температура наружного воздуха 10 °С и выше)	Легкая	22–24	0,5–1	
	Средней тяжести	21–23	0,7–1,5	
	Тяжелая	20–22	1–2	
Холодный и переходный (температура наружного воздуха ниже 10 °С)	Легкая	22–23	0,5–0,7	
	Средней тяжести	21–22	0,7–1	
	Тяжелая	20–21	1–1,5	

Примечания. 1. Интенсивность теплового облучения определяется как средняя в тела.

Наружный воздух следует охлаждать при условии, что его температура на выходе из воздухораспределителя t_o выше нормируемой на рабочем месте t_p . При этом применяют: адиабатное увлажнение — если в результате этого температура t^a_o понизится до значения, меньшего t_p ; политропное охлаждение — если необходимое понижение температуры нельзя достичь средствами адиабатного увлажнения.

Для горячих непыльных цехов применяют также аэратор ПАМ-24 Старооскольского механического завода.

Технические данные поворотногo аэратора ПАМ-24

Производительность по воздуху, м³/ч	24000
Габаритные размеры, мм:	
длина	1325
ширина	940
высота	1900
Диаметр рабочего колеса, мм	800
Расход воды, кг/ч	20
Давление воды для форсунок, кПа	30
Расход сжатого воздуха, кг/ч	30
Давление воздуха, кПа	50
Мощность электродвигателя, кВт	4
Частота вращения, об/мин	1440
Масса, кг	390

Расчет душирования горизонтальными струями [40] сводится к определению площади душирующего патрубка из условия обеспечения нормируемых параметров воздуха на постоянном рабочем месте.

При адиабатном охлаждении воздуха расчетную площадь душирующего патрубка, м², определяют по формуле

$$F_0 = \left[\frac{(t_{p,z} - t_p) x}{(t_{p,z} - t_o^a) n} \right]^2, \quad (4.15)$$

где $t_{p,z}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С; x — расстояние от душирующего патрубка до рабочего места, м; n — коэффициент изменения температуры или концентрации вредных выделений (табл. 3.2).

Расчет по формуле (4.15) возможен при душировании наружным воздухом без обработки (принимают $t^a_o = t_o$).

При газо- и пылевыведениях площадь душирующего патрубка

$$F_0 = \left[\frac{(C_{p,z} - C) x}{(C_{p,z} - C_o) n} \right]^2, \quad (4.16)$$

где $C_{p,z}$, C , C_o — соответственно концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны

при тепловом облучении, Вт/м²

более 700 до 1400		более 1400 до 2100		более 2100 до 2800		2800	
<i>t</i>	<i>v</i>	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>t</i>	<i>v</i>
21—23	0,7—1,5	20—22	1—2	19—22	2—3	19—20	2,5—3,5
20—22	1,5—2	19—21	1,5—2,5	18—21	2—3,5	18—19	3—3,5
19—21	1,5—2,5	18—20	2—3	18—19	3—3,5	18—19	3—3,5
21—22	0,5—1	20—21	1—1,5	19—22	1,5—2	19—22	1,5—2
20—21	1—1,5	19—20	1,5—2	19—21	2—2,5	19—21	2—2,5
19—20	1,5—2	18—19	2—2,5	18—19	2,5—3	18—19	2,5—3

течение 1 ч. 2. Направление воздушной струи предусматривают на облучаемую поверхность

и концентрация вредных веществ в воздухе, подаваемом из душирующего патрубка, мг/м³.

Скорость движения воздуха на выходе из душирующего патрубка, м/с,

$$v_o = v_p \times m \sqrt{F_o}, \quad (4.17)$$

где v_p — нормируемая скорость движения воздуха на рабочем месте, м/с (см. табл. 4.6); m — коэффициент изменения скорости по оси струи (табл. 3.2).

Количество воздуха на один душирующий патрубок, м³/ч,

$$L_o = 3600 F_o v_o. \quad (4.18)$$

При политропном (искусственном) охлаждении воздуха расчетную площадь душирующего патрубка, м², определяют по формуле

$$F_o = (x / n)^2. \quad (4.19)$$

На выходе из душирующего патрубка скорость движения воздуха

$$v_o = v_p, \quad (4.20)$$

а требуемая температура воздуха

$$t_o = t_p. \quad (4.21)$$

Проверочный расчет значений v_o и t_o при заданной конструкции воздушораспределителя, т. е. при известных m , n , F_o и x , производят в зависимости от следующих условий: при $x < m \sqrt{F_o}$ — по формуле (4.20); при $x < n \sqrt{F_o}$ — по формуле (4.21); при $x > m \sqrt{F_o}$ — по формуле (4.17); при $x > n \sqrt{F_o}$ — по выражению

$$t_o = t_{p.s} - (t_{p.s} - t_p) x / n \sqrt{F_o}. \quad (4.22)$$

Душирование по способу ниспадающего потока [7] осуществляется воздухом, подаваемым на рабочее место с минимально возможным расстоянием струей большого сечения и с малой скоростью. Для этих условий расчет выполняют в такой последовательности.

Определяют начальную температуру подаваемого воздуха, °С,

$$t_o = (t_p - \Delta t_o t_{окр}) / (1 - \Delta t_o) \quad (4.23)$$

и начальную скорость потока, м/с,

$$v_o = v_p / b_p, \quad (4.24)$$

где t_p — средняя температура воздуха на рабочем месте, °С; Δt_o , b_p — величины, принимаемые по табл. 4.8; $t_{окр}$ — средняя температура окружающего воздуха, °С; v_p — средняя скорость движения воздуха на рабочем месте, м/с.

Находят минимальную, необходимую для данных условий скорость выхода воздуха, м/с:

$$v_o^{мин} = 3,1 \sqrt{\frac{(t_{окр} - t_o) d_o}{A \gamma (273 + t_{окр})}}, \quad (4.25)$$

где $A \gamma$ — предельное значение критерия Архимеда (см. табл. 4.8).

Таблица 4.7. Интенсивность теплового облучения рабочих мест [44, 7]

Цех, отделение, участок	Категория работ	Рабочее место или источник теплоизлучения	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²	Направление подачи воздуха и количество душающих патрубков
Литейный цех: плавильно-заливочное отделение стали и чугуна	Тяжелая	Загрузочная площадка вагранки	700—1400	Сбоку и сверху. Два душа на рабочее место
		Рабочая площадка у летки вагранки Копильник вагранки	350—700	Сбоку и сверху в сторону летки
			700—1400	Сбоку и сверху. Два душа на рабочее место
		Заливочный конвейер	1400—2100	Сбоку и сверху. Неподвижные патрубки вдоль рабочей площадки на расстоянии 2—2,5 м друг от друга или воздуховод равномерно направленной подачи воздуха по всему фронту заливки металла
	Средней тяжести	Место загрузки плавильных и отжигающих печей	700—1900	Сбоку и сверху в сторону от печи
		Место наращивания электродов на печи	1400—2100	Сбоку в сторону электродов. Один душ на рабочее место
	Средней тяжести и тяжелая	Место у печи: при плавке металла при выпуске металла	350—700	Сбоку и сверху в сторону печи
			2100	То же
		Место у индукционной печи	2100	»
		Заливка в опоки из ковшей	1400—2100	Сбоку и сверху в проход вдоль заливаемых опок
плавильно-заливочное отделение литья медленных сплавов	Тяжелая	Место у тигельной газовой и раздаточной печи	490—560	Сверху и сбоку в сторону печи
		Выбивная решетка на конвейере	700—1400	Сверху и сбоку в сторону выбивной решетки
		Крупная выбивная решетка периодического действия	350—700	То же
		Вибраторы для выбивки оторжений	1400—2100	Сверху в сторону вибратора
выбивное отделение	Средней тяжести	Место у горелок и сушил	350—700	Сверху и сбоку в сторону сушил или горелки
				Сверху и сбоку в сторону от печи. Один душ на рабочее место
сушильное отделение	Тяжелая	Печи, ванны с электроносоляным подогревом при $t=1285^{\circ}\text{C}$, агрегаты для закалки и цианирования изделий, камерные, газовые и электрические печи для закалки и колодцы для охлаждения изделий	1400—2100	Сверху и сбоку в сторону от печи. Один душ на рабочее место
			700—1400	То же
		У шахтных цементационных электропечей, печей-ванн, тигельных печей-ванн, шахтных газовых печей, столов для напайки сплавов	350—700	»
Термический цех		Масляные закалочные ванны, шахтные отпусковые электропечи, камерные газовые печи с выдвижным подом, селитровые и щелочные ванны с газовым подогревом		

Цех, отделение, участок	Категория работ	Рабочее место или источник теплоизлучения	Интенсивность теплового облучения, Вт/м²	Направление подачи воздуха и количество душающих патрубков
Кузнечный цех	Тяжелая	Нагревательные печи, прессы и молоты	1400—2100	Сверху сбоку в сторону от печи. Один душ на рабочее место
		Места складирования изделий после прессования, кабины крановщиков и пульты управления	700—1400	Сверху сбоку в сторону площадки для складирования. Один поворотный душ на площадку
		Места складирования изделий после отковки	350—700	То же
Отделения прессов-вулканизаторов цехов резино-технических изделий	Средней тяжести	Участки вулканизации	350—700	Сверху сбоку. Один душ на рабочее место
Обжиговой цех цементного завода	То же	Места машинистов и смазчиков вращающихся печей	700—1400	То же
Кольцевые печи обжига кирпича	»	Места садчиков и выгрузчиков	350—840	»

Таблица 4.8. Предельные значения критерия Архимеда и относительные изменения температуры и скорости в ниспадающем потоке

Расположение рабочего места	Соотношение между начальной температурой потока на выходе t_0 и температурой окружающего воздуха $t_{окр}$	Предельное значение критерия Архимеда Ar	Относительное изменение средней температуры потока $\Delta t_0 = \frac{t_p - t_0}{t_{окр} - t_0}$	Относительное изменение скорости в зоне пребывания человека	
				средней по контуру фигуры человека $b_p = v_p/v_0$	на уровне головы $b_r = v_r/v_0$
В помещении	$t_0 > t_{окр}$	0,8	0,15	1,3	1,1
	$t_0 < t_{окр}$	-0,15	0,2	0,6	0,8
В кабине, огражденной с трех сторон	$t_0 > t_{окр}$	1,5	0,15	1,3	1
	$t_0 < t_{окр}$	-0,25	0,15	0,5	0,7

В результате расчета необходимо, чтобы $v_0 \geq v_0^{мин}$.

Скорость движения воздуха на уровне головы сидящего человека, м/с,

$$v_r = b_r v_0, \quad (4.26)$$

где значение b_r принимают по табл. 4.8.

Расход воздуха L , м³/ч, вычисляют по формуле (4.18).

Рабочее место рекомендуют ограждать легкими ширмами, а воздух выпускать через цилиндрический воздухораспределитель ЛИОТ (рис. 4.3).

4.3. ВЕНТИЛЯЦИЯ КАБИН КРАНОВЩИКОВ

В цехах с теплоступлениями и выделением вредных газов следует предусматривать системы вентиляции кабин крановщиков с подачей наружного воздуха. Если в цехе выделяются только тепло и пыль, допускается вентиляция кабин автономными кондиционерами (табл. 4.9). Вентиляция должна обеспечивать подпор в кабине 10—15 Па.

Система вентиляции кабины с подачей наружного воздуха осуществляется по схеме, приведенной на рис. 4.4. Конструкция содержит коллектор, расположенный вдоль пути движения крана, заборное устройство, движущееся в шели коллектора и жестко соединенное с кабиной крановщика. В качестве уплотняющего устройства шели коллектора применяют резиновую ленту или гидравлический затвор [21, 65].

В системах с автономными кондиционерами предусматривают обработку рециркуляционного и забираемого из цеха воздуха, заключающуюся в очистке его от пыли и охлаждения, а при необходимости — и в нагреве. Контроль параметров осуществляется автоматически. Кондиционеры располагают в теплоизолированных кабинах, смежных с кабиной крановщика.

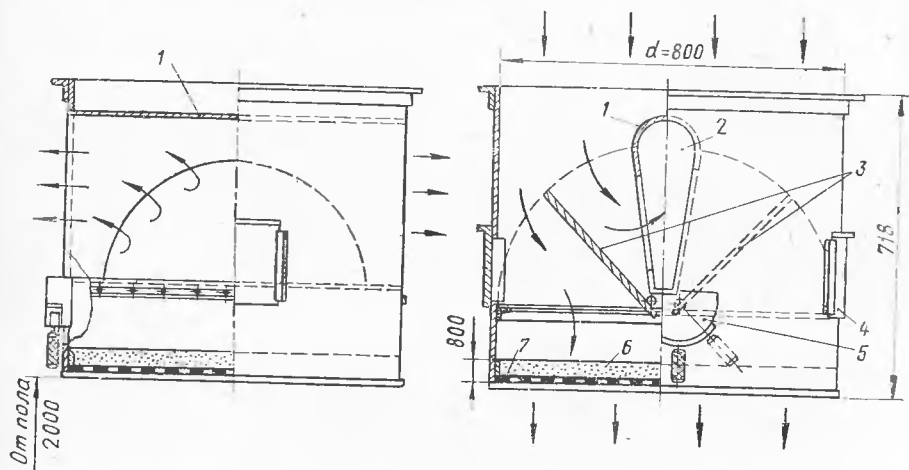


Рис. 4.3. Цилиндрический воздухораспределитель ЛИОТ:

1 — коробка для выпуска воздуха в стороны; 2 — боковые отверстия; 3 — створки клапанов; 4 — отверстия с движками; 5 — привод для створок; 6 — насадка из колец; 7 — сетка.

Таблица 4.9. Техническая характеристика автономных крановых кондиционеров

Наименование показателей	КТ-1,0-4,1Т	КТ-1,0-4,3Т
Производительность по воздуху, м ³ /ч	1000	
В том числе по свежему, м ³ /ч	40—75	
Холодопроизводительность, Вт, при температуре испарения 10, температуре конденсации 75 и начальной температуре воздуха до 30 °С		
Свободный напор, Па	3500	
Холодный агент	250	
Масса кондиционера, кг	Фреон-142	
Ток	455	
Напряжение, В	Переменный трех-фазный	Постоянный
Установочная мощность, кВт	380 5,1	220 4,13

В системе вентиляции кабин мостового крана сжатым воздухом (рис. 4.5), разработанной Иркутским политехническим институтом, сжатый воздух поступает в улитку вихревой трубы, где в интенсивно закрученном потоке происходит охлаждение приносевых слоев и нагрев периферийных. Холодный поток отводится через диафрагмы, а горячий — через дроссель. Расход сжатого воздуха для закрытой кабины

мостового крана объемом 7 м^3 с избыточными тепловыделениями 1000 Вт при скорости воздуха $0,3 \text{ м/с}$ на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от отверстий opposитно-конусных выпусков составляет $80 \text{ м}^3/\text{ч}$. Систему рекомендуется применять при выработке сжатого воздуха турбокомпрессорами.

Рис. 4.4. Вентиляция крановой кабины с подачей воздуха через коллектор:

1 — коллектор; 2 — вентилятор; 3 — крановая кабина; 4 — глушитель; 5 — уплотнительная резиновая трубка.

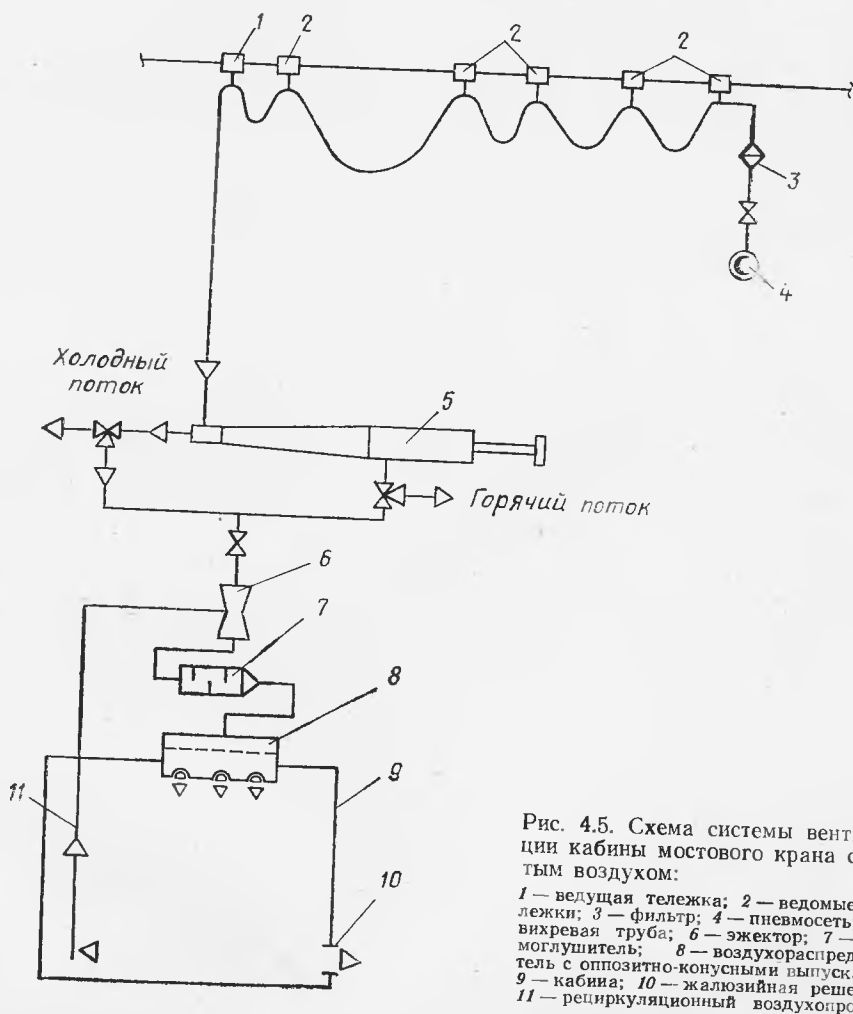
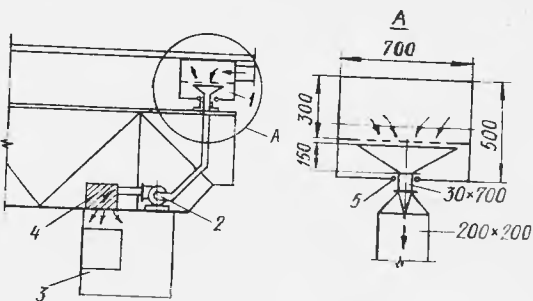


Рис. 4.5. Схема системы вентиляции кабины мостового крана сжатым воздухом:

1 — ведущая тележка; 2 — ведомые тележки; 3 — фильтр; 4 — пневмосеть; 5 — вихревая труба; 6 — эжектор; 7 — шумоглушитель; 8 — воздухораспределитель с opposитно-конусными выпусками; 9 — кабина; 10 — жалюзийная решетка; 11 — рециркуляционный воздухопровод.

5. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

5.1. ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА У ВСАСЫВАЮЩИХ ОТВЕРСТИЙ

Потоки воздуха с направлением в сторону всасывающего отверстия увеличивают скорость движения пропорционально убыванию сферических поверхностей, на которых располагаются изотакти скоростей. Если обозначить скорость входа струи по оси X круглого патрубка диаметром d_0 через v_0 , то на расстоянии x , равном d_0 , скорость v_x уже в 16 раз меньше v_0 [1], а на расстоянии $2d_0$ — в 64 раза [1, 4, 23].

Для круглых и квадратных отверстий относительная скорость всасывания при $x > 0,5d_0$

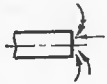
$$v_x / v_0 = k_{вс} (d_0 / x)^2; \quad (5.1)$$

для прямоугольных вытянутых при $x > b_0$

$$v_x / v_0 = k_{вс} \cdot 2b_0 / x, \quad (5.2)$$

где $k_{вс}$ — коэффициент, учитывающий характер подтекания струи к отверстию (табл. 5.1); b_0 — полуширина щели.

Т а б л и ц а 5.1. Значения коэффициента $k_{вс}$ [4]

Схема расположения отверстия	Угол между плоскостями, ограничивающими сферу всасывания, φ , рад	Значения $k_{вс}$	
		для круглых или квадратных отверстий	для прямоугольных вытянутых щелей
	2π	0,06	0,16
	π	0,12	0,32
	π/2	0,24	0,64

Формулы (5.1) и (5.2) справедливы и для отверстий в стене: при $x > d_0$ — для круглых и квадратных, при $x > 2b_0$ — для вытянутых проемов.

Интенсивность струи всасывающего отверстия рекомендуется увеличивать за счет установки параллельно оси всасывания плоскостей [66] или организации совместной работы всасываемой и свободной приточной струи, направленной в сторону отверстия.

5.2. ПОЛНОСТЬЮ УКРЫТЫЕ ОТСОСЫ

Наиболее эффективным средством локализации вредных выделений является полное укрытие источника их образования. Полное укрытие следует применять там, где оно не мешает технологическому процессу. Его конструкция должна содержать съемные детали для производства ремонтных работ. Размещение патрубков для отсоса воздуха из-под укрытия пылящего оборудования должно гарантировать минимальный унос продукта. Скорость воздуха, всасываемого из помещения в щели и рабочие проемы, должна быть не менее 1,5 м/с, а входящего в отсасывающий патрубок аспирационной системы — не более 2 м/с для кусковых, 1 м/с — для зернистых и 0,7 м/с — для порошковых материалов [10].

Для транспортируемого материала внутри укрытий рекомендуется устраивать камеру, двойные стенки, отбойные плиты и др. Ленточные конвейеры (рис. 5.1, табл. 5.2) надо укрывать полностью. Ширина щели по периметру нижнего укрытия не должна превышать 30 мм для непроходных и 36 мм — для проходных укрытий. Площадь щели $F_{щ}^в$ для верхнего укрытия разгрузочной головки зависит от ширины ленты B [30]:

B , мм	500	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
$F_{щ}^в$, м ²	0,2	0,25	0,3	0,45	0,6	0,8	1,2	1,75

Разрежение воздуха в укрытиях должно быть не ниже рекомендуемого в табл. 5.3.

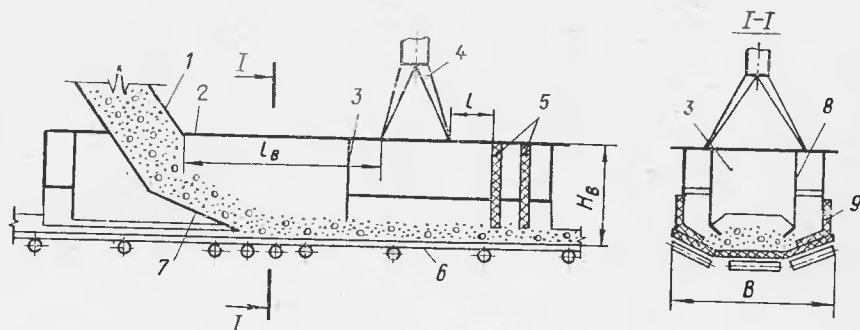


Рис. 5.1. Укрытие ленточного конвейера:

1 — желоб; 2 — укрытие; 3 — поперечная перегородка; 4 — аспирационная воронка; 5 — уплотняющие фартуки; 6 — лента конвейера; 7 — отбойная плита; 8 — внутренние стенки; 9 — уплотняющие полосы из конвейерной ленты.

Таблица 5.2. Минимальные размеры, мм, укрытий ленточных конвейеров (см. рис. 5.1) [30]

B	l_B	H_B	l	B	l_B	H_B	
500	600	380	250	1200	1500	700	600
600	750	450	300	1400	1700	950	700
800	1000	500	400	1600	1900	1000	800
1000	1200	600	500	2000	2400	1200	1000

Таблица 5.3. Оптимальное разрежение в укрытии, Па [30]

Вид материалов	Укрытия с одинарными стенками	Укрытия с двойными стенками
Кусковой	10—12	6—8
Зернистый	9—10	6—8
Порошковый	—	5—6

Расход воздуха от укрытий течек, транспортеров и т. п. определяют по Временным указаниям Сантехпроекта [11]. Если же воспользоваться площадью щелей и рабочими проемами $F_{щ}$, а также осредненной по площади скоростью $v_{ср}$, то расход воздуха, м³/с,

$$L = v_{ср} F_{щ}. \quad (5.3)$$

5.3. ПОЛУОТКРЫТЫЕ ОТСОСЫ

Укрытия, в которых рабочие проемы относительно велики, являются полуоткрытыми местными отсосами. К ним относят вытяжные шкафы, окрасочные камеры, укрытия шлифовальных и полировальных станков и т. п. Отсос воздуха от вытяжных шкафов устраивают из верхней и нижней зон.

Если отсос осуществляют из верхней зоны, то при отсутствии выделений в шкафу тепла расход воздуха, м³/с, рекомендуется [66] рассчитывать по формуле

$$L = Fv_{\text{мин}} / \varphi_2, \quad (5.4)$$

где F — площадь рабочего проема, м²; $v_{\text{мин}}$ — минимальная скорость воздуха в рабочем проеме, м/с (табл. 5.4); $\varphi_2 = v_n / v_{\text{ср}}$ — отношение скорости у низа рабочего проема

Таблица 5.4. Рекомендуемые скорости всасывания воздуха в проемы шкафов [7]

Операции, выполняемые в шкафу	Вредные выделения	Часть проема, через которую проходят вредные выделения	Рекомендуемая скорость всасывания, м/с	Необходимость (+) проверки расчетного расхода отсасываемого воздуха по формуле (5.6)
-------------------------------	-------------------	--	--	--

Термическая обработка металлов

Закаливание и отпуск в масляной ванне	Пары масла и продукты его разложения	Верхняя	0,5	+
Закаливание в селитровой ванне при температуре 400—700 °С	Аэрозоль селитры, тепло	»	0,5	+
Закаливание в соляной ванне при температуре 350—1100 °С	Аэрозоль соли, тепло	»	0,5	+
Свинцевание при температуре 400 °С	Пары и аэрозоль свинца	»	1,5	+
Цианирование в солях при температуре 800—900 °С	Пыль цианистых соединений	»	1,5	+

Гальваническая обработка металлов (холодные процессы)

Цианистое кадмирование или серебрение	Пары синильной кислоты	Весь проем	1—1,5	—
Цианистое меднение	Пары синильной кислоты	То же	1—1,5	—
Обезжиривание: бензином	Бензин	Нижняя	0,5	—
хлорированными углеводородами	Пары хлорированных углеводородов	»	0,7	—
электролитическое	Туман щелевой	Верхняя	0,5	—
Свинцевание	Свинец	Весь проем	1,5	—
Травление кислотой: азотной	Пары кислоты и окислы азота	То же	0,7—1	—
соляной	Пары и туман кислоты	»	0,5—0,7	—
Хромирование	Хромовый туман, ангидрид хромовой кислоты	»	1—1,5	—
Цианистое цинкование	Пары синильной кислоты	»	1—1,5	—

Операции, выполняемые в шкафу	Вредные выделения	Часть проема, через которую проходят вредные выделения	Рекомендуемая скорость всасывания, м/с	Необходимость (+) проверки расчетного расхода отсасываемого воздуха по формуле (5.6)
Операции различного характера				
Гидропескоструйная очистка	Силикатная пыль	Периметр рабочего проема	1—1,5	—
Металлизация распылением	Пыль металлов	То же	1—1,5	—
Ручное смешивание, развеска и расфасовка сыпучих материалов, приготовление шихты	Пыль обрабатываемого материала	Весь проем	0,5—1,2	—
Пайка свинцом или третином	Пары и аэрозоли свинца	То же	0,5—0,7	—
Сварка мелких изделий	Аэрозоль металла	Верхняя	0,8—0,9	+
Лабораторные работы	Различные пары и газы	Весь проем	0,5	+

к средней по сечению скорости (рис. 5.2); при этом $\varphi_1 = v_{\text{ср}}/v_0$, где v_0 — скорость движения воздуха у верха рабочего окна.

К зависимостям (5.4) можно прибегнуть при отсосе только из нижней зоны. Если отсос осуществляют из нижней и верхней зон, h_0/b то расход определяют по формуле

$$L = Fv_{\text{ср}}, \quad (5.5)$$

где $v_{\text{ср}}$ — рекомендуемая, осредненная по площади рабочего окна скорость движения воздуха, м/с.

Если в вытяжном шкафу происходит процесс с выделением тепла, то расход воздуха, м³/ч, при естественной вентиляции

$$L = 114 \sqrt[3]{Qhf^2}, \quad (5.6)$$

где Q — количество выделяющегося тепла, Вт; h — высота проема, м.

Можно также использовать методику В. М. Эльтермана [66], более полно учитывающую технологические особенности и распределение скоростей в шкафу.

Для кожухов заточных, шлифовальных и полировальных станков расход воздуха принимают по одной из больших величин:

$$L_1 = 360Fv_0; \quad (5.7) \quad L_2 = 2d; \quad (5.8)$$

$$L_3 = 4d; \quad (5.9) \quad L_4 = 6d. \quad (5.10)$$

где F — площадь живого сечения пылеприемного отверстия кожуха, м²; v_0 — скорость в воздухоприемном отверстии, м/с, принимаемая при направлении пылевого факела непосредственно в отверстие равной $0,25v_k$ и при направлении вдоль отверстия — $(0,3 \div 0,4)v_k$ ($v_k = \pi dn/60$ — окружная скорость, м/с; d — диаметр круга, м; n — частота вращения круга, об/мин).

Формулы (5.8)–(5.10) применяют для сменных кругов, соответственно абразивных, войлочных и матерчатых.

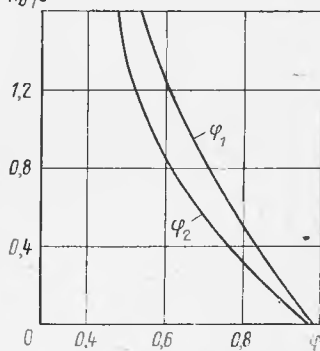


Рис. 5.2. Зависимость φ_1 и φ_2 от h_0/b (h_0 — высота рабочего окна; b — глубина шкафа).

При использовании камер для пневматической окраски изделий [64] расход отсасываемого воздуха принимают из условия, что скорость во всасывающем отверстии составляет 3—5 м/с. В проходных камерах скорость воздуха в проемах принимают в зависимости от состава краски 0,5—1,3 м/с, причем большие скорости предусматривают для красок, содержащих свинцовые соединения и ароматические углеводороды.

5.4. ПОЛНОСТЬЮ ОТКРЫТЫЕ ОТСОСЫ

Если невозможно применить укрытия, прибегают к открытым местным отсосам в виде зонтов, панелей и др. Максимальная скорость воздуха в зоне действия местного отсоса должна составлять 0,2—0,25 м/с при минимальном расстоянии от источника до отсоса. Скорость воздуха на входе во всасывающее отверстие должна быть не ниже рекомендуемой, установленной опытным путем. Воздухоприемная площадь местного отсоса в 1,3—1,5 раза превышает площадь источника вредных веществ. Конструкция местного отсоса должна отвечать характеру вредных выделений. Отсос следует размещать в соответствии с направлением их естественного движения. Он должен отклонять загрязненный воздух от зоны дыхания рабочего.

Зонты применяют в тех случаях, когда вредные выделения нагреты и происходит устойчивый конвективный поток, возникающий при температуре 70°C и более.

При использовании зонта над нагретой поверхностью расход воздуха, отсасываемого зонтом [7],

$$L_3 = L_K F_3 / F_n, \quad (5.11)$$

где L_K — расход воздуха, подтекающего к зонту с конвективной струей, м³/ч, определяемый по формуле

$$L_K = 64 \sqrt[3]{Q_K z F_n^2}; \quad (5.12)$$

где F_3 и F_n — площади зонта и источника тепла, м²; Q_K — количество конвективного тепла, Вт, выделяемого с поверхности источника,

$$Q_K = 1,5 \sqrt[3]{t_n - t_b}; \quad (5.13)$$

z — расстояние от поверхности источника тепла до зонта, м, которое рекомендуется принимать равным 0,8 эквивалентного по площади диаметра источника; t_n и t_b — температура поверхности источника и окружающего воздуха, °C.

Если $z < 2,8 \sqrt{F_n}$, то принимают $F_3/F_n = 1,5$.

Над загрузочным отверстием печи устанавливают зонт-козырек (рис. 5.3). При расчете известными являются размеры загрузочного отверстия (высота h и ширина b), температура воздуха внутри печи t_n и в помещении $t_{p.з}$. В результате расчета необходимо определить вылет зонта l , а также расходы газов и воздуха, отсасываемого из окружающей среды. Порядок расчета следующий.

1. Определяют избыточное давление, Па, под действием которого газы выходят из загрузочного отверстия:

$$P_{изб} = p_n + 9,807y (\rho_{p.з} - \rho_n), \quad (5.14)$$

где p_n — давление на полу печи, Па, значение которого близко к нулю; y — половина высоты загрузочного отверстия, м; $\rho_{p.з}$ и ρ_n — плотность воздуха рабочей зоны и газов печи, кг/м³.

2. Рассчитывают среднюю скорость выхода газов из печи, м/с:

$$v_{ср} = \mu \sqrt{2P_{изб}/\rho_n}, \quad (5.15)$$

где μ — коэффициент расхода воздуха, принимаемый 0,63.

3. Вычисляют расход газов, выходящих из печи L_r , м³/с, и G_r , кг/с:

$$L_r = v_{ср} f_n, \quad (5.16) \quad G_r = v_{ср} \rho_n f_n, \quad (5.17)$$

где f_n — площадь загрузочного отверстия печи, м².

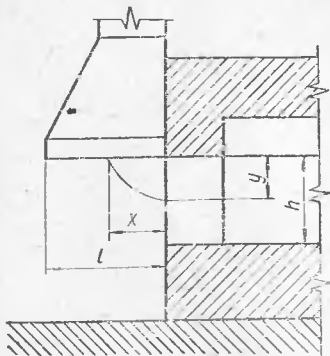


Рис. 5.3. Зонт-козырек над загрузочным отверстием печи.

4. Определяют расстояние, м, от печи до точки пересечения оси потока, искривленного под действием гравитационных сил, с плоскостью входа газов в зонт-козырек [4]

$$x = \sqrt[3]{\gamma m^2 d_{\text{экв}} / 0,63 n A \Gamma}, \quad (5.18)$$

где $d_{\text{экв}} = 1,13 \sqrt{f_{\text{п}}}$ — эквивалентный по площади диаметр загрузочного отверстия, м; m — коэффициент изменения скорости, равный 5 при отношении высоты к ширине загрузочного отверстия $h/b = 0,5 \div 1$; n — коэффициент изменения температуры, равный 4,2 при $h/b = 0,5 \div 1$, $A \Gamma$ — критерий Архимеда, определяемый по формуле

$$A \Gamma = \frac{9,807 d_{\text{экв}}}{v_{\text{сп}}^2} \cdot \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{р.з}}}{T_{\text{р.з}}}, \quad (5.19)$$

$T_{\text{п}}$ и $T_{\text{р.з}}$ — температура газов в печи и воздуха в рабочей зоне, К.

5. Находят диаметр струи газа, м, на расстоянии x от загрузочного отверстия при $0,5 \leq h/b < 2$:

$$d_x = 0,44x + d_{\text{экв}}. \quad (5.20)$$

Минимальный вылет зонта, м,

$$l = x + d_x / 2. \quad (5.21)$$

Ширину зонта принимают на 150—200 мм больше ширины загрузочного отверстия.

6. Рассчитывают расход смеси газов и воздуха в помещении, м³/с, на входе в зонт:

$$L_x = L_{\Gamma} + \left[0,085 \frac{x}{d_{\text{экв}}} + 0,0014 \left(\frac{x}{d_{\text{экв}}} \right)^2 \right] L_{\Gamma} \sqrt{\frac{T_{\text{р.з}}}{T_{\text{п}}}}. \quad (5.22)$$

7. Определяют расход воздуха, удаляемого из помещения, $L_{\text{р.з}}$, м³/с, и $G_{\text{р.з}}$, кг/с:

$$L_{\text{р.з}} = L_x - L_{\Gamma}; \quad (5.23) \quad G_{\text{р.з}} = L_{\text{р.з}} \rho_{\text{р.з}}. \quad (5.24)$$

8. Находят температуру смеси газов и воздуха, °С:

$$t_{\text{см}} = \frac{G_{\Gamma} t_{\Gamma} + G_{\text{р.з}} t_{\text{р.з}}}{G_{\Gamma} + G_{\text{р.з}}}. \quad (5.25)$$

9. Принимают способ вентиляции. При удалении вредных веществ за счет естественной тяги температура смеси газов и воздуха должна быть ниже 300 °С, а при использовании вентиляторов — в соответствии с требованиями ГОСТ 5976—73 не выше 80 °С.

Если $t_{\text{см}}$ больше допустимой, то принимают рекомендуемую температуру смеси и вычисляют необходимый расход воздуха, подсасываемого в зонт, по формуле

$$G_{\text{р.з}} = \frac{G_{\Gamma} (t_{\Gamma} - t_{\text{см}})}{t_{\text{см}} - t_{\text{р.з}}}. \quad (5.26)$$

Если устанавливают комбинированный зонт со встроенным рекуператором, рекомендуется применять механический способ удаления газов.

Зонты над огневыми горнами устанавливают с естественным и механическим удалением газов. При механической вентиляции расход воздуха, м³/ч, для одногневого горна

$$L_3 = A G_{\Gamma}, \quad (5.27)$$

где A — опытный коэффициент, принимаемый равным 350—475; G_{Γ} — расход топлива, кг/ч.

Для двухгневого горна производительность отсоса должна быть увеличена примерно в 1,5 раза.

Температуру отсасываемой газовойоздушной смеси, °С, определяют по формуле

$$t_3 = (G_{\Gamma} - 3) n + 50, \quad (5.28)$$

где n — коэффициент, принимаемый для одногневого зонта равным 5,6 и двухгневого — 2,3.

При естественном побуждении движения газовойоздушной смеси расход воздуха и конструктивные параметры зонта принимают по [52].

Отсосы	Значения k_t для разности температур					
	0	5	10	15	20	25
Без поддува	1	1,08	1,16	1,24	1,31	1,39
Однобортовой с поддувом	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,06

Бортовые отсосы применяют для удаления паров и газов, выделяющихся от ванн в процессах травления, металлопокрытий и др. Принято использовать опрокинутые и прямые двух- и однобортовые отсосы, а также бортовые отсосы с поддувом (рис. 5.4).

Однобортовые отсосы рекомендуется применять при ширине ванн до 0,7 м, двухбортовые — 0,7—1 м. В случае использования поддува ширина ванн однобортового отсоса может быть увеличена до 1,2 м, а двухбортового — до 2 м и более.

Согласно [49], количество воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, удаляемого бортовыми отсосами,

$$L = L_0 k_t k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (5.29)$$

где L_0 — расход воздуха, удаляемого щелью отсоса, $\text{м}^3/\text{ч}$:

без поддува

$$L_0 = 1400 \left(0,53 \times \frac{B_p l}{B_p + l} + H_p \right)^{1/3} B_p l; \quad (5.30)$$

с поддувом

$$L_0 = 1200 B_p^{3/2} l; \quad (5.31)$$

k_t — коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении (табл. 5.5); k_1 — коэффициент, учитывающий токсичность и интенсивность вредных выделений (для отсосов с поддувом $k_t = 1$, для обычных отсосов принимается по табл. 5.6); k_2 — коэффициент, учитывающий тип отсоса (табл. 5.7); k_3 — коэффициент воздушного перемешивания (табл. 5.7); k_4 — коэффициент укрытия поверхности раствора пеной поверхностью зеркала раствора плавающими телами (табл. 5.7); k_4 — коэффициент укрытия поверхности раствора пеной поверхностью активных веществ (табл. 5.7); B_p — расчетная ширина ванны, м (см. рис. 5.4); l — длина ванны, м; H_p — расчетное расстояние

Рис. 5.4. Бортовые отсосы от ванн:

а, б — двух- и однобортовой с горизонтальной щелью; в, г — двух- и однобортовой с поддувом; д, е — двух- и однобортовой с вертикальной щелью всасывания.

от зеркала раствора до борта ванны или оси щели, м.

Расход воздуха, отсасываемого от нормализованных ванн, приведен в табл. 5.8.

Количество воздуха, необходимое для поддува, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$L_{\text{п}} = 60 B_p l k_t. \quad (5.32)$$

Кольцевые отсосы (рис. 5.5) являются одной из разновидностей бортовых отсосов. Их применяют для цилиндрических ванн, ванн-печей и при необходимости устройства четырехбортовых отсосов.

Расчет кольцевых отсосов заключается в следующем.

30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1,47	1,55	1,63	1,71	1,79	1,86	1,96	2,02	2,1	2,18	2,26
1,08	1,11	1,12	1,14	1,15	1,17	1,18	1,2	1,21	1,23	1,24

Таблица 5.6. Удельное количество вредных веществ, выделяющихся от гальванических ванн, Z_y и значения коэффициента k_t [49]

Технологический процесс	Определяющее вредное вещество	Z_y , мг/(°C·м²)	k_t
Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрацией 150—300 г/л, при силе тока 1000 А (хромирование, анодное декапирование, снятие меди и др.)	Хромовый ангидрид	10	2
То же, в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрацией 30—60 г/л (электрополировка алюминия, стали и др.)	То же	2	1,6
То же, в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрацией 30—100 г/л, при силе тока 500 А, а также химическое оксидирование алюминия и магния, анодирование магниевых сплавов и др.	»	1	1,25
Химическая обработка металлов в растворах хромовой кислоты и ее солей при $t > 50^\circ\text{C}$ (пассивация, травление, снятие оксидной пленки, наполнение в хромпике и др.)	»	$5,5 \cdot 10^{-3}$	1
Химическая обработка металлов в растворах хромовой кислоты и ее солей при $t < 50^\circ\text{C}$ (осветление, пассивация и др.)	»	0*	0,5**
Химическая обработка металлов в растворах щелочи (оксидирование стали, химическая полировка алюминия, магния и их сплавов и др.) при $t > 100^\circ\text{C}$	Щелочь	55	1,25
То же, при $t < 100^\circ\text{C}$	»	55	1,6
Электрохимическая обработка металлов в растворах щелочи (анодное снятие шлама, обезжиривание, лужение, снятие олова, оксидирование меди, снятие хрома и др.)	»	11	1,6
Химическая обработка металлов, кроме алюминия и магния, в растворах щелочи (химическое обезжиривание, нейтрализация и др.) при $t > 50^\circ\text{C}$	»	0*	1
То же, при $t < 50^\circ\text{C}$	»	0*	0,5**
Кадмирование, серебрение, золочение и электродекапирование в цианистых растворах	Цианистый водород	5,5	2
Цинкование, меднение, латунирование, химическое декапирование и амальгамирование в цианистых растворах	То же	1,5	1,6
Химическая и электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих фтористоводородную кислоту и ее соли	Фтористый водород	20	1,6

Технологический процесс	Определяющее вредное вещество	Z_y , мг/(с·м³)	k_T
Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих соляную кислоту (травление, снятие шлама и др.)	Хлористый водород	80	1,25
Химическая обработка металлов, кроме снятия цинкового и кадмиевого покрытия, в холодных растворах, содержащих соляную кислоту концентрацией до 200 г/л (травление, декапирование и др.)	То же	0,3	0,5**
Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих серную кислоту концентрацией 150—350 г/л, а также химическая обработка в концентрированных холодных и нагретых разбавленных растворах серной кислоты (анодирование, электрополирование, травление, снятие никеля, серебра, гидридная обработка титана и др.)	Серная кислота	7	1,6
Меднение, лужение, цинкование и кадмирование в сернокислых растворах при $t < 50^\circ\text{C}$, а также химическое декапирование	То же	0*	0,5**
Химическая обработка металлов в концентрированных нагретых и электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (химическая полировка алюминия, электрополировка стали, меди и др.)	Фосфорная кислота	5	1,6
Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (фосфатирование и др.)	То же	0,6	1,25
Химическая обработка металлов в разбавленных растворах, содержащих азотную кислоту (осветление алюминия, химическое снятие никеля, травление, декапирование меди, пассивация и др.) при концентрации раствора более 100 г/л	Азотная кислота и окислы азота	3	1,25
То же, менее 100 г/л	То же	0*	0,5**
Никелирование в холодных растворах при плотности тока 1—3 А/дм²	Растворимые соли никеля	0,15	2
То же, в сульфатных растворах	То же	0,03	1,6
Меднение в этилендиаминном электролите	Этилендиамин	0*	1
Кадмирование и лужение в кислых электролитах с добавкой фенола	Фенол	0*	1
Крашение в анилиновом красителе	Анилин	0*	1
Промывка в горячей воде при $t > 50^\circ\text{C}$	Пары воды	—	0,5
Безвредные технологические процессы при наличии неприятных запахов (например, аммиака, клея и др.)	—	—	0,5

* При расчете вентиляционных выбросов количество выделяющихся вредных веществ может не учитываться.

** Только при наличии воздушного перемешивания раствора.

Примечание. Значения Z_y приведены при номинальной загрузке ванны для расчета максимальных разовых концентраций. Для определения среднесуточных значений Z_y (в виде аэрозоля) следует учитывать коэффициент загрузки оборудования.

Таблица 5.7. Значения коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4 [49]

Коэффициент	Отсос			Коэффициент	Отсос		
	Тип	Без поддува	С поддувом		Тип	Без поддува	С поддувом
k_1	Однобортной	1,8	1	k_2	Двухбортной	1,2	1
	Двухбортной	1	0,7	k_3	»	0,75	1
				k_4	»	0,5	1

Таблица 5.8. Значения L_0 и L_{II} для нормализованных ванн [49]

Размеры ванн в плане $B \times l$, мм	L_0 , м ³ /ч, при отсосах			L_{II} , м ³ /ч
	без поддува	с поддувом		
		двухбортных	однобортных	
450×800	260	200	—	20
450×1100	360	275	—	30
450×1500	500	375	—	40
450×2200	730	550	—	55
500×1100	420	335	—	30
600×1500	580	455	—	45
550×600	250	280	—	20
600×1100	540	470	—	40
600×1500	740	640	—	50
600×2200	1100	940	—	75
700×800	480	450	—	35
700×1100	660	615	—	45
700×1500	910	840	—	60
700×2200	1350	1230	—	90
800×560	380	395	—	30
800×760	530	535	—	35
1000×1500	1450	1540	1090	90
1000×2200	2180	2260	1600	130
1100×560	550	670	475	40
1100×760	780	645	910	50
1200×1100	1320	1530	1080	80
1200×1500	1860	2090	1475	105
1200×2200	2760	3060	2155	155

Примечание. Значения L_0 и L_{II} рассчитаны для $B_p = (B - 0,1)$ м. $H_p = 0,15$ м и $k_t = 1$.

1. В зависимости от вида раствора, содержащегося в ванне, принимают высоту спектра вредных выделений y (табл. 5.9).

Определяют относительную высоту спектра вредных выделений:

$$\bar{y} = y / D, \quad (5.33)$$

где D — диаметр ванны, м.

2. Рассчитывают количество конвективного тепла, W_t , выделяемого источником вредных веществ:

$$Q = \alpha F \Delta t, \quad (5.34)$$

где α — коэффициент теплоотдачи, $W_t / (m^2 \cdot ^\circ C)$, определяемый выражением

$$\alpha = 3,26 \sqrt[4]{\Delta t}; \quad (5.35)$$

F — площадь горизонтальной поверхности ванны, m^2 ; Δt — разность температур поверхности ванны и окружающего воздуха, $^\circ C$.

3. Определяют количество воздуха в конвективной струе, $\text{м}^3/\text{ч}$, на расстоянии y от поверхности:

$$L_k = 2170 \sqrt{Q F^2}. \quad (5.36)$$

4. Рассчитывают относительную высоту расположения щели кольцевого отсоса: если над щелью имеется бортик,

$$\bar{H} = [2h_b + 0,5(h_n + b)] / D; \quad (5.37)$$

если бортика над щелью нет,

$$\bar{H} = (h_n + 0,5b) / D, \quad (5.38)$$

где h_b — высота от верхней кромки всасывающего короба до щели, м; h_n — расстояние от поверхности источника вредных выделений до нижней кромки щели, м (для ванны с раствором h_n должно быть не менее 0,08—0,1 м); b — высота щели, м, принимаемая (0,08÷0,1) D .

Т а б л и ц а 5.9. Высота спектра вредных выделений в ваннах y для процессов металлопокрытия и травления [32]

Технологический процесс	Обрабатываемый материал	Температура раствора, °C	Химическое вещество	Вредные выделения	Высота спектра, мм
Травление	Сталь	15—60	Серная кислота	Аэрозоль серной кислоты	80
		30—40	Соляная кислота	Хлористый водород	80
		15—20	Азотная кислота	Пары азотной кислоты	40
	Медь	15—20	Плавиковая кислота	Фтористый водород	40
	Кадмий	15—20	Цианистый калий	Цианистый водород	80
	Медь и сплавы	15—20	Цианистый калий или натрий	То же	80
Декапирование	Сталь	15—20	Хромпик	Аэрозоль серной кислоты	80
	Медь	15—20	Азотная и серная кислоты	Пары азотной кислоты и окислов азота	40
Матирование	Алюминий	—	Хлористый натрий	Аэрозоль щелочи	160
Цинкование	Черные металлы	18—20	Цианистый натрий	Цианистый водород	160
Меднение	Сталь	18—23	Цианистый калий	То же	80
Лужение	Медь	60—70	Едкий натрий	Пары щелочи	80
Кадмирование	Черные металлы	15—20	Электролит	Цианистый водород	80
Обезжиривание	—	60—80	Фосфористый натрий	Пары воды и щелочи	160
Свинцевание	Черные металлы	15—20	Углекислый свинец, плавиковая кислота	Фтористый водород	40
Латунирование	То же	30—40	Свободный цианит	Цианистый водород	80
Хромирование	Черные и цветные металлы	45—60	Хромовый ангидрид, серная кислота	Хромовый ангидрид	40
Серебрение	Цветные металлы	15—20	Цианистый калий	Цианистый водород	80
Золочение	То же	15—20	То же	То же	80
Оксидирование	Черные металлы	130—155	Едкий натрий, азотная кислота	Пары щелочи	40
Фосфатирование	Латунь	18—25	Аммиак	Аммиак	160
	Черные металлы	98—100	Мажер	Фосфорная кислота	160
Осветление	Цветные металлы	15—20	Хромовый ангидрид, азотная кислота	Окислы азота	40
Железнение	Сталь	100	Серная кислота	Пары серной кислоты	80
Снятие металлических покрытий	—	18—20	Соляная и серная кислоты	Хромовый ангидрид	80
Промывка в горячей воде	—	70—80	—	Пары воды	160

5. По графику (рис. 5.6), используя величины $\bar{H}$ и $\bar{y}$, определяют отношение расхода отсасываемого воздуха к конвективному потоку $L_{отс}/L_k$, после чего находят $L_{отс}$.

Для локализации и удаления вредных выделений используют всевозможные устройства, обеспечивающие в области всасывания равномерное поле эффективных скоростей.

Решетки применяют при выбивке опок. Расход воздуха, отсасываемого от вибрационной установки через решетку, а также удаляемого при окраске на решетках, приведен в гл. 7.

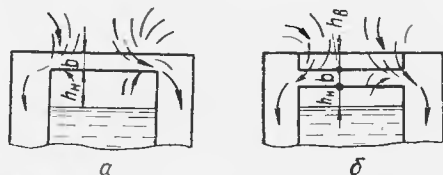


Рис. 5.5. Кольцевые отсосы:
а — без бортика; б — с бортиком.

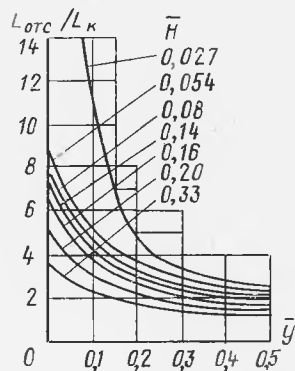


Рис. 5.6. График для расчета кольцевых отсосов.

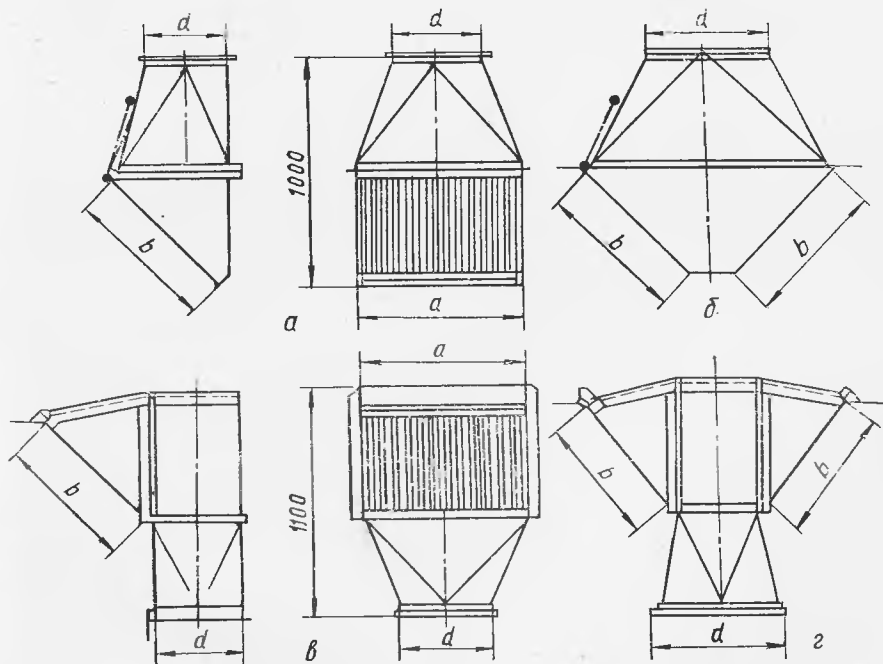


Рис. 5.7. Панели равномерного всасывания:

а — с верхним отсосом односторонняя; б — то же, двусторонняя; в — с нижним отсосом односторонняя; г — то же, двусторонняя.

Таблица 5.10. Технические данные панелей равномерного всасывания (см рис. 5.7)

Размеры			Расход воздуха, м³/ч, при скорости в живом сечении, м/с					Масса панелей, кг	
Живое сечение, мм²	$a \times b$, мм	d , мм	2	3	4	5	6	с верхним отсосом	с нижним отсосом
0,086	600×645	280	620	930	1240	1550	1860	24,2	25,7
0,11	750×645	315	790	1185	1580	1980	2370	30	41,3
0,13	900×645	315	935	1400	1870	2340	2810	37,8	46,6
0,172	600×645	400	1240	1860	2480	3100	3720	37,7	51,7
0,22	750×645	400	1580	2370	3160	3960	4740	42,5	56,1
0,26	900×645	450	1870	2800	3740	4680	5620	49	68,2

Таблица 5.11. Формулы для расчета активированных местных отсосов (см рис. 5.8) [7]

Рассчитываемый параметр	Расчетные формулы при приточной струе	
	не ограниченной поверхностями	полуограниченной

Отсосы круглого сечения с поддувом из сопла

Расстояние от приточного отверстия до критического сечения, м	$x_{кр}=0,848B$ (5.39)	
Диаметр приточного отверстия, м	$d_1 = 0,138Bv_{мин}/v_1$ (5.40)	$d_1 = 0,098Bv_{мин}/v_1$ (5.41)
Диаметр всасывающего отверстия, м	$d_2 = 0,196B\sqrt{v_{мин}/v_2}$ (5.42)	$d_2 = 0,138B\sqrt{v_{мин}/v_2}$ (5.43)
Расход приточного воздуха, м³/ч	$L_1 = 55B^2v_{мин}^2/v_1$ (5.44)	$L_1 = 27B^2v_{мин}^2/v_1$ (5.45)
Расход отсасываемого воздуха, м³/ч	$L_2 = 109B^2v_{мин}$ (5.46)	$L_2 = 54B^2v_{мин}$ (5.47)

Отсосы щелевидной формы с поддувом из щели

Расстояние от приточного отверстия до критического сечения, м	$x_{кр}=0,875B$ (5.48)	
Ширина приточной щели, м	$b_1 = 0,131B(v_{мин}/v_1)^2$ (5.49)	$b_1 = 0,066B(v_{мин}/v_1)^2$ (5.50)
Ширина всасывающей щели, м	$b_2 = 0,202Bv_{мин}/v_2$ (5.51)	$b_2 = 0,101Bv_{мин}/v_2$ (5.52)
Расход приточного воздуха, м³/ч	$L_1 = 473Blv_{мин}^2/v_1$ (5.53)	$L_1 = 236Blv_{мин}^2/v_1$ (5.54)
Расход отсасываемого воздуха, м³/ч	$L_2 = 720Blv_{мин}$ (5.55)	$L_2 = 364Blv_{мин}$ (5.56)

Примечание. B — расстояние между приточными и вытяжными отверстиями или щелями, м; $v_{мин}$ — скорость на осн потока в критическом сечении, м/с; v_1 — средняя скорость движения воздуха в приточной щели или отверстии, м/с; v_2 — средняя скорость движения воздуха во всасывающей щели или отверстии, м/с; l — длина приточной или вытяжной щели, м.

Панели равномерного всасывания (рис. 5.7) применяют при производстве сварочных работ, разливке металла на конвейере и других процессах. Расход воздуха такими панелями приведен в табл. 5.10.

С целью повышения эффективности местных отсосов их активируют струями [7] (рис. 5.8). На оси потока такой струи наблюдается точка, в которой заметно влияние всасывающего отверстия. Сечение приточной струи в этом месте названо критическим. Скорость приточной струи в критическом сечении принимают 1—2 м/с и более, но она должна превышать скорость распространения вредных выделений. Минимальную ширину приточной струи принимают 5 мм, а щели местного отсоса — 50 мм. Максимальную скорость приточной струи над поверхностью жидкости ограничивают 10 м/с. Активированные местные отсосы рассчитывают по формулам, приведенным в табл. 5.11.

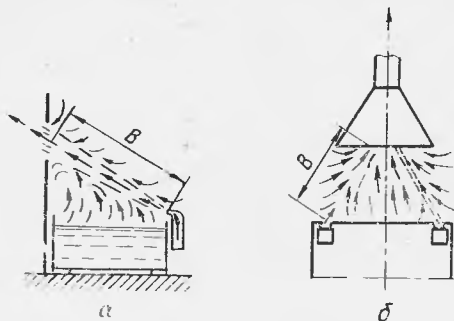


Рис. 5.8. Схемы местных отсосов, активированных поддувом:

а — панель со сдувом компактной струей; б — зонт.

6. ОБЩЕОБМЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

6.1. ОРГАНИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА

Общеобменная вытяжная вентиляция предназначена для удаления тех вредных выделений, которые попадают в воздух вследствие несовершенства местных отсосов, недостаточной эффективности их работы или невозможности их устройства. Согласно СНиП II-33-75, вытяжку следует организовывать от мест максимальной концентрации вредных выделений и так, чтобы потоки загрязненного воздуха не протекали через рабочие места. Из верхней зоны воздух удаляют при избытках явного тепла и влаги с учетом требований для газов и паров, образующих с воздухом взрывоопасные смеси (СНиП II-33-75), а также при выделении пыли и тепла высокотемпературными источниками. При незначительных избытках явного тепла, отсутствии высокотемпературных источников и рассредоточенном размещении оборудования воздух рекомендуется удалять из нижней и верхней зон помещения в зависимости от плотности вредных веществ, характера их выделения и т. д.

Расходы воздуха общеобменной вытяжной вентиляции, кг/ч, определяют из условий доминирующих вредных выделений, а именно:

явного тепла $Q_{\text{я}}$, Вт,

$$G_{\text{я}} = 3,6Q_{\text{я}} / c (t_{\text{yx}} - t_{\text{п}}); \quad (6.1)$$

влаги $M_{\text{вл}}$, г/ч,

$$G_{\text{вл}} = M_{\text{вл}} / (d_{\text{yx}} - d_{\text{п}}); \quad (6.2)$$

полного тепла $Q_{\text{п}}$, Вт,

$$G_{\text{п}} = 3,6Q_{\text{п}} / (I_{\text{yx}} - I_{\text{п}}); \quad (6.3)$$

тепла $Q_{\text{п}}$ и влаги $M_{\text{вл}}$

$$G_{\text{т,в}} = 3,6Q_{\text{п}} / \Delta I = M_{\text{вл}} / \Delta d; \quad (6.4)$$

вредных паров, газов, пыли $M_{\text{вр}}$, мг/ч,

$$G_{\text{вр}} = 1,2M_{\text{вр}} / (Z_{\text{yx}} - Z_{\text{п}}). \quad (6.5)$$

где c — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C); t_{yx} и $t_{\text{п}}$ — температура воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией и подаваемого в помещение, °C; d_{yx} и $d_{\text{п}}$ —

влажностное содержание удаляемого и приточного воздуха, г/кг; I_{yx} и I_n — энтальпия удаляемого вентиляционной и приточного воздуха, кДж/кг; ΔI — разность энтальпий, кДж/кг, потоков удаляемого общеобменной вентиляционной и приточного воздуха, взятая по точкам I — d -диаграммы на линии, параллельной лучу процесса; Δd — разность влагосодержаний, г/кг, потоков удаляемого общеобменной вентиляционной и приточного воздуха, характеризующих состояние воздушной среды в соответствующих точках на линии I — d -диаграммы, проведенной параллельно лучу процесса; Z_{yx} — предельно допустимая концентрация вредных веществ, мг/м³ (ГОСТ 12.1.005—76); Z_n — концентрация вредных веществ в приточном воздухе, мг/м³, принимаемая не более 30 % предельно допустимой.

Если воздух удаляют из рабочей зоны, то рекомендуется [40] принимать t_{yt} , d_{yx} и Z_{yx} соответственно $t_{p.з.}$, $d_{p.з.}$ и $Z_{p.з.}$. При вытяжке воздуха из верхней зоны эти параметры рассчитывают по формулам

$$t_{yx} = t_n + k_t(t_{p.з.} - t_n); \quad (6.6)$$

$$d_{yx} = d_n + k_d(d_{p.з.} - d_n); \quad (6.7)$$

$$Z_{yx} = Z_o + k_z(\text{ПДК} - Z_o), \quad (6.8)$$

где k_t , k_d , k_z — коэффициенты воздухообмена по избыткам тепла, влаги и концентрации вредных веществ (табл. 6.1—6.3). В первом приближении можно принять $k_d = k_z$.

Таблица 6.1. Ориентировочные значения коэффициента k_t для помещений со значительными избытками явного тепла [40]

Помещения	k_t
Кузнечно-прессовые цехи, печные пролеты сталеплавильных, рельсопрокатных цехов, помещения эмалирования нагревательных колодцев, блюмингов, складов заготовок	2
Термические цехи	1,9
Сушильные цехи	1,8
Литейные цехи	1,7
Доменные и кузнечные цехи	1,6
Прокатные цехи	1,5
Электролизные цехи, машинные залы и компрессорные	1,4
Цехи вулканизации и производства изделий из пластмасс	1,3

В табл. 6.1 приведены данные для помещений, в которых циркуляция воздуха обусловлена главным образом коинвективными потоками, а в табл. 6.2 — совместным действием приточных и конвективных потоков от крупногабаритных ($d_{экв} = 1,5$) теплоисточников с расстоянием между воздухораспределителями 12 м и более. В табл. 6.3 воздухораспределения относятся к пехам радиотехнической и электронной промышленности, а также сборочно-сварочным, заготовительно-штамповочным и другим цехам с габаритными равномерно распределенными теплоисточниками, где циркуляция воздуха обусловлена только приточными струями. Значения k_t даны в зависимости от $q_{p.з.} = Q_{p.з.}/Q$ (где $Q_{p.з.}$ — количество тепла, поступающего в рабочую зону, $Q = Q_{p.з.} + Q_{в.з.}$, $Q_{в.з.}$ — количество тепла, поступающего в верхнюю зону), а также от расстояния по горизонтали h от всасывающего отверстия до выпуска струи и от ее площади $F_{стр}$ на входе в рабочую зону (см. табл. 6.3).

Для помещений с выделением взрывоопасных газов и паров воздухообмен проверяют из условий нормируемой концентрации 5 % от нижнего предела взрываемости N_n , т. е. в выражении (6.5) вместо Z_{yx} следует принять $0,05 N_n$ и вместо Z_n — не более 30 % от $0,05 N_n$.

Расчетные избытки тепла Q^n , Вт, в формулах (6.1), (6.3) и (6.4) определяют с учетом теплового баланса (см. табл. 2.29) $Q_{т.в.}$ тепла, вносимого или ассимилируемого местной приточной вентиляцией $Q_{м.п}$ и технологическим дутьем $Q_{т.д.}$, а также удаляемого местными отсосами $Q_{м.о.}$:

$$Q^n = \pm Q_{т.в.} \pm Q_{м.п} \pm Q_{т.д.} - Q_{м.о.} \quad (6.9)$$

Таблица 6.2. Ориентировочные значения коэффициентов k_t и k_z для помещений с незначительными избытками явного тепла и искусственной вентиляцией [40]

Способ подачи воздуха	Значения k_t (числитель) и k_z (знаменатель) при кратности воздухообмена, ч ⁻¹					
	3	5	10	15	20	25
1. Приколонная подача непосредственно в рабочую зону высотой до 2 м от пола	$\frac{1,3}{1,85}$	$\frac{1,2}{1,75}$	$\frac{1,15}{1,65}$	$\frac{1,1}{1,6}$	$\frac{1,05}{1,55}$	$\frac{1,05}{1,5}$
2. Приколонная подача с высоты 4 м от пола наклонными веерными струями в направлении рабочей зоны	$\frac{1,15}{1,4}$	$\frac{1,05}{1,35}$	$\frac{1}{1,25}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,15}$	$\frac{1}{1,15}$
3. Горизонтальными компактными струями с высоты более 6 м от пола	$\frac{1}{1,1}$	$\frac{0,95}{1}$	$\frac{0,85}{0,9}$	$\frac{0,8}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{0,75}{0,8}$
4. Вертикальными закрученными струями сверху вниз с высоты более 6 м от пола	$\frac{1}{1,1}$	$\frac{0,95}{1,05}$	$\frac{0,9}{1}$	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{0,8}{0,9}$

Примечание. В таблице приведены данные экспериментов для помещений высотой 7—15 м при отношении высоты оборудования к высоте помещения менее 0,8 и площадях зон действия воздухораспределителей для 1-го способа подачи не более 300, 2-го — 600, 3-го — 900 и 4-го — 600 м². Источники тепла и газов расположены в рабочей зоне, плотность газа не превышает 1,5 плотности воздуха. Вытяжка размещена в верхней зоне помещения.

Таблица 6.3. Расчетные значения коэффициента k_t [40]

Способ подачи воздуха	Место удаления воздуха общеобменной вентиляции	Доля тепловыделений в рабочую зону $q_{p,z}$	k_t
Непосредственно в рабочую зону	Из верхней зоны	1 0,7 0,5	1 1,4 2
Наклонными струями в направлении рабочей зоны с высоты 4 м от пола	То же	1 0,7 0,5	1 1,2 1,3
То же, более 4 м	»	1 0,7 0,5	1 1 1,2
Выше рабочей зоны: настиляющимися и ненастиляющимися струями	Вне зоны непосредственного воздействия струй	1 0,7 0,5	1,1 1,15 1,2
плоскими или компактными и веерными струями настиляющимися струями	В зоне непосредственного воздействия струй То же, при $h/F_{стр}$:	1 0,5	0,9 0,85
	10	—	0,8
	20	—	0,9
	30	—	0,95
ненастиляющимися струями	Из верхней зоны	1 0,7 0,5	0,85 0,95 1

Таблица 6.4. Воздушный баланс помещений [3]

Наименование помещения	Период года	Объем помещения, м³	Избытки (+) или недостатки (-) тепла, Вт	Вытяжная			
				местная, кг/ч м³/ч		общеобменная, кг/ч м³/ч	
				естествен- ная	искусст- венная	естествен- ная	искусст- венная
Механический цех	Холодный	9210	—56 290		6010		7690
					5020		6430
	Переходный		+45 990		6010	57 500	
					5020	48 100	
	Теплый		+129 430		6010	144000	
					5090	121970	

При этом абсолютное количество тепла, вносимого или удаляемого воздухом,

$$Q = 0,278cG(t_v - t_n), \quad (6.10)$$

где $c=1,005$ кДж/(кг·°C) — удельная теплоемкость воздуха; G — расход воздуха, кг/ч; t_v — для вытяжных установок — температура удаляемого воздуха, °C, для приточных — большая по абсолютной величине температура воздуха приточного или рабочей зоны, °C; t_n — для вытяжных установок — температура наружного воздуха, °C, для приточных — меньшая по абсолютной величине температура воздуха приточного или рабочей зоны, °C.

В качестве расчетного принимают максимальный из расходов, полученных по формулам (6.1) — (6.5), при условии, что вредные выделения не обладают свойством суммации, т. е. одностороннего воздействия на человека. Если же выделяется несколько вредных веществ и среди них находятся промышленные яды одностороннего действия, то расчетный расход воздуха следует принимать как сумму расходов, необходимых для ассимиляции каждого вредного вещества.

Расход воздуха общеобменной приточной вентиляции определяют на основании воздушного баланса помещений.

Согласно СНиП II-33-75, минимальный расход подаваемого в помещение наружного воздуха составляет 20 м³/ч при объеме помещения, приходящегося на одного работающего, 20 м³ и более и возможности естественного проветривания помещения. Если этот объем менее 20 м³ при тех же условиях, то минимальный расход равен 30 м³/ч. При любом объеме, приходящемся на одного работающего, но невозможности естественного проветривания, минимальный расход подаваемого воздуха составляет 60 м³/ч на одного человека, но с таким расчетом, чтобы суммарный расход для помещения составил не менее однократного обмена. С учетом этого следует корректировать расход общеобменной вытяжной вентиляции, если его кратность менее 1 ч⁻¹.

Общеобменную приточную вентиляцию рассчитывают на основе воздушного баланса помещений, принимая полную или частичную компенсацию расходов масс вытяжной вентиляции суммарными массами приточного воздуха.

На примере воздушного баланса механического цеха (табл. 6.4) можно проследить последовательность расчета воздухообмена в помещении. Воздушный баланс составляют для каждого помещения отдельно.

6.2. ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

Основные решения по отоплению помещений принимают попутно с составлением воздушного баланса. В соответствии с рекомендациями СНиП II-33-75 и ведомственными указаниями отопление большинства помещений цехов в холодный период года

Вентиляция			Приточная вентиляция							
Всего, $\frac{\text{кг/ч}}{\text{м}^3/\text{ч}}$	Крат- ность обмена, ч^{-1}	Температура уходя- щего воздуха $t_{\text{ух}}$, °C	местная, $\frac{\text{кг/ч}}{\text{м}^3/\text{ч}}$		общеобменная, $\frac{\text{кг/ч}}{\text{м}^3/\text{ч}}$		Всего, $\frac{\text{кг/ч}}{\text{м}^3/\text{ч}}$	Кратность обмена, ч^{-1}	Температура прито- чного воздуха $t_{\text{пр}}$, °C	Примечания
			естествен- ная	искусст- венная	естест- венная	искусст- венная				
$\frac{13\,703}{11\,450}$	1,24	22		2630 2300		$\frac{11\,070}{9690}$	$\frac{13\,703}{11\,990}$	1,22	36	
$\frac{63\,510}{53\,120}$	5,76	22			$\frac{63\,510}{50\,910}$		$\frac{63\,510}{50\,910}$	5,52	10	
$\frac{150\,010}{127\,060}$	13,78	26			$\frac{150\,010}{125\,350}$		$\frac{150\,010}{125\,350}$	13,6	22	

предусматривается дежурное, совмещенное в рабочее время с вентиляцией (табл. 6.5). В переходный период года необходимость в дежурном отоплении отпадает.

Количество тепла, сообщаемого помещению дежурным отоплением в холодный период года $Q_{д.о}$, Вт, с целью поддержания температуры воздуха в нерабочее время не ниже 5 °C, компенсирует теплопотери через ограждающие конструкции $Q_{ог}$ (см. гл. 3) с учетом добавочных теплопотерь $Q_{дб}$, включая теплопотери на нагрев инфильтрующегося воздуха:

$$Q_{д.о} = \frac{Q_{ог} + Q_{дб}}{t_b - t_n} (5 - t_n), \quad (6.11)$$

где t_b и t_n — внутренние и наружная по параметру Б температура воздуха, °C.

Количество тепла, Вт, сообщаемого забираемому снаружи приточному воздуху с целью отопления помещения,

$$\Delta Q^n = \pm Q_{т.б} \pm Q_{м.п} - Q_{м.о} - Q_{о.в} + Q_{д.о} \pm Q_{т.д}, \quad (6.12)$$

где $Q_{о.в}$ — абсолютное значение тепла, удаляемого общеобменной вытяжной вентиляцией, Вт; остальные значения те же, что и в формуле (6.9).

Температуру приточного воздуха (см. табл. 6.4) рассчитывают по формуле

$$t_{пр} = t_{р.з} + \frac{\Delta Q^n}{0,278cG_{пр}}, \quad (6.13)$$

где $G_{пр}$ — массовый расход воздуха общеобменной приточной вентиляции, кг/ч.

При избытках тепла в холодный или переходный периоды года можно принять температуру приточного воздуха ниже расчетной перед подачей в рабочую зону, если в верхней зоне обеспечен нагрев воздуха до нормальной температуры. Температура воздуха, подаваемого в рабочую зону, 5—45 °C.

При высоте помещения $H_n < 8$ м рекомендуется [40, 6] принимать настилающиеся струи и выпускать их на высоте $h = 0,85 H_n$. При $H_n \geq 8$ м следует принимать ненастилающиеся струи на высоте $h = (0,35 \div 0,65) H_n$. При этом минимальное расстояние от рабочей зоны до выпуска должно быть $0,3 \sqrt{F_n}$, где F_n — площадь сечения помещения, приходящаяся на одну струю. Воздухораспределители, подающие компактные струи, размещают на расстоянии от рабочей зоны $b \leq H_n$, а подающие неполные верные струи — на расстоянии до $10 H_n$. Выпуски струй располагают на расстоянии от препятствий их распространению более $2 H_n$. Воздухораспределители и отопительные агрегаты монтируют на стенах и колоннах. Многорядная раздача рекомендуется односторонняя, встречными струями или шахматным расположением их.

Таблица 6.5. Способы отопления отдельных цехов

Цехи и отделения	Способы отопления	
	в рабочее время	в нерабочее время (дежурное отопление)
Цехи с избытками тепла: основные помещения	При положительном тепловом балансе не предусматривается, при отрицательном — воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией или воздушно-отопительными агрегатами	Рециркуляция приточных систем или воздушно-отопительными агрегатами
вспомогательные помещения (по табл. 7.12 и др.)	Дежурное отопление и перегрев приточного воздуха	Местными нагревательными приборами
Цехи с избытками влаги	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Рециркуляция приточных систем
Гальванические и травильные цехи: основные помещения	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Воздушное с работой части приточных установок на наружном воздухе
вспомогательные помещения и помещения объемом до 2000 м ³	Дежурное отопление и перегрев приточного воздуха	Местными нагревательными приборами
Окрасочные цехи: основные помещения	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Воздушное с работой части приточных систем на наружном воздухе
краскоприготовительные отделения с кладовыми для лакокрасочных материалов	Дежурное отопление и перегрев приточного воздуха	Местными нагревательными приборами с гладкими поверхностями (температура теплоносителя до 110 °С)
Сварочные цехи	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Рециркуляция приточных систем или воздушно-отопительными агрегатами (при обосновании), используемыми в рабочее время
Помещения для технического обслуживания транспортных средств	То же. В ремонтных помещениях — местными нагревательными приборами	Рециркуляция приточных систем (кроме аккумуляторных) или местными нагревательными приборами
Производства, связанные с переработкой и транспортированием сыпучих материалов:		
помещения объемом более 2000 м ³	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Рециркуляция приточных систем с очисткой воздуха от пыли
помещения объемом 2000 м ³ и менее	Дежурное отопление и перегрев приточного воздуха	Местными нагревательными приборами (радиаторы или гладкие трубы)
галерей	Местными нагревательными приборами	приборами из гладких труб
Деревообрабатывающие цехи	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Рециркуляция приточных систем, кроме помещений категорий А и Б
	Местными нагревательными приборами с температурой теплоносителя до 130 или 110 °С соответственно при его переменной или постоянной температуре	приборами с температурой теплоносителя до 130 или 110 °С соответственно при его переменной или постоянной температуре
Механические цехи	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	Рециркуляция приточных систем

Воздух, используемый для отопления в режиме рециркуляции, рекомендуется забирать преимущественно из рабочей зоны.

Воздушное отопление рассчитывают по общей методике расчета воздухоораспределителей (см. гл. 3).

Пример 1. В цех длиной $l_n = 240$ м, шириной $B_n = 36$ м и высотой $H_n = 10$ м необходимо подать приточный воздух в количестве $L_{np} = 785\,300$ м³/ч и при этом компенсировать недостаток тепла $\Delta Q_n = 2,6 \cdot 10^6$ Вт. Температура воздуха рабочей зоны — 17 °С, допустимая скорость движения воздуха — 0,5 м/с.

Принимаем воздухоораспределители в виде цилиндрических труб, имеющих длину после отвода $(0,4 \div 0,8)d_o$ и коэффициенты $m = 5,4$, $n = 3,6$, $\xi = 1,5$ [4]. Устанавливаем их на длинных стенах на высоте $h_v = 0,5H_n = 5$ м (струя ненастилающаяся).

Глубину действия горизонтальной струи принимаем равной ширине помещения $l_n = 36$ м.

Из формулы (3.23) длина помещения, обслуживаемого одной струей,

$$\sqrt{F_n} = l_n / 0,7m = 36 / 0,7 \cdot 5,4 = 9,5 \text{ м.}$$

Принимаем $\sqrt{F_n} = 10$ м.

Площадь поперечного сечения помещения, приходящаяся на один воздухоораспределитель, $F_n = 100$ м².

Количество воздухоораспределителей $z = 240/10 = 24$. Принимаем шахматное расположение воздухоораспределителей по 12 на каждой длинной стене. Расход воздуха одним воздухоораспределителем $L_o = 785\,300/24 = 32\,721$ м³/ч.

Согласно формуле (4.26) и табл. 3.8, начальная площадь струи при $v_x = v_{\text{макс. обр}} = 0,5$ м/с.

$$F_o = (0,8L_o / v_x \sqrt{F_n})^2 = (0,8 \cdot 32\,721 / 0,5 \cdot 10 \cdot 3600)^2 = 2,11 \text{ м}^2.$$

Принимаем $F_o = 2,011$ м² и диаметр воздуховода $d_o = 1600$ мм.

Скорость воздуха, выпускаемого из воздухоораспределителя,

$$v_o = 32721 / 3600 \cdot 2,011 = 4,52 \text{ м/с.}$$

По формуле (6.13) температура перегрева приточного воздуха, обеспечивающая восполнение недостатков тепла,

$$\Delta t = 3,6 \Delta Q_n / \rho_{p,z} L_{np} = 3,6 \cdot 2,6 \cdot 10^6 / 1,217 \cdot 785\,300 = 9,8 \text{ °С.}$$

Согласно (3.31), максимально допустимая избыточная температура в струе из условий предотвращения ее «всплывания»

$$\Delta t_o = 1300 \alpha \sqrt{F_o} / mn F_n = 1300 \cdot 4,52^2 \cdot \sqrt{2,011} / 5,4 \cdot 3,6 \cdot 100 = 19,4 \text{ °С.}$$

Принимаем $\Delta t_o = 10$ °С.

Температура приточного воздуха

$$t_{np} = t_{p,z} + \Delta t_o = 17 + 10 = 27 \text{ °С.}$$

Потеря давления в воздухоораспределителе

$$\Delta p = (\xi v^2 \rho / 2) [(273 + t_{np}) / 293] = (1,5 \cdot 4,52^2 \cdot 1,205 / 2) [(273 + 27) / 293] = 18,9 \text{ Па.}$$

Пример 2. Для условий примера 1 при температуре наружного воздуха по параметру Б $t_n = 10$ °С рассчитать отопительные агрегаты.

Температуру приточного воздуха системы общеобменной вентиляции принимаем 17 °С. Количество тепла, возмещаемого общеобменной вентиляцией,

$$Q_n = 0,28 c L_p (t_n - t_{np}) = 0,28 \cdot 1,005 \cdot 785\,300 \cdot 1,217 (17 - 10) = 1,883 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Количество тепла, подаваемое отопительными агрегатами,

$$\Sigma Q_a = k_a (\Delta Q_n - Q_n),$$

где k_a — коэффициент, принимаемый 1,1 и 1,3 при заборе рециркуляционного воздуха соответственно из рабочей и верхней зон.

Принимаем забор воздуха из рабочей зоны. Тогда

$$\Sigma Q_a = 1,1 (2,6 - 1,883) 10^6 = 1,519 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Принимаем отопительные агрегаты марки А02-20-01УЗ (см. табл. 8.38) с расходом воздуха $L_a = 20\,000$ м³/ч, возможной теплопроизводительностью $Q_a = 220,4$ кВт, температурой выпуска струи 49 °С, коэффициентами $m = 4,5$, $n = 3,2$ и площадью выпуска струи $F_o = F_{a,k_{ж,c}} = 0,78$ м², где F_a — площадь выпуска, м²; $k_{ж,c} = 0,6$ — коэффициент живого сечения решетки на выходе из агрегата. Высоту установки агрегатов принимаем 5 м.

Если принять установку агрегатов на длинной стене здания, то длина струи $l_n = 36$ м, а минимальная площадь помещения, обслуживаемая струей, из выражения (3.23)

$$F_n = (l_n / 0,7m)^2 = (36 / 0,7 \cdot 4,5)^2 = 130 \text{ м}^2.$$

Тогда количество агрегатов

$$N \leq 240 \cdot 10 / 130 \leq 18; \quad N_{\text{макс}} = 18.$$

Количество агрегатов, удовлетворяющих ΣQ_a ,

$$N = 1,519 \cdot 10^6 / 220,4 \cdot 10^3 = 6,8$$

и условию их размещения

$$N \geq 240 / 3H_n \geq 240 / 3 \cdot 10 = 8; \quad N_{\text{мин}} = 7.$$

Максимальная площадь помещения, обслуживаемая одним агрегатом,

$$F_n \leq 30 \cdot 10 = 300 \text{ м}^2.$$

Количество агрегатов рассчитываем по формуле

$$N \geq \left(\frac{F_n \text{ min } \Sigma Q_{a.c}}{364 \rho L_a v_0^2 \sqrt{F_0}} \right)^{1/2},$$

удовлетворяющей условиям равенства разностей температур Δt_a , обеспечивающих компенсацию недостатков тепла в помещении площадью F_n , и Δt_0 — «невсплывание» струи.

Количество агрегатов принимаем в пределах

$$N_{\text{мин}} \leq N \leq N_{\text{макс}}.$$

Для решаемой задачи

$$N \geq \left(\frac{2400 \cdot 4,5 \cdot 3,9 \cdot 1,519 \cdot 10^6}{364 \cdot 1,217 \cdot 20\,000 \cdot 7,1^2 \sqrt{0,78}} \right)^{1/2} = \sqrt{133,09} = 11,5.$$

Принимаем $N = 12$.

Температура воздуха, подаваемого агрегатом,

$$t_a = t_{p.з} + \Delta t_a = t_{p.з} + \frac{\Sigma Q_{a.c}}{0,28 N \rho L_a} = 17 + \frac{1,519 \cdot 10^6}{0,28 \cdot 12 \cdot 1,217 \cdot 20\,000} = 17 + 18,6 = 35,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Площадь помещения, обслуживаемого струей,

$$F_n = 2400 / 12 = 200 \text{ м}^2.$$

Исходя из формулы (3.26) и табл. 3.8, максимальная скорость воздуха в обратном потоке

$$v_{\text{макс.обр}} = kv_0 \sqrt{F_0 / F_n} = 0,7 \cdot 7,1 \sqrt{0,78 / 200} = 0,31 \text{ м/с}.$$

Скорость потока удовлетворительная: $v_{\text{макс.обр}} < 0,5 \text{ м/с}.$

7. ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЦЕХОВ

7.1. ЦЕХИ С ИЗБЫТКАМИ ТЕПЛА

Типы местных отсосов и количество вредных выделений в помещениях принимают по данным технологов, а при отсутствии таких данных — по табл. 7.1—7.8.

Вентиляцию горячих цехов с отрицательным тепловым балансом решают следующим образом.

В холодный и переходный периоды принимают механическую или естественную вытяжную вентиляцию из верхней зоны, рассчитанную на удаление вредных выделений, не уловленных местными отсосами. Предусматривают общеобменную и местную (воздушное душирование) механическую приточную вентиляцию с подогревом приточного воздуха, рассчитанную на компенсацию вытяжной вентиляции, а также

Таблица 7.1. Местные отсосы и укрытия в горячих отделениях литейных цехов [44]

Технологическое оборудование или месторасположение укрытия	Тип местного отсоса	Скорость воздуха в открытом проеме укрытия, м/с	Объем отсасываемого воздуха, тыс. м³/ч	Примечание
Вагранки для плавки чугуна	Зонт с асбестовыми свесами над желобом для выпуска чугуна в ковши То же, над желобом для выпуска шлака (при непрерывном сливе шлака и отсутствии устройства для его грануляции) Зонт над загрузочным окном при ручной загрузке (альбом серии 4.904-38)	1 (в приемном сечении зонта) То же 1—1,5 (в приемном сечении зонта)	По расчету, исходя из площади и скорости в сечении зонта	Местный отсос рассматривается как часть общеобменной вентиляции. Локализация вредных выделений не учитывается
Печи для плавки латуни и бронзы электродуговыми: ДМК-0,25 ДМК-0,5 ДМК-1,0 То же, индукционные: АЯКС и ИЛК-1 ИЛТ-1,5 ИЛТ-3,0	Зонт с верхним отсосом над печью Боковой кольцевой отсос Верхне-боковой отсос То же Зонт над леткой Укрытие шкафного типа с верхним отсосом Кольцевой отсос	2 (в приемном сечении зонта) 12,2 (в щели бортового отсоса) 14 (в щели отсоса) 13,2 (в щели отсоса) 2 (в приемном сечении зонта) 2 12 (в щели отсоса)	15,8 17 21,6 8,6 25 30 2,88 4,6 8,6	Местные отсосы по альбому типовых чертежей 4.904-34
Печи тигельные газовые стационарные То же, поворотные Машины для литья латуни и бронзы: для литья под давлением горизонтальные То же, вертикальные для центробежного литья ЦМ-300	Зонт над местом заливки Верхне-боковой зонт над местом выемки отливок Отсос от места заливки Укрытие Панель равномерного всасывания вдоль конвейера (альбом серии 4.904-45) Компенсационное воздушное-струйное укрытие Панель равномерного всасывания у места установки форм (альбом серии 4.904-37 или 4.904-45) Кожух с торцовыми проемами и отсосами в верхней части	2 (в приемном сечении зонта) 5 (в приемном сечении зонта) 11,5 (в сечении отсоса) 10 До 5 (в живом сечении панели) По расчету До 5 (в живом сечении панели)	3,45 5,4 2,1 2,7 До 5,3 на 1 м панели По расчету, исходя из площади живого сечения панели По расчету, исходя из площади открытых сечений проемов	То же
Места (фиксированные) заливки форм латуни и бронзой при литье на плацу Участки охлаждения форм на конвейере (перед выбровкой)				

Технологическое оборудование или месторасположение укрытия	Тип местного отсоса	Скорость воздуха в открытом проеме укрытия, м/с	Объем отсасываемого воздуха, тыс. м ³ /ч	Примечание
Участки цепных охлаждающих конвейеров с навешенными отливками	Боковая панель равномерного всасывания по длине конвейера при открытом конвейере Кожух с торцовыми проемами для входа и выхода отливок и отсосами в верхней части	До 5 (в живом сечении панели) 0,8	До 5,3 на 1 м панели По расчету, исходя из площади открытых сечений проемов	То же (см. с. 95) Количество уносимого воздуха определяется расчетом, исходя из разности температур металла на входе в укрытие и выходе из него
Стенды для сушки ковшей	Укрытие шкафного типа с проемом и отсосом в верхней части	0,7 (при механической вытяжке и $t_{yx}=150^{\circ}\text{C}$) 0,4 (при естественной вытяжке и $t_{yx}=350^{\circ}\text{C}$)	По расчету, исходя из площади проема	—
Выбивные решетки модели ИР-410 для отливок высотой 1,5–2 м	Укрытие с рабочим проемом. В торце укрытия 4 отсоса	—	100 на 4 отсоса	Отсосы по альбому серии 4.904-51
Решетки площадью более 3 м ² для выбивки форм	Накатное укрытие с отсосом в боковой неподвижной части	Не менее 5 (в неплотностях)	По расчету, исходя из площади открытых проемов и неплотностей	—
Решетки для выбивки форм высотой 35% ширины решетки при площади, занятой формой, до 30% площади решетки То же, до 50% площади решетки	Отсос снизу под решеткой	—	12/10 на 1 м ² решетки 16/12 на 1 м ² решетки	В числителе — при температуре отливок более 200 °С, в знаменателе — до 200 °С

Таблица 7.2. Местные отсосы от нагревательных камерных печей кузнечно-прессовых цехов [58]

Тип печи	Размер пода, м	Объем отсасываемого воздуха м ³ /ч, при вытяжке	
		механической	естественной
Щелевая с рекуператором	0,58×0,46	660	—
	0,7×0,46	800	—
	0,81×0,58	1140	—
	0,93×0,7	1900	—
	1,2×0,81	3200	—
	1,5×0,81	4100	—
	2,08×0,81	5100	—
Щелевая без рекуператора	0,58×0,46	1070	350
	0,7×0,46	1460	420
	0,81×0,58	2000	650
	0,93×0,7	3030	1000
	1,2×0,81	5300	1700
	1,5×0,81	6950	2200
	2,08×0,81	5900	2280

Тип печи	Размер пода, м	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч, при вытяжке	
		механической	естественной
С отводом газов в боров	0,58×0,58	1650	540
	0,7×0,7	2780	900
	0,93×0,7	3300	1050
	1×0,93	4800	1350
	1,2×1,5	8650	2850
	1,4×0,93	7150	2300
	1,4×1,86	11800	—
	1,6×2,3	15800	—
	1,8×0,93	9300	3000
	1,8×2,8	17000	—
	2,1×2,3	19000	—
	2,1×3,2	22100	—

Примечание. Для щелевых печей конструкцию местного отсоса принимает по альбому серии ОВ-02-148 (вып. 4), для печей с отводом газов в боров местным отсосом служит зонт-козырек.

Таблица 7.3. Местные отсосы и укрытия в термических цехах [60]

Технологическое оборудование	Тип местного отсоса	Скорость воздуха в открытом приеме, м/с	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч, при $t=20^\circ\text{C}$	Выделения, удаляемые местным отсосом
Электропечи сопротивления камерные: СНЗ-6,5.13.4,0/10 СНЗ-6,5.13.4,0/12 СНЗ-8,5.17.5,0/12	Зонт-козырек над разгрузочными окнами	0,6 0,7 0,7	2100 2300 2900	Окись углерода и тепло
СНЗ-4,0.8,0.2.6/10	Зонт-козырек и воронка	0,6; 1,1	1550	
СНЗ-5,0.10.3,2/10	Зонт-козырек	0,9	1400	
Электропечи шахтные для азотирования, размером (диаметр × высота), м: 1×4 0,6×5,6	Кольцевой отсос	2,7 2,5	7100 3700	Аммиак и тепло
Электропечи с контролируемой атмосферой, толкательные	Вонты-козырьки над разгрузочными окнами	Не менее 0,7	По расчету	Окись углерода и тепло
Печи термические камерные с отводом газов в боров при размере пода (длина × ширина), м: 0,46×0,58 0,58×0,81 0,7×0,93 0,93×1,4 1,2×1,6 1,4×1,8 1,6×2,4 1,8×2,8	Зонты-козырьки над разгрузочными окнами и зонты над камерными печами	0,9 (0,5) 0,9 (0,5) 0,8 (0,5) 0,9 (0,5) 1,1 (0,6) 1 (0,6) 0,8 (0,5) 1,1 (0,6)	490 (150) 730 (230) 920 (280) 1940 (550) 2750 (830) 3250 (1000) 3650 (1090) 5800 (1760)	Окись углерода и тепло

Технологическое оборудование	Тип местного отсоса	Скорость воздуха в открытом проеме, м/с	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч, при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Выделения, удаляемые местным отсосом
Печь-плита для отпуска хвостиков штампов	Поворотный зонт	0,6	5300	Продукты горения
Агрегат газовый толкательный БА-9 (с радиационными трубами на 48 поддонов для нитроцементации)	Укрытие моечной машины и отпускной печи. Воронки у эжекторов	— 2	3600 28000	Продукты горения и пары воды
Агрегат цианирования	Общее укрытие с открытой площадью рабочих проемов $1,9\text{ м}^2$	1,5	10300	Цианистый водород (40 г/ч)
Агрегаты для закалки инструмента из быстрорежущей стали: ОКБ-68А	Укрытие и бортовой отсос	0,7; 9	3500	Пары солей
ААЗ-2	Воронка и укрытие	5,2—1	9000	
Агрегат конвейерный типа СКЗА-3/7, закально-отпускной:				
электропечь бак	Две воронки	2,5	800	Продукты горения
	Укрытие	—	2000	Аэрозоли масла
Агрегат автоматизированный для светлой индукционной закалки плашек типа АСИЗ-1	Укрытие	—	1500	То же
	Воронка	1	450	
Агрегат моечно-сушильный с цепным конвейером				
Линия закалки инструмента из быстрорежущей стали типа «Оренбург»	Укрытие	1	2000	Пары воды
		1,2	10000	Пары солей
Электрованны шахтные масляные для старения, размером (диаметр $\times$ высота), м:				
$0,7 \times 4$				
$0,8 \times 8$	Кольцевой отсос	4,7 4,5	3100 3200	Аэрозоли масла
Электрованны соляные электродные:				
СВС-35/13	Укрытие	0,6	2200	Аэрозоли азотно-кислого калия и натрия при рабочей температуре $450\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Бортовой отсос	8,8	400	
СВС-60/13	Укрытие	0,8	2650	Аэрозоли хлористого натрия и хлористого бария, пары и аэрозоли фтористого магния при рабочей температуре $800\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Бортовой отсос	8,3	450	
СВС-100/13	Укрытие	0,8	2950	
	Бортовой отсос	7	550	

Технологическое оборудование	Тип местного отсоса	Скорость воздуха в открытом проеме, м/с	Объем отсасываемого воздуха, м ³ /ч, при t=20 °С	Выделения, удаляемые местным отсосом
Электрованны соляные с наружным обогревом: СВГ-20/8,5 СВГ-30/8,5	Укрытие	0,8	1000 1500	Пары и аэрозоли цианистого натрия и аэрозоли углекислого натрия при рабочей температуре 450—500 °С
Ванны диаметром 0,75 м высотой 1,2 м: для обезжиривания для промасливания	Бортовой отсос	3,3 5,3	1400 2300	Аэрозоли щелочей » масла
Ванна для щелочной промывки размером 0,6×1×0,8 м		3,5	2500	» щелочей
Баки для закалки в масле размерами (длина × ширина × высота или диаметр × высота), 0,6×0,8×0,8 0,8×1×0,75 1,5×1×2 1,5×2,5×2 1×3 1,5×6 2×8	Пристроенный бортовой отсос	4 4,5 7,6 10 5,8 6 6,7	2300 3200 8250 28000 5400 14000 25000	Аэрозоли масла
Баки для щелочной промывки, размерами (диаметр × высота), м: 0,7×3,5 1,2×3,5	Бортовой отсос	5,5 4,2	1500 3000	Аэрозоли щелочей
Машина моечная тушечная, Г-1836	Укрытие	0,8	1500	Пары воды
Шкаф для развески цианистых солей	Отсос от шкафа	1		Цианистый водород
Стол для напайки твердых сплавов (установка высокочастотного нагрева — ТВЧ)	Зонт	1	По расчету	Аэрозоли масел и эмульсии, окись углерода
Стенд аммиачных баллонов	Зонты для стендов	Не менее 0,5		Аммиак
Установки гидрополировальные: барабанного типа карусельного типа с вращающимся столом		1	800	
Камера универсальная гидропескоструйная	Укрытие	0,5 1,4	1400 1000	Пыль

Примечания. 1. Конструкции местных отсосов приведены в альбомах серии ОВ-02-148 вып. 1, 3. 2. В скобках указаны скорость и объемы воздуха при удалении газов естественным путем.

Таблица 7.4. Основные выделения в горячих отделениях литейных цехов [44]

Отделения	Выделения		
	Наименование	Измеритель	Количество
Плавильное	Пыль и окись углерода, окислы железа и марганца, при загрузке, плавке и выпуске стали и чугуна	Локализуется местной вытяжной вентиляцией	
	Продукты сгорания при сушке и разогреве ковшей	То же	
	Окись углерода от чугуна и стали при разливке	По табл. 7.5	
	Продукты термического разложения крепителей	По технологическим данным	
	Тепло от вагранок при плавке чугуна и стали	Вт на 1 м ² поверхности вагранки	697 (без охлаждения); 349 (при водяном охлаждении)
	Тепло от копильников	То же, копильника	989
	Тепло от индукционных печей (плавка чугуна и стали) вместимостью, кг:		
	100	Вт на 1 кВт установочной мощности печи	582
	500		519
	2000		440
	Тепло от электродуговых сталеплавильных печей:		
	ДСП-0,5	То же	300
	ДСП-3		261
	ДСП-10		180
	Тепло при выпуске чугуна и стали	По табл. 7.6 для заливочного участка, исходя из времени пребывания металла в плавильном отделении	
Плавильно-заливочное (лите латуни и бронзы)	Тепло при сушке ковшей	Вт на 1 кг у.т.	1630
	Тепло от тигельных газовых печей (завалка и плавка латуни и бронзы) вместимостью 150 кг	Вт на 1 кг у.т.	1630
	Тепло при выпуске металла и шлака	По табл. 7.6 для заливочного участка	
	Аэрозоли окиси свинца и цинка в процессе плавки и заливки для печей типа ДМК при содержании свинца и цинка в расплавленном металле 10—72 кг на одну загрузку	Г на 1 кг свинца или цинка в металле	Окись свинца — 0,275 Окись цинка — 26
	То же, 1,5—10 кг	То же	Окись свинца—0,74 Окись цинка — 26
	То же, до 1,5 кг	»	Окись свинца —1,1 Окись цинка — 26
	То же, для тигельных газовых печей вместимостью 50—60 кг	»	Окись свинца —0,3 Окись цинка — 10,65
	То же, для печей типа АЯКС и ИЛК-1	»	Окись свинца —1,7 Окись цинка — 16

Отделения	Выделения		
	Наименование	Измеритель	Количество
Плавильно-заливочное (литье латуни и бронзы)	Продукты термического разложения крепителей Тепло от электропечей (завалка и плавка латуни и бронзы) и электродуговых печей типа ДМК Тепло от индукционных печей типа АЯКС	По технологическим данным Вт на 1 кВт установочной мощности печи То же	500 151
Помещение колошниковой площадки Заливочное (стали и чугуна)	Окись углерода при ручной завалке вагранок Окись углерода от заливаемого металла	Локализуется местной вытяжной вентиляцией По табл. 7.5: при литье на плацу — по максимальному количеству для каждого веса отливок; при конвейерном литье — за промежуток времени от начала заливки до поступления отливок в охлаждающий кожух По технологическим данным	
Машинного литья латуни и бронзы	Продукты термического разложения крепителей Тепло от заливаемого металла Пыль и окись углерода от заливаемого металла; продукты сгорания и аэрозоли свинца и цинка при подогреве жидкого металла в раздаточных печах Тепло от раздаточных печей при подогреве жидкого металла Тепло при заливке металла в машины центробежного литья Аэрозоли окиси свинца и цинка при заливке и получении отливки на машинах центробежного литья и литья под давлением	По табл. 7.6 и формуле (7.1) Локализуется местной вытяжной вентиляцией Вт на 1 кг у. т. По табл. 7.6 Г на 1 кг свинца или цинка в металле	1628 Окись свинца — 0,6 Окись цинка — 14
Термической обработки литья (отжиг и томление)	Продукты сгорания топлива при загрузке и выгрузке печей Тепло при подаче отливок к печам, отжиге (томлении) и выгрузке из печей: для печей, отапливаемых мазутом, с отводом продуктов сгорания в дымовую трубу и местными отсосами для электрических печей	Локализуется местной вытяжной вентиляцией Вт на 1 кг у. т. Вт на 1 кВт установочной мощности	2850 1000

Отделения	Выделения		
	Наименование	Измеритель	Количество
Стержневое	Пыль при зачистке стержней; аэрозоли краски и пары углеводородов при окраске стержней; газовыделения при сжигании топлива	Локализуется местной вытяжной вентиляцией	
	Продукты термического разложения креплителей	По технологическим данным	
	Тепло от сушил: горизонтальных, отдельно стоящих примыкающих одной продольной стенкой корпуса к смежному сушилу	Вт на 1 кг у. т.	2675
	примыкающих двумя продольными стенками корпуса к смежному сушилу или вертикальных	То же	2270
		»	1455

Примечание. При размещении участка машинного литья латуни и бронзы в одном помещении с плавильно-заливочным отделением валовое количество выделяющихся окислов свинца и цинка следует уменьшать соответственно на 0,15 и 10 г/кг за счет сокращения пути переноса жидкого металла.

Таблица 7.5. Количество окиси углерода, выделяющейся при заливке чугуна в формы [44]

Время пребывания отливок в цехе от начала заливки, мин	Количество окиси углерода, г на 1 т залитого чугуна, при массе отливок, кг									
	до 10	20	30	50	100	200	300	500	1000	2000
1	500	400	350	270	200	140	110	80	60	40
2	700	650	550	420	330	220	170	130	100	70
3	900	800	650	500	400	300	230	160	130	100
5	1100	900	800	650	530	400	300	200	170	140
10	1200	1100	1050	850	700	550	430	310	260	210
15	—	1200	1150	1000	830	670	525	385	330	270
20	—	—	1200	1050	910	750	600	450	380	320
30	—	—	—	—	1000	850	690	530	455	380
40	—	—	—	—	1050	920	760	600	520	435
50	—	—	—	—	—	970	810	650	570	480
60	—	—	—	—	—	1000	860	700	610	520
80	—	—	—	—	—	—	890	740	650	575
100	—	—	—	—	—	—	—	775	700	620
120	—	—	—	—	—	—	—	800	740	650
150	—	—	—	—	—	—	—	—	750	680
180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	700

Примечания. 1. Конечные цифры каждой графы показывают полное количество окиси углерода за весь период остывания отливок. 2. Количество окиси углерода, выделяющейся при заливке стали в формы, следует принимать в размере 50% от количества, приведенного в таблице.

Таблица 7.6. Количество тепла, кДж, выделяющееся на участках литейного цеха на 1 т металла [44]

Время поступления тепла	Способ заливки металла	Участок					
		Заливочный	Охлаждаемый кожух литейного конвейера или участок остывания форм	У выбивной решетки	Охлаждаемый конвейер или участок остывания литья	Транспортная система обрточной смеси или на плацу формовочного отделения	Оборудовое отделение
За час	Заливка на конвейере:						
		125700	251200	188400			
	чугуна	150700	301400	226100	334900		25100
	стали	146500	569400	146508			
		167500	640600	167500	351200		21000
За весь период нахождения отливки на участке (см. примеч. 2)	Заливка на плацу с централизованной выбивкой:					142400	
		669900		138200		217700	
		774600	—	146500	92100		25100
		896000		87900			
		996500	—	100500	129800		21000
	латуни	414500	—	67000		75400	
		468900		75400	67000	125600	
							16700
		439600	—	71200		79500	
	бронзы	502400		79500	71200	125600	
	Заливка и выбивка на плацу:	900200				142400	
		992300	—	—	—	238600	25100
		1113700				142400	
		1226700	—	—	—	217700	21000
	латуни	548500	—	—	—	75400	
		611300				125600	
							16700
		582000	—	—	—	79500	
	бронзы	653100				125600	
	Заливка в кокиль или центробежное литье:						
		1235100	—	—	—	—	21000
		1444400	—	—	—	—	
		736900	—	—	—	—	16700
	бронзы	778700	—	—	—	—	

Примечания. 1. В числителе приведены выделения тепла при заливке в сырые формы, в знаменателе — в сухие. 2. Распределение тепла по часам за весь период нахождения отливки на участке: при массе отливки до 200 кг — за 1-й час 100%; до 500 кг — за 1-й час 87, 2-й — 13%; до 1000 кг — за 1-й час 81, 2-й — 15, 3-й — 4%; до 2000 кг — за 1-й час — 74, 2-й — 18, 3-й — 8%. При массе отливки более 2000 кг время остывания принимается по технологическим данным.

Таблица 7.7. Основные выделения от нагревательных печей, молотов, ковочных машин и нагретых изделий в кузнечно-прессовых цехах [58]

Вид топлива	Наименование	Измеритель	Количество	
			для про- летов с молотам	для про- летов с прессами и ковоч- ными ма- шинами
Газ, мазут	Тепло	% количества тепла, расходуемого на печи	53	45
	Оксид углерода	Г на 1 кг у. т.	7	3
	Сернистый газ	То же	5,2	2,2
Электроэнергия	Тепло	Вт на 1 кВт устано- вочной мощности пе- чей	616	616

Примечания. 1. Количество выделений приведено для мазута с содержанием серы не более 0,5%, а для газа — с содержанием сероводорода не более 2 г на 100 м³. 2. Количество выделений от печей, снабженных местными отсосами, следует принимать по теплу на 10% и по газам — на 50% меньше указанных в таблице.

отопление, осуществляемое в рабочее время за счет перегрева приточного воздуха или с использованием воздушно-отопительных агрегатов, в нерабочее время — дежурное с применением рециркуляции приточной системы или воздушно-отопительных агрегатов.

В летний период принимают общеобменную механическую или естественную вытяжную вентиляцию, естественный приток наружного воздуха с подачей его непосредственно в рабочую зону, общеобменную механическую приточную вентиляцию на участках, где нельзя осуществить естественную приточную вентиляцию.

На рабочих местах, подверженных тепловому облучению, предусматривают воздушное душирование. В закрытые кабины операторов, обслуживающих оборудование цехов и помещений с тепло- и газовыделениями, подают обработанный наружный воздух.

Литейные цехи. Наибольшее количество вредных веществ выделяется при плавке стали, заливке металла в формы, выбивке форм, а также в процессе приготовления формовочных материалов и возврата горелой земли. Для удаления газов от электродуговых печей рекомендуется способ газоотсоса через свод печи с разрывом струи [65].

Запорожским филиалом Гипрогазоочистки разработано полное укрытие сталеплавильных печей (рис. 7.1), в котором производят загрузку, плавку и слив металла, обеспечивая удаление выделяющихся газов, снижение шума и возможность производства ремонтных работ, а также исключая неблагоприятное влияние отсоса на ведение процесса плавки. Ориентировочные расходы газов, тыс. м³/ч, отсасываемых от укрытий дуговых сталеплавильных печей типа ДСП, следующие: ДСП-1,5—20, ДСП-3—30, ДСП-6—60, ДСП-12—110, ДСП-25—150, ДСП-50—200. При продувке ванны кислородом расходы увеличиваются на 40—50 %. Эти расходы уточняются непосредственно при проектировании укрытий. Газы очищают в рукавных фильтрах.

Теплопоступления в помещение от укрытий охладительных конвейеров и транспортеров оборотной земли, Вт, определяют по формуле

$$Q = FkQ_1m / cG, \quad (7.1)$$

где F — площадь поверхности укрытия, м²; k — коэффициент теплопередачи укрытия, Вт/(м²·°C); Q_1 — количество тепла от металла или оборотной земли, кДж/т (см. табл. 7.6); m — масса охлаждаемого металла, т/ч; c — теплоемкость удаляемого воздуха, кДж/(кг·°C); G — масса воздуха, удаляемого от укрытия, кг/ч.

Из рабочей зоны воздух удаляют системами местных отсосов, а из верхней зоны — через фонари. Над зонами заливки на плацу и конвейеров заливки и охлаждения предусматривают механическую вытяжку.

Локализация вредных выделений при заливке металла на конвейере достигается при устройстве компенсационного воздушно-струйного укрытия (рис. 7.2) [9]. При

Таблица 7.8. Основные выделения в термических цехах [60]

Помещения	Источники выделений	Выделения		
		Наименование	Измеритель	Количество
Печные залы для обработки заготовок после обдирки и прессовых поковок (заводы тяжелого машиностроения)	Поверхности нагревательных печей, ванн и т. п., а также нагретые изделия; топливо — газ или мазут	Тепло	% количества тепла, расходуемого в печи	55
		Окись углерода	Г на 1 м ³ газа	3,8
			Г на 1 м ³ мазута	4,8
		Сернистый ангидрид	Г на 1 м ³ мазута	3,1
	То же, электроэнергия	Тепло	Вт на 1 кВт установочной мощности печей	372
Печные залы для обработки деталей в чистом виде (автотранспортные и станкоинструментальные заводы)	Поверхности нагревательных печей, ванн и т. п., а также нагретые изделия; топливо — газ	Тепло	% количества тепла, расходуемого в печи	41
		Окись углерода	Г на 1 м ³ газа	24
	То же, электроэнергия	Тепло	Вт на 1 кВт установочной мощности печей	576
Отделение цианирования	Поверхности ванн и нагретые изделия	Тепло	% количества тепла, расходуемого на ванны	15
		Цианистый водород	Г/ч на один агрегат цианирования	6
Помещения установок ТВЧ	Поверхности установок и нагревательные изделия	Тепло	Вт на 1 кВт мощности агрегатов ТВЧ	81
Помещения хранения баллонов для азотирования	Неплотности арматуры баллонов	Аммиак	Г/ч на один баллон	0,015
Испарительная азотирования	Неплотности испарителей	»	Г/ч на один испаритель	27

Примечания. 1. Количество выделений приведено для мазута с содержанием серы не более 0,5% и для газа с содержанием сероводорода не более 2 г на 100 м³. 2. Количество выделений приведено без учета удаленных местными отсосами. При устройстве у загрузочных отверстий нагревательных печей зонтов-козырьков количество выделений следует принимать по теплу на 10% и по газам на 50% меньше указанных в таблице.

необходимости укрытие можно разделить на отдельные секции по длине заливочного участка и обслуживать самостоятельными вентиляционными системами.

Укрытие рассчитывают в следующем порядке. Назначают ширину вытяжного канала b_v , м, в зависимости от ширины опоки B , м:

$$b_v = (0,7 \div 0,9) B. \quad (7.2)$$

Используя табл. 7.9 и данные о производительности литейного конвейера G , т/ч, определяют расход удаляемого воздуха, м³/ч:

$$L_v = L_y G. \quad (7.3)$$

Вычисляют среднюю скорость воздуха в свободном сечении укрытия, м/с:

$$v_y = L_v / 3600 l \sqrt{H^2 + s^2}, \quad (7.4)$$

где l — длина заливочного участка, м; H — расстояние между уровнем верха опоки и нижним уровнем приточного канала, м; s — расстояние между плоскостями фасадов опоки и укрытия, м (см. рис. 7.2).

Если скорость окажется менее 0,8 м/с, принимают $v_y = 0,8$ м/с и пересчитывают значение L_v .

Находят ширину приточного канала, м:

$$b_{\text{п}} = (0,25 \div 0,35) B. \quad (7.5)$$

Рассчитывают вспомогательный размер, м:

$$x = (B - b_{\text{п}}) / 2. \quad (7.6)$$

Используя размер x , по табл. 7.10 находят максимально допустимое соотношение расходов приточного и удаляемого воздуха $k = L_{\text{п}} / L_{\text{в}}$ в зависимости от расположения укрытия относительно опоки.

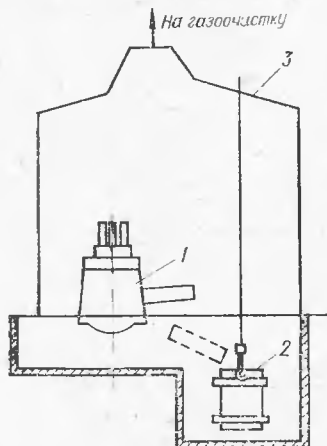


Рис. 7.1. Схема полного укрытия сталеплавильной печи:

1 — электропечь; 2 — ковш; 3 — укрытие.

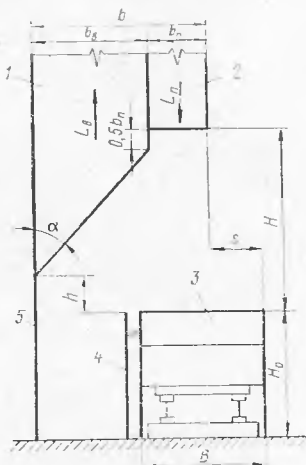


Рис. 7.2. Схема компенсационного укрытия заливочного участка литейного конвейера:

1 — вытяжной канал с наклонной всасывающей панелью; 2 — приточный канал с воздуховыпускным отверстием; 3 — опоки; 4 — металлический экран; 5 — металлическая зашивка.

Таблица 7.9. Расход удаляемого воздуха $L_{\text{у}}$ на 1 т заливаемого чугуна [9]

Вес отливки, кг	$L_{\text{у}}$, тыс. м ³ /т	Вес отливки, кг	$L_{\text{у}}$, тыс. м ³ /т	Вес отливки, кг	$L_{\text{у}}$, тыс. м ³ /т
10	15	50	13	200	11
20	14	100	12	>200	10

Вычисляют расход приточного компенсационного воздуха, м³/ч:

$$L_{\text{п}} = k L_{\text{в}}. \quad (7.7)$$

Рассчитывают скорость воздуха, м/с, в поперечном сечении приточного канала:

$$v_{\text{п}} = L_{\text{п}} / 3600 b_{\text{п}} l. \quad (7.8)$$

Если скорость окажется более 3,5 м/с, рассчитывают ширину приточного канала $b_{\text{п}}$ при этой скорости.

Общая ширина укрытия, м,

$$b = b_{\text{п}} + b_{\text{в}}.$$

Задаются углом наклона всасывающей панели $\alpha = 45^\circ$ и находят расстояние между уровнем верха опоки и низа всасывающей панели, м:

$$h = H - 0,3 b_{\text{п}} - b_{\text{в}} / \lg \alpha. \quad (7.9)$$

Таблица 7.10. Значения k в зависимости от s

Расположение укрытия относительно опок	k
$s=0$	0,8
$0 < s \leq x$	0,5
$s > x$	0,4

Примечание. При использовании наружного воздуха для местностей с $t_n < -30^\circ\text{C}$ следует принимать $k=0,3$.

Таблица 7.11. Укрупненные показатели расхода воздуха на приточную вентиляцию (без учета аэрации) [16]

Вид литья	Расход воздуха, тыс. м ³ , на 1 т литья		
	мелкого (до 100 кг)	среднего (100—1000 кг)	крупного (свыше 1000 кг)
Чугунное	300	260	230
Стальное	330	300	280

Примечание. При плавке чугуна в электродуговых печах расходы воздуха принимают как для стального литья.

Если величина h окажется меньше 0,15 м, увеличивают угол наклона панели до 60° .

Приточный воздух в плавильных и заливочных отделениях (табл. 7.11) подается в рабочую зону горизонтальными, наклонными или вертикальными струями с использованием душирующих патрубков или воздухораспределителей типа НРВ, установленных на высоте 4 м от пола, либо воздухораспределителей типа ВДУМ, расположенных на высоте до 6 м. В заливочное отделение рекомендуется подавать 75—80 % приточного воздуха, а в смежное формовочное — 20—25 %.

У литейного конвейера предусматривают подачу приточного воздуха в зону дыхания рабочих по всему фронту заливки металла через воздухораспределители равномерной раздачи воздуха.

Решения по устройству вентиляции в помещениях приготовления формовочных материалов и смесей принимают как для производств, связанных с переработкой и транспортированием сыпучих материалов.

Кузнечно-прессовые и термические цехи. Воздухообмены в печных залах термических цехов, в пролетах с прессами и ковочными машинами, а также в молотовых пролетах кузнечно-прессовых цехов определяют, исходя из условия ассимиляции теплоизбытков. Для холодного периода года воздухообмен проверяют на разбавление окиси углерода и сернистого ангидрида до ПДК. Количество вредных выделений для расчета воздухообмена принимают по табл. 7.7 с учетом работы местных отсосов (см. табл. 7.2).

Если в термических цехах печи установлены в одном помещении, а металл остывает в другом, то тепловыделения от печей следует принимать в размере 25 % тепла от расходуемого топлива.

При естественной вытяжке от нагревательных печей предусматривают для каждой печи отдельную вытяжную шахту.

Рекомендации по устройству вентиляции во вспомогательных помещениях термических цехов приведены в табл. 7.12.

Помещения цианирования и хранения цианистых солей должны быть оборудованы самостоятельными вытяжными системами с пусковыми устройствами, расположенными снаружи помещения. От баков для заковки изделий в масле и от ванн с керосином предусматривают отдельные вытяжные системы с вентиляторами искрозащитного исполнения.

Выброс воздуха системами местной вытяжной вентиляции следует принимать факельным (без зонтов).

Воздух, удаляемый системами вытяжной вентиляции от дробеструйных и дробеметных камер, подлежит очистке в рукавных фильтрах или мокрых пылеуловителях при наличии на предприятии шламового хозяйства.

Раздача приточного воздуха в помещениях с теплоизбытками осуществляется в рабочую зону на уровне не более 4 м от пола горизонтальными струями, на уровне до 6 м — вертикальными струями в сочетании с системами воздушного душирования.

Для помещений, где технологические процессы связаны с выделением пыли, раздача воздуха осуществляется через воздухоприточные решетки в воздуховодах, расположенных в верхней зоне или через воздухораспределители плафонного типа. В рабочую зону раздача приточного воздуха осуществляется воздухораспределителями типов ВЭП, ВЭПш, ВПП или НРВ.

Таблица 7.12. Рекомендации по устройству вентиляции во вспомогательных помещениях термических цехов [60]

Помещения	Вентиляция		
	вытяжная		приточная
	местная	общеобменная	
Отделение цианирования	Механическая от агрегатов цианирования	Механическая из верхней зоны. Воздухообмен из расчета ассимиляции тепла и растворения выделений до ПДК	Механическая: в рабочую зону — 85 %, в смежные помещения — 15 % вытяжки
Кладовая цианистых солей	Механическая от шкафа для развески	Механическая из нижней зоны в пятикратном объеме помещения	То же
Отделение очистки и гидрополировки	Аспирация от дробетных и гидрополировальных камер	Не требуется	Механическая расcеянная: в верхнюю зону — 85 %, в смежные помещения — 15 % вытяжки
Помещение установок ТВЧ	Механическая от закалочных станков и агрегатов ТВЧ	Механическая или естественная из верхней зоны из расчета ассимиляции теплоступлений	Механическая в рабочую зону
Помещение хранения баллонов для азотирования	Зонт над стендами аммиачных баллонов	Механическая из верхней зоны. Воздухообмен из условия растворения аммиака до ПДК	Механическая: в рабочую зону — 80 %, в смежные помещения — 20 % вытяжки
Испарительная азотирования	Не требуется	То же	То же
Отделение приготовления твердых карбуризаторов	Местные отсосы от мельниц, бункеров, транспортеров и др.	Не требуется	Механическая в верхнюю зону
Отделение установок для приготовления контролируемых атмосфер	Местные отсосы от генераторов для приготовления контролируемой газовой среды и от стендов для аммиачных баллонов	Механическая из верхней зоны в трехкратном объеме помещения	То же

7.2. ЦЕХИ С ИЗБЫТКАМИ ВЛАГИ

Цехи с выделением влаги условно делят на теплые влажные с тепловлажностным отношением $e \geq 475$ кДж/кг и холодные влажные с $e < 475$ кДж/кг. К теплым влажным относят помещения пропарочных камер цехов производства железобетонных изделий, красильные и шлихтовальные цехи предприятий текстильной промышленности, гальванические и другие цехи, к холодным влажным — отдельные цехи предприятий мясо-молочной и кожевенной промышленности, некоторые помещения обогажительных фабрик горнорудной промышленности.

Для борьбы с влагой, выделяющейся от оборудования, применяют местные отсосы. Наиболее эффективны укрытия всех типов. Применяют также вытяжные шкафы, бортовые отсосы и ширмы, отделяющие участок с оборудованием. В случае примене-

ния кожуха расход воздуха на 1 кг влаги составляет 15—20 кг. При применении бортовых отсосов, когда температура в ванне выше 70°С, расход воздуха на 1 кг влаги — 50—70 кг, при использовании ширм — 40—50 кг. При температуре испарения 70—100°С рекомендуется применять завесы или зонты. Расход воздуха при этом — 40—50 кг на 1 кг испаряющейся влаги.

Рекомендуемая скорость воздуха в рабочем проеме и неплотностях, м/с: для кожухов и витринных укрытий — 0,15—0,35, для зонтов — 0,2—0,25, для ширм — 0,1—0,25, для завес — 0,1—0,2.

Общеобменную вентиляцию рассчитывают на ассимиляцию тепла и влаги. При этом рекомендуется считать, что в рабочую зону помещения прорывается влага в количестве, %: при устройстве местных отсосов в виде укрытий, кожухов и бортовых отсосов — 15—20, при устройстве ширм — 20, зонтов — 30—35, завес — 20—30.

В холодных влажных цехах, где тепловой баланс в зимний период отрицательный, приточно-вытяжную общеобменную вентиляцию предусматривают механической, рассчитанной на ассимиляцию влаги. В этих цехах возникает опасность туманообразования за счет выделения водяного пара с поверхности зеркала ванны при температуре в них более 60°С. Туман может образоваться при недостатке тепла в нижней зоне помещения вблизи ворот, окон или других проемов. Недостаточная вентиляция нижней зоны также приводит к образованию густого тумана.

При борьбе с влагой и туманообразованием общеобменная вентиляция решается путем организации воздухообмена снизу вверх. Часть приточного воздуха рекомендуется подавать на высоте 4—5 м от пола с перегревом до температуры 35—40°С при высоте помещения до 6 м. При большей высоте температура воздуха может быть 50—70°С. Вместо подачи в верхнюю зону перегретого приточного воздуха возможно применение воздушно-отопительных агрегатов. В помещениях высотой до 4,5 м для ликвидации тумана нагревательные приборы рекомендуется устанавливать в верхней зоне.

Возможность конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций здания должна быть учтена при расчете сопротивления паропрооницанию (СНиП II-3-79).

Применение естественного притока или проветривания в зимний период недопустимо.

Влажные теплые цехи в зимний период характеризуются положительным тепловым балансом. Туманообразование возможно лишь в зонах цехов, где отсутствуют тепловыделения. Вентиляцию таких зон решают путем прогрева верхней зоны приточным воздухом с температурой 35—70°С. Кроме систем местной вытяжной вентиляции, проектируют общеобменную вентиляцию. Воздухообмен рассчитывают для переходного и летнего периодов. При значительных выделениях тепла и влаги расчетный воздухообмен проверяют и для зимнего периода.

Механическую приточную вентиляцию проектируют из расчета полной компенсации объемов воздуха, удаляемого местными отсосами и общеобменной вытяжной вентиляцией.

В холодных влажных цехах с рассредоточенными низкотемпературными (до 40°С) источниками влаговыведений приточный воздух подают в верхнюю зону рассредоточенными струями с помощью воздухораспределителей типа ВГК.

В теплых и холодных влажных цехах с рассредоточенным выделением влаги от высокотемпературных (свыше 40°С) источников, предусматривают подачу приточного воздуха в рабочую зону эжекционными панельными воздухораспределителями типов ВЭП, ВЭПш, ВПП. В летний период используют аэрацию. Вытяжку воздуха общеобменной вентиляции во все периоды года предусматривают естественной.

7.3. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ И ТРАВИЛЬНЫЕ ЦЕХИ

Современные гальванические цехи оборудуют механизированными автооператорными линиями с ваннами, оснащенными местными отсосами [14, 49]. В технических характеристиках линий указывается количество воздуха, подлежащего удалению от ванны. Отдельные технологические операции нанесения гальванопокровов производят в нормализованных ваннах со встроенными бортовыми отсосами (см. гл. 5).

Ванны, баки и другие емкости для приготовления электролитов оснащают укрытиями с постоянно закрытыми во время работы крышками. Количество отсасываемого воздуха от укрытий определяют из расчета обеспечения скорости всасывания в неплотностях 0,7 м/с при холодных и 1 м/с — при нагретых растворах.

При объединении местных отсосов в общую вентиляционную систему учитывают периодичность работы отдельных ванн, возможную агрессивность соединений и необходимость очистки выбрасываемого загрязненного воздуха. Отсосы от оборудования травильных цехов объединяют в отдельную систему. Все ванны горячей промывки и ванны холодной промывки после травления в азотной кислоте снабжают местными отсосами.

В отдельные системы выделяют группы местных отсосов от ванн обезжиривания деталей органическими растворителями, ванн с цианистыми растворами и с процессами хромирования и никелирования. Местные отсосы остальных технологических процессов допускается объединять в общую вентиляционную систему, учитывая указания п. 4.30 СНиП II-33-75. Во всех случаях решения об объединении принимают совместно с технологами.

Процессы нанесения покрытий в цианистых растворах, а также обработка в растворах азотной и соляной кислот сопровождаются выделениями вредных веществ 2-го класса опасности. Поэтому в системах местных отсосов предусматривают установку резервных вентиляторов с автоматическим включением их при остановке основных.

Вентиляторы систем местных отсосов выполняют в антикоррозионном исполнении. В нижней части кожуха предусматривают трубы для отвода конденсата. Рекомендуется применять радиальные пластмассовые вентиляторы и вентиляторы из титановых сплавов. Возможно также использование вентиляторов из углеродистой стали с антикоррозионным покрытием кожуха и рабочего колеса. Применение вентиляторов из нержавеющей стали должно быть технически обосновано.

Чтобы снизить интенсивность выделения паров, рекомендуется для ванн хромирования применять поверхностно-активные вещества с концентрацией хрома 2 г/л и вещества «Прогресс» — 10 мг/л. Применение ПАВ полностью исключает необходимость очистки вентиляционных выбросов при электролитическом хромировании. Кроме того, для снижения интенсивности вредных веществ предлагается покрывать зеркало ванн пластмассовыми шариками.

Необходимость очистки вентиляционных выбросов возникает при процессах хромирования, травления и нанесения покрытий в цианистых растворах. Для очистки воздуха от вредных веществ, выделяющихся в виде аэрозолей, институт «Проектпром-вентиляция» рекомендует применять разработанные им кассетные фильтры с фильтрующим элементом из полимерных материалов и пенный газопылеочиститель ППП-И. В качестве кассетных следует применять фильтры, встроенные в бортовой отсос. Воздух, удаляемый от ванн хромирования, рекомендуется очищать в волокнистых фильтрах ФВГ-Т (см. гл. 11). В пенных фильтрах ППП-И очищают выбросы от цианистых соединений и травильных растворов.

Для изготовления воздуховодов и местных отсосов вытяжных вентиляционных систем применяют антикоррозионные материалы (винипласт, титановые сплавы и др.) и покрытия. Кроме того, воздуховоды местных отсосов сооружают в виде подземных каналов, материал для которых выбирают с учетом агрессивности вредных веществ, содержащихся в перемещаемом воздухе.

В случае размещения цехов на верхних этажах вытяжные воздуховоды прокладывают под потолком нижерасположенного этажа.

Горизонтальные участки магистральных вытяжных воздуховодов и каналов прокладывают с уклоном 0,005—0,01 в сторону движения воздуха. В нижней части участков предусматривают сборник с устройством для спуска конденсата в специальную сеть канализации. Для возможности осмотра и очистки в подземных каналах предусматривают люки, а в воздуховодах — съемные участки.

Приточная и вытяжная вентиляции во всех основных отделениях гальванических и травильных цехов должна быть механической. Рециркуляция воздуха не допускается.

Воздухообмен рассчитывают с учетом влаговыделений и теплоизбытков. Если воздухообмен принимают по местным отсосам и его кратность составляет более 5 ч^{-1} , удаление воздуха из верхней зоны помещения не требуется. При меньшей кратности дополнительно предусматривают вытяжку из расчета 1 ч^{-1} .

Общеобменная вытяжная вентиляция должна быть механической из верхней зоны.

В нерабочее время обеспечивают вентиляцию из расчета ассимиляции влагонизбытков рабочей части приточных установок на наружном воздухе. Воздух при этом удаляется системами местных отсосов от ванн, содержащих цианистые растворы, фтористоводородную кислоту и ее соли, соляную или азотную кислоту.

При смежном расположении гальванических и травильных отделений с другими помещениями приточный воздух подают в количестве 95 % расчетного воздухообмена.

Приточный воздух следует подавать с малыми скоростями по схеме «сверху вниз» в проходы между ваннами. Скорость движения его в рабочей зоне не должна превышать 0,3 м/с. Для выпуска воздуха можно принять эжекционные воздухораспределители типа ВЭПш. Сосредоточенный выпуск воздуха допустим при условии применения полностью закрытого технологического оборудования и высоте подачи воздуха более 6 м. При этом в рабочей зоне должна быть обеспечена нормируемая скорость движения воздуха.

В отделениях приготовления растворов, с учетом количества воздуха, удаляемого местными отсосами, должен быть обеспечен не менее чем трехкратный воздухообмен.

В складе хранения и развески цианистых солей предусматривают местную вытяжную механическую вентиляцию от шкафов со скоростью всасывания в открытом проеме не менее 1 м/с и общеобменную из нижней зоны помещения из расчета обеспечения кратности 3 ч⁻¹. Подача воздуха предусматривается в верхнюю зону от отдельной приточной установки.

В машинном отделении общеобменную вентиляцию обеспечивают механическим притоком воздуха в холодный и естественным в теплый период года. Вытяжка — естественная или механическая. Допускается рециркуляция воздуха.

7.4. ОКРАСОЧНЫЕ ЦЕХИ

Принципиальные решения вентиляции окрасочных цехов зависят от технологических способов окраски, применяемых лакокрасочных материалов и объемно-планировочных решений [38, 64, 45].

При окраске мелких изделий применяют вытяжные шкафы, скорость в проемах которых рекомендуется принимать по табл. 7.13.

Таблица 7.13. Расчетная скорость всасывания воздуха в проемах окрасочных камер с боковым отсосом [38]

Метод нанесения покрытия	Лакокрасочный материал	Расчетная скорость, м/с
Пневматическое распыление	Содержащий диизоцианаты, эпоксидные, полиуретановые и акриловые соединения	1,7
	Содержащий свинцовые соединения или ароматические углеводороды	1,3
Безвоздушное распыление	Не содержащий ароматических углеводородов и свинцовых соединений	1
	Содержащий свинцовые соединения или ароматические углеводороды	0,7
Электроручное распыление	Не содержащий ароматических углеводородов и свинцовых соединений	4,6
	Любой	0,4—0,5
Кистью, окуном	Содержащий ароматические углеводороды	1
	Не содержащий ароматических углеводородов	0,5

При окраске крупногабаритных изделий применяют камеры с нижним отсосом и верхней подачей приточного воздуха (рис. 7.3), что способствует максимальной локализации вредных выделений в помещении. Если невозможно использовать камеру, изделия высотой до 2 м окрашивают на установках бескамерной окраски с вытяжкой через напольные решетки по всей площади (рис. 7.4). Изделия размещают в центре решетки, но не ближе 300 мм от ее края.

Производственным объединением «Укрстальконструкция» разработано устройство для бескамерной окраски (рис. 7.5), применение которого дает экономии краски и снижение расхода отсасываемого воздуха до 34 тыс. м³/ч.

Окрашку в электростатическом поле осуществляют в специальных камерах, в открытых проемах которых поддерживается скорость воздуха 0,4—0,5 м/с, при условии обеспечения взрывобезопасной концентрации паров растворителя в камере.

Окрашку окунанием и струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителей производят также в специальных камерах.

Способ окраски и оборудование, в том числе и камеры, выбирают технологи. В технических данных указывается количество удаляемого воздуха, которое учитывается при составлении воздушного баланса помещения.

Общеобменную вентиляцию рассчитывают из условий разбавления паров растворителей, не уловленных местными отсосами, до ПДК (табл. 7.14). Интенсивность испарения летучих веществ принимают по технологическим данным или на основе расчетов (см. гл. 1).

Окрасочные цехи оборудуют механической приточно-вытяжной вентиляцией. В дополнение к местной вытяжной вентиляции при кратности воздухообмена в помещении до 5 ч^{-1} предусматривают удаление воздуха из верхней зоны (непосредственно из-под кровли), преимущественно над сушильными камерами или другим нагретым оборудованием, в объеме однократного воздухообмена в час. При высоте помещений более 6 м количество удаляемого из верхней зоны воздуха определяют из расчета $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола помещения.

Вытяжные системы общеобменной вентиляции должны обеспечивать удаление $2/3$ количества воздуха, рассчитанного на ассимиляцию паров растворителей, включая количество воздуха, поступающего в системы местных отсосов, на уровне 2 м от пола и $1/3$ количества воздуха из верхней зоны (выше 2 м от пола).

Производительность приточных систем рекомендуется предусматривать на 5% меньше производительности систем вытяжной вентиляции. Для полностью изолированных окрасочных цехов и отделений разрежение не предусматривается.

При окраске кистью на непостоянных рабочих местах допускается устройство только общеобменной механической вентиляции с вытяжкой воздуха из нижней зоны на высоте 0,5—0,7 м от пола.

Помещения краскозаготовительных отделений и лабораторий необходимо оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей разбавление выделяющихся вредных веществ. Кратность воздухообмена должна быть не менее 10 ч^{-1} .

Раздачу приточного воздуха следует предусматривать в зависимости от способа окраски. Для бескамерной окраски рекомендуется вертикальная подача воздуха сверху вниз. При этом преимущественный объем воздуха должен быть выдан над плоскостью решетки. Подача может осуществляться воздушораспределителями: эжекционными потолочными типа ВЭПв, двухструйными универсальными типа ВДУМ, шестидиффузорными двухструйными типа ВДШ. При окраске в камерах допускается сосредоточенная подача воздуха в помещение. Для раздачи его могут быть приняты воздушораспределители типа ВГК.

Аварийная вентиляция окрасочных цехов и участков не предусматривается.

Помещения для окраски относятся к категории взрывопожароопасных (А или Б) или пожароопасных (В), поэтому в системах вентиляции предусматривают соответствующие мероприятия.

Рециркуляция воздуха не допускается. При устройстве в помещениях окрасочных цехов (отделений) в наружных ограждениях воздушных завес, работающих только во время открывания ворот, допускается забирать воздух из верхней зоны.

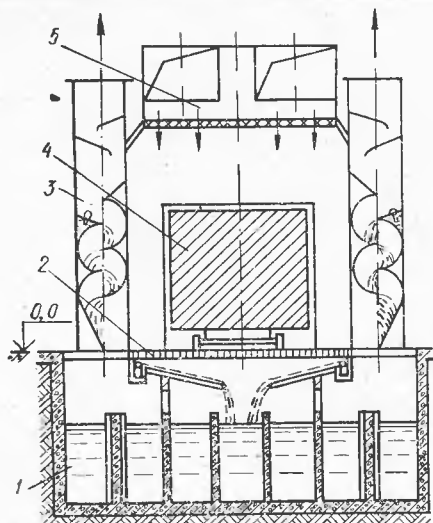


Рис. 7.3. Камера для окраски распылением с нижним отсосом и верхней подачей приточного воздуха:

- 1 — отстойная ванна; 2 — вытяжная решетка;
- 3 — гидрофильтр; 4 — окрашиваемое изделие;
- 5 — приточный короб.

Технологическое оборудование и помещения окрасочных цехов, отделений или участков согласно Правилам устройства электроустановок относятся к классу взрывоопасной зоны В-1а. Окрасочные камеры для нанесения лакокрасочных материалов в электрическом поле высокого напряжения (до 140 кВ при силе тока до 5 мА), участки окраски ручными электрораспылителями (напряжение — до 100 кВ, ток короткого замыкания — до 1 мА) и сушильные камеры для покрытий на органических растворителях относятся к классу взрывоопасной зоны В-1б. Если окрасочно-сушильное оборудование расположено в общем потоке производства, взрывоопасная зона указанных классов распространяется на объем помещения в радиусе 5 м от проемов камер или от края решеток по горизонтали и от окрашиваемого изделия по вертикали (при бескамерной окраске). При этом оборудование должно иметь собственную систему вытяжной вентиляции, а площадь, занимаемая окрасочным оборудованием, не превышать 200 м² или 10% площади основного помещения.

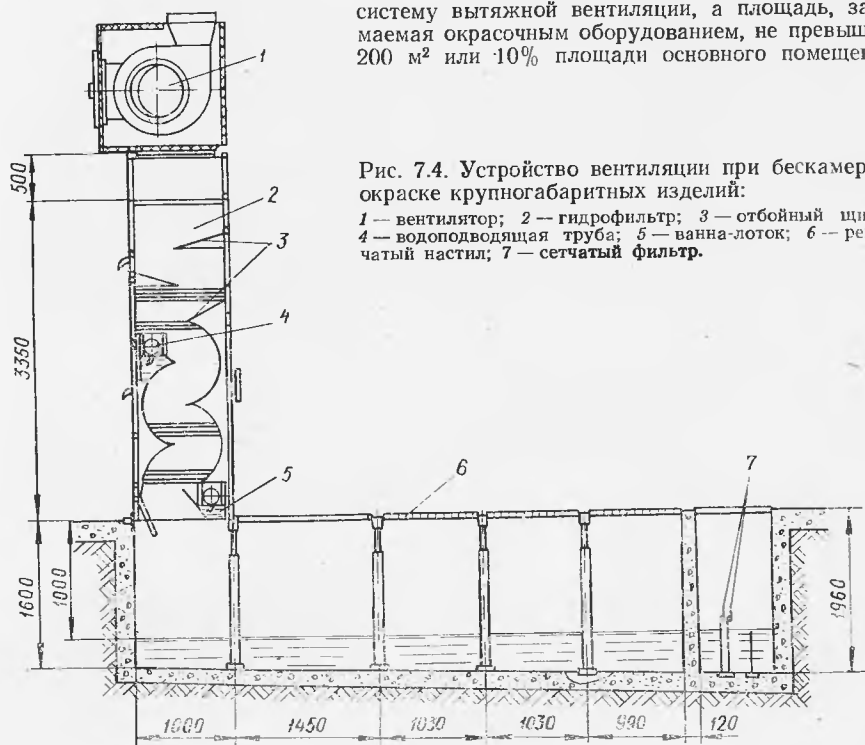


Рис. 7.4. Устройство вентиляции при бескамерной окраске крупногабаритных изделий:

1 — вентилятор; 2 — гидрофильтр; 3 — отбойный щиток; 4 — водоподводящая труба; 5 — ванна-лоток; 6 — решетчатый настил; 7 — сетчатый фильтр.

Помещение за пределами взрывоопасной зоны считают невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

Вентиляторы вытяжных систем от окрасочных участков, окрасочного и сушильного оборудования, в том числе установленные в зонах В-1а и В-1б, во всех случаях предусматривают с повышенной защитой от искрообразования.

При компоновке и размещении вентиляционных установок следует учитывать требования, изложенные в § 8.4.

При осуществлении вытяжной вентиляции одной постоянно действующей местной или общеобменной установкой предусматривают резервный вентиляторный агрегат, автоматически включающийся при остановке рабочего агрегата.

Вентиляционные системы окрасочных отделений и участков, а также краскозаготовительных отделений с кладовыми лакокрасочных материалов нельзя объединять между собой и с вентиляционными системами других производств. Местные отсосы воздуха от окрасочных камер, ванн окунания и другого окрасочного оборудования объединять между собой общей вытяжной системой не разрешается. Системы местных отсосов и системы общеобменной вытяжной вентиляции проектируют отдельными.

Не допускается устройство подпольных приточных и вытяжных вентиляционных каналов, за исключением каналов для камер с нижним отсосом и установок бескамерной окраски на решетках в полу. При необходимости устройства в помещении приемков глубиной более 0,5 м в них подают приточный воздух. Для приемков, требующих регулярного обслуживания, предусматривают вытяжную вентиляцию.

Вентиляционное оборудование, воздуховоды и трубопроводы, предназначенные для помещений окрасочных цехов и отделений с производствами категорий А и Б, а также системы местных отсосов для удаления взрывоопасных веществ надежно заземляются.

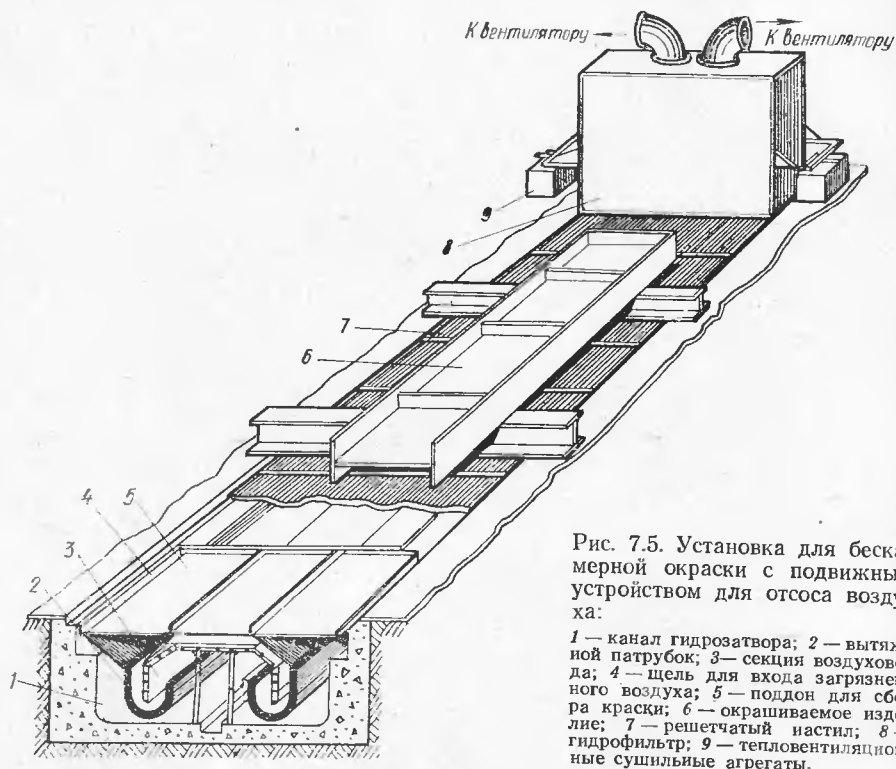


Рис. 7.5. Установка для бескамерной окраски с подвижным устройством для отсоса воздуха:

1 — канал гидрозатвора; 2 — вытяжной патрубок; 3 — секция воздуховода; 4 — щель для входа загрязненного воздуха; 5 — поддон для сбора краски; 6 — окрашиваемое изделие; 7 — решетчатый настил; 8 — гидрофильтр; 9 — тепловентиляционные сушильные агрегаты.

При возникновении пожара в помещении системы вентиляции с механическим побуждением должны отключаться централизованно, за исключением не отключаемых во время пожара систем подачи воздуха в тамбуры-шлюзы. Если помещения оборудованы автоматическими системами извещения о возникновении пожара или системами тушения, предусматривают блокировку с ними систем вентиляции. Вытяжные установки должны иметь звуковую или световую сигнализацию, оповещающую о прекращении работы.

В тамбуры-шлюзы объемом до 100 м^3 подается не менее пяти объемов воздуха в час, но не менее $250 \text{ м}^3/\text{ч}$, а в тамбуры-шлюзы объемом более 100 м^3 — $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. Воздух подают над дверью помещения со взрывоопасным производством с направлением потока вниз. В тамбуры-шлюзы, имеющие более двух дверей, на каждую дополнительную дверь увеличивают подачу приточного воздуха на $250 \text{ м}^3/\text{ч}$. Наружный воздух в тамбуры-шлюзы подается отдельной системой, имеющей резервный вентилятор, автоматически включающийся при остановке основного. При площади помещения до 50 м^2 допускается предусматривать подачу воздуха в тамбуры-шлюз от системы только этого помещения при условии, что система имеет резервный вентилятор, автоматически включающийся при остановке основного, а воздуховод в помещении автоматически отключается при возникновении пожара.

Таблица 7.14. Удельные воздухообмены при окрасочных работах [5]

Лакокрасочные материалы	Удельный воздухообмен, м³/кг, для обеспечения			k _{зо} , мин ⁻¹ (см. гл. 1)	Продолжи- тельность начального периода, мин (см. гл. 1)
	предельно- допустимой концентрации	возможности работы в рес- пираторе не менее 6 ч	взрывобезо- пасной кон- центрации		
Грунтовки					
Глифталевые:					
ГФ-020	1300	200	100	0,1	45
138	2500	300	100	0,05	90
Масляные (81 и 83)	300	200	100	—	—
Поливинилацетатные:					
ВЛ-02	19200	2000	400	0,15	30
ВЛ-023	15550	1600	400	0,15	30
ВЛ-08	30000	3000	500	0,1	45
Сополимерополивинил- хлоридные:					
ХС-04	7200	750	400	0,05	90
ХС-010	9500	1000	400	0,25	18
ХС-041	4000	400	150	0,15	30
Фенольные:					
ФЛ-03к	3300	300	200	0,04	112
ФЛ-03ж	4200	400	250		
Лаки					
Битумные (БТ-783)	3000	400	350	0,1	45
Глифталевые (4с)	7000	700	300	0,05	90
Пентафталевые (ПФ-170)	4500	450	250	—	—
Сополимерополивинил- хлоридные (ХС-76)	11200	1100	400	0,1	45
Эмали					
Глифталевые (С-3)	700	200	100	0,07	64
Масляные (охра)	400	—	100	—	
Необрастающие:					
Кр-24	5100	500	250	—	
Кр-29	2500	800	300	0,04	112
Кч-528	1500	450	300	—	
Кч-529	7800	800	400	—	
Пентафталевые:					
Пф-115	5000	500	300	0,01	450
Пф-218	1200	350	200	0,04	112
Пф-223	750	250	200	0,04	112
Пф-837	8400	900	250	0,05	90
Перхлорвиниловые:					
ХВ-16	10000	1000	400	0,1	45
ХВ-53	6600	1500	300	0,07	64
ХВ-125	9000	900	300	0,16	28
ХВ-142	14000	1400	200	0,2	23
ХВ-750к	8300	800	250	0,12	37
Сополимерополивинил- хлоридные:					
ХС-52	9500	1000	300	0,2	23
ХС-54	10600	1000	400	0,1	45
ХС-78	14000	1400	400	0,19	24
ХС-79	7500	1000	250	0,19	24
ХС-510ш	18500	1900	450	0,12	37

Лакокрасочные материалы	Удельный воздухообмен, м³/кг, для обеспечения			k_{20} , мин ⁻¹ (см. гл. 1)	Продолжительность начального периода, мин (см. гл. 1)
	предельно допустимой концентрации	возможности работы в respirаторе не менее 6 ч	взрывобезопасной концентрации		
ХС-527	12000	1200	300	0,2	23
ХС-534	10400	1000	350	0,08	56
ХС-717	12900	1300	500	0,17	27
ХС-720а	14700	1500	450	0,2	23
ХС-720к	16200	1600	350	0,2	23
ХС-747	6400	600	200	—	—
ХС-748	15000	1500	400	—	—
Эпоксидные:					
ЭП-72	3000	450	150	0,12	37
ЭП-755	9000	900	300	0,11	41
Этинолевые:					
ЭКЖС-40	6500	650	200	0,075	60
ЭКА-15	9000	900	250	0,14	32
Шпатлевки эпоксидные (ЭП-00-10)	3000	350	250	0,1	45

7.5. СВАРОЧНЫЕ ЦЕХИ

Наиболее значительные концентрации вредных выделений в сварочных цехах образуются вблизи мест резки и сварки, т. е. в зоне дыхания сварщика или резчика.

Наиболее распространенные в практике проектирования местные отсосы от сварочных постов и оборудования сварки и резки металла приведены в табл. 7.15.

Таблица 7.15. Сведения о местных отсосах в сварочных цехах [26, 35, 43]

Оборудование, способ сварки или резки	Тип местного отсоса	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч	Скорость движения воздуха, м/с	Альбом типовых чертежей
---------------------------------------	---------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------

Ручная и полуавтоматическая сварка *

Стол с подвижным укрытием и поворотным диском	Отсос с подвижным укрытием Отсос без подвижного укрытия	1200 $L=4H+820$ (H — расстояние от сварочной дуги до плоскости стола) 1500—1800	0,5 (в рабочем проеме) То же	Серия ОВ-02-151, вып. 1, 2
Стол сварщика модели ССН	Наклонная панель с шарнирно-закрепленным козырьком и нижней решеткой (рис. 7.6)	—	—	Конструкция ВИСП
Столы на стационарных постах	Односторонние и двусторонние панели равномерного всасывания с верхним и нижним отсосами размером 600×645, 750×645, 900×645 мм (табл. 5.10, рис. 7.7)	По расчету	3—6 (в живом сечении панели)	Серия 4.904-37

Оборудование, способ сварки или резки	Тип местного отсоса	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч	Скорость движения воздуха, м/с	Альбом типовых чертежей
---------------------------------------	---------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------

Автоматическая сварка под слоем флюса

Универсальный сварочный автомат типа АВС	Встроенный отсос с побуждением от эжектора флюсоотсоса	35—42	—	—
Самоходная автосварочная головка типа САГ-4	Приближенный воронкообразный отсос (рис. 7.8)	По формуле (7.10)	—	—
Сварочный трактор типа ТС-17-М-У	Отсос из двух изогнутых патрубков с креплением к бункеру флюса (рис. 7.9)	То же	—	—

Контактная сварка

Стыковая машина	Укрытие (рис. 7.10)	200—700	Не менее 0,7 (в открытом рабочем проеме); 2 — (в неплотностях при закрытом проеме)	—
Точечная сварка	Верхний отсос (рис. 7.11)	170	1—2 (в живом сечении)	—
То же, на машине МТП-75	Скошенное торцевое отверстие	380	13,5 (в патрубке)	ОВ-02-151, вып. 1, 2

Автоматическая сварка в углекислом газе

Автомат для сварки в CO ₂	Воздухоприемник в виде кольцевой насадки (рис. 7.12)	60	—	—
--------------------------------------	--	----	---	---

Тепловая резка металлов

Машинная резка на раскроечном столе	Нижний секционный отсос размером 1,5×1,5 м	6000; дополнительно по 800 на подсосы через каждую включенную секцию	2,5—3,5 (в живом сечении)	Чертежи ВНИИОТ (Ленинград)
Машина АСП-2 для кислородной разделительной резки листовой стали	Отсос от решетки у стола	4800	—	Серия ОВ-02-151, вып. 1, 2
Установка ХТТ-1-58 для плазменной резки металла	Отсос из-под стола	2600	—	Серия ОВ-02-151, вып. 1, 2

Объем воздуха, м³/ч, отсасываемого от установок автоматической сварки под слоем флюса, определяют по формуле, предложенной Институтом охраны труда,

$$L = k \sqrt{I}, \quad (7.10)$$

где k — опытный коэффициент, принимаемый для универсальных автоматов равным 12, для тракторов — 16; I — сила сварочного тока, А.

Отсос вредных выделений при сварке емкостей может быть осуществлен малогабаритным воздухоприемником ЛИОТ, закрепляемым у места сварки с помощью пневматических присосов (рис. 7.13) или магнитных держателей. Объем удаляемого воздуха для этого воздухоприемника — 150 м³/ч при радиусе действия 150—200 мм;

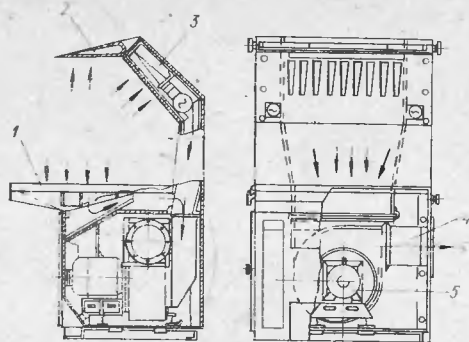


Рис. 7.6. Местный отсос от стола сварщика модели ССН:

1 — нижняя всасывающая решетка; 2 — поворотный козырек; 3 — наклонная панель равномерного всасывания; 4 — патрубок; 5 — вентиляционный агрегат.

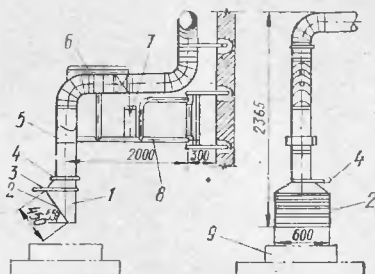


Рис. 7.7. Поворотно-подъемный воздухоприемник ЛИОТ-2:

1 — воздухоприемная панель; 2 — всасывающая решетка; 3 — козырек; 4 — шибер; 5 — воздуховод; 6 — трос; 7 — противовес; 8 — поворотный кронштейн; 9 — свариваемое изделие.

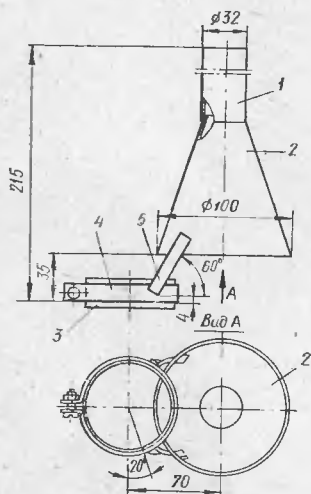


Рис. 7.8. Воронкообразный пылегазоприемник к автомату для сварки под флюсом:

1 — патрубок; 2 — воздухоприемник; 3 — кольцо; 4 — хомут; 5 — планка.

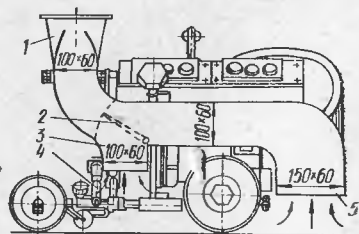


Рис. 7.9. Местный отсос, установленный на сварочном тракторе:

1 — вытяжной сборный воздуховод; 2 — регулирующий клапан; 3 — передний отсос; 4 — сварочная головка; 5 — задний отсос.

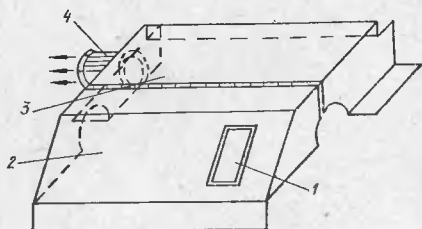


Рис. 7.10. Схема укрытия контактной стыковой машины:

1 — смотровое окно; 2 — откидная крышка; 3 — укрытие; 4 — патрубок.

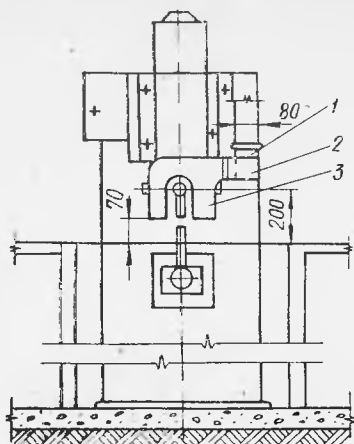


Рис. 7.11. Отсос к точечной машине:

1 — шибер; 2 — патрубок; 3 — воздухоприемник.

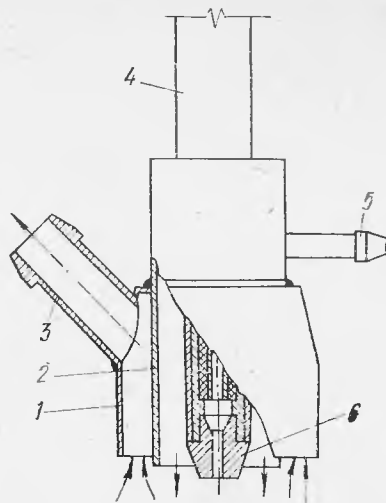


Рис. 7.12. Местный отсос к автомату для сварки в CO_2 :

1 — воздухоприемник; 2 — сопло; 3 — патрубок; 4 — трубка; 5 — патрубок для подвода CO_2 ; 6 — мундштук.

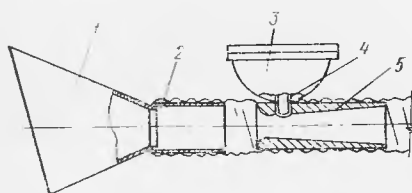


Рис. 7.13. Воздухоприемник ЛИОТ с пневматическим присосом-держателем для ручной сварки:

1 — воронка; 2 — пылесосный шланг ($d = 32$ мм); 3 — резиновая полусфера; 4 — полая втулка; 5 — диффузорный пережим.

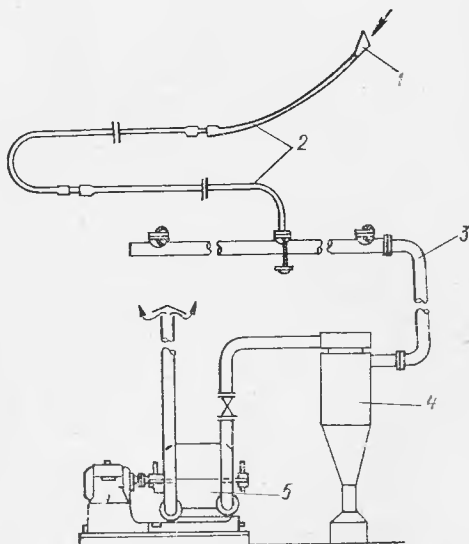


Рис. 7.14. Схема высоковакуумной установки:

1 — воздухоприемник; 2 — гибкие шланги; 3 — коллектор; 4 — циклон; 5 — центробежная машина.

потеря давления — 3 кПа. Воздухоприемник подсоединяют к высоковакуумной установке (рис. 7.14), состоящей из побудителя, пылеуловителя и коллектора. В системах повышенного вакуума применяют многоступенчатые центробежные машины ТВ-80-1,6 или ТВ-50-1,6 с расходом воздуха 3—5 тыс. м³/ч и разрежением до 30 кПа либо вентиляторы высокого давления производительностью 7 тыс. м³/ч с разрежением около 10 кПа. Пыль улавливают в тканевом фильтре и малогабаритном циклоне.

В качестве переносных шлангов используют облегченные резинотканевые рукава по ТУ 38-105631-73 ($d_{вн}=38,5$ и 70 мм) или рукава гибкие металлические по ГОСТ 3575—75 (см. табл. 9.2).

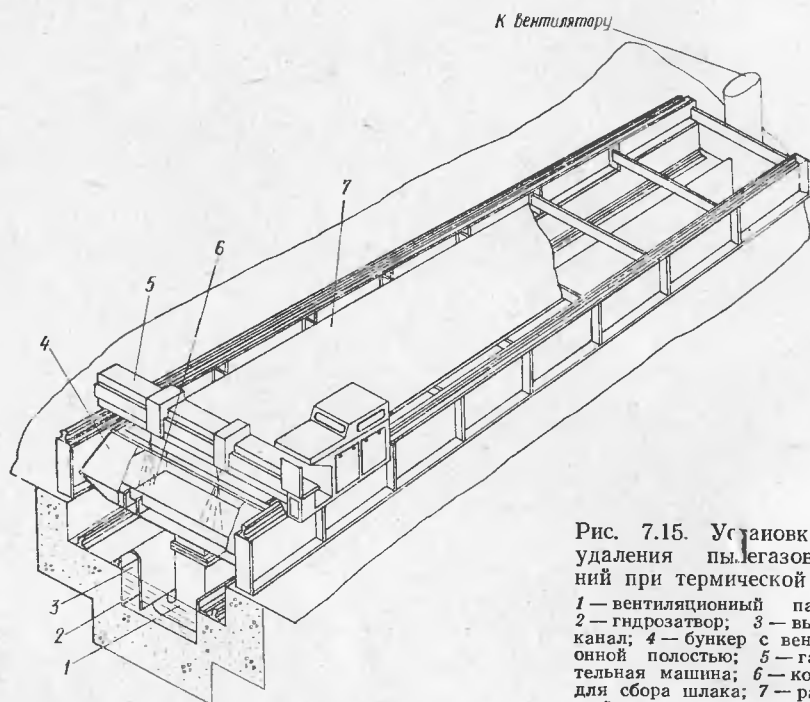


Рис. 7.15. Установка для удаления пылегазовыделений при термической резке:

1 — вентиляционный патрубок; 2 — гидрозатор; 3 — вытяжной канал; 4 — бункер с вентиляционной полостью; 5 — газорезательная машина; 6 — контейнер для сбора шлака; 7 — разрезаемый лист.

Вакуумвытяжные системы могут применяться не только при вентиляции емкостей, но и при выполнении сварочных работ на автоматах и полуавтоматах с использованием воздухоприемных устройств в виде кольцевых насадок (см. рис. 7.12).

Вентиляцию при сварке в замкнутых и полузамкнутых емкостях осуществляют вентиляционной установкой, подающей чистый воздух в количестве 1000—2000 м³/ч на одного сварщика. Конструкции элементов высоковакуумной установки и установки местной приточной вентиляции с электрокалорифером при сварке в сосудах приведены в типовой серии 4.904-37.

Таблица 7.16. Характеристика отсоса от машины для термической резки

Наименование показателей	Значение показателей для колеи шириной, м	
	3,3	4,5
Объем отсасываемого воздуха, тыс. м ³ /ч	5	7,5
Средняя скорость воздуха в приемном сечении, м/с	2,3	3,5
То же, в отсасываемом патрубке, м/с	20	20
Потери напора в местном отсосе, Па	100	110

Таблица 7.17. Количество воздуха, м³ на 1 кг расходуемого сварочного материала, для разбавления вредных веществ до ПДК [53]

Сварочный материал	Вредное вещество		
	Сварочный аэрозоль	Марганец и его окислы	Фтористый водород
Ручная сварка			
Электроды УОНИ 13/45	3400	1700	—
» УОНИ 13/55	4500	3600	4600
» АНО-3	1500	2800	—
» АНО-4	1500	2000	—
Полуавтоматическая сварка в углекислом газе			
Проволока СВ-08Г2С	2000	1700	—
Сварка порошковой проволокой			
Проволока ПП-АН-3	3400	4500	5400
» ПП-АН-4	1900	2500	3900
» ПП-АН-8	3600	7300	1900
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса			
Флюс АН-348А	—	80	60
» АН-26	—	—	60

Таблица 7.18. Количество воздуха для разбавления вредных веществ до ПДК при контактной сварке и резке металла [53]

Технологический процесс	Определяющие воздухообмен вредные вещества			Количество воздуха, м³
	Наименование	Измеритель	Количество	
Контактная электросварка сталей: стыковая	Окись железа с примесью до 3 % окислов марганца	Г/ч на 75 кВА номинальной мощности машины	25	4000
точечная	То же	То же, на 50 кВА	2,5	400
Газовая резка высокоуглеродистых сталей	Марганец	Г на 1 м длины реза толщиной 1 мм	1,12	400
То же, углеродистых и низколегированных сталей	Окись железа с примесью до 3 % окислов марганца	То же	0,45	75
Газовая сварка сталей ацетилено-кислородным пламенем	Окись азота	Г на 1 кг ацетилена	22	4400

Для удаления пылегазовыделений при машинной кислородной или плазменной резке листового проката в ПО «Укрстальконструкция» разработано специальное устройство (рис. 7.15, табл. 7.16).

Общеобменная вентиляция в сборочно-сварочных цехах предусматривается для разбавления и удаления вредных выделений при сварке и резке на нефиксированных

Таблица 7.19. Валовое количество вредных веществ, выделяющихся при сварке металла [43]

Сварочный материал	Количество вредных веществ, г на 1 кг сварочного материала					
	Сварочный аэрозоль	Марганец и его окислы	Хромовые соединения	Фтористый водород	Прочие компоненты	
					Наименование	Коли- чество

Ручная сварка

Электроды:						
АНО-1	7,1	0,43	—	—	—	—
АНО-3	5,95	0,85	—	—	—	—
АНО-4	5,95	0,59	—	—	—	—
АНО-5	14,4	1,87	—	—	—	—
АНО-6	16,3	1,95	—	—	—	—
АНО-7	12,4	1,45	—	—	—	—
УОНИ 13/45	13,6	0,51	—	—	—	—
УОНИ 13/55	18	1,09	—	2,3	—	—
УОНИ 13/65	7,5	1,41	—	1,17	—	—
УОНИ 13/85	11,2	0,78	—	1,14	—	—
УОНИ 13/НЖ	10,2	0,535	0,393	0,97	—	—
ОЗС-3	15,3	0,42	—	—	—	—
ОЗС-4	9,3	1,07	—	—	—	—
ОЗС-6	1,38	0,86	—	—	—	—
МР-3	9,8	1,32	—	0,38	—	—
МР-4	10,8	1,08	—	1,53	—	—
РБУ-4	6,9	0,74	—	—	—	—
ЭА-395/9	17	1,1	0,425	—	—	—
ЭА-400/10у	5,7	0,43	0,25	0,54	—	—
ЭА-606/11	11	0,68	0,34	1,61	—	—
ЭА-981/15	9,46	0,68	0,72	—	—	—
ОЗЛ-5	3,9	0,366	0,475	0,425	—	—
ОЗЛ-6	6,9	0,246	0,595	1,23	—	—
ОЗЛ-7	7,56	0,21	0,47	0,69	—	—
ОЗЛ-9А	4,97	0,975	0,273	1,13	Никель и его окись	0,39
ОЗЛ-14	8,14	1,41	0,46	0,91	—	—

Полуавтоматическая сварка

Порошковая проволока:						
ПП-ДСК-1	11,7	0,77	—	—	—	—
ПП-ДСК-2	11,2	0,42	—	0,1	—	—
ПСК-3	7,7	0,41	—	0,72	—	—
ПП-АН-3	13,7	1,36	—	2,7	—	—
ПП-АН-4	7,5	0,76	—	1,95	—	—
ПП-АН-8	14,4	2,18	—	0,95	—	—

Полуавтоматическая сварка в углекислом газе

Проволока:						
X19П9Ф2СЗ	7	0,42	0,03	—	Никель и его окись	0,04
СВ-08Г2С	8	0,5	0,02	—	Окись углерода	14
СВ-Г6Х16Н-25М6	15	2	1	—	Никель и его окись	2
СВ-10Г2Н2-СМТ	12	0,14	—	—	То же	0,2
СВ-08Х-19НФ2С2	8	0,4	0,5	—	»	0,06

Сварочный материал	Количество вредных веществ, г на 1 кг сварочного материала					Прочие компоненты	
	Сварочный аэрозоль	Марганец и его окислы	Хромовые соединения	Фтористый водород		Наименование	Коли- чество

Полуавтоматическая сварка в азоте

Проволока МНЖКТ5-1-0,2-02	14	0,2	—	—	Никель и его окись Медь	0,7 7
------------------------------	----	-----	---	---	-------------------------------	----------

Полуавтоматическая сварка алюминия и его сплавов в аргоне и гелии

Проволока: Д-20	10,9	0,0925	—	—	Окись алюминия	7,6
АМЦ	22,1	0,625	—	—	—	—
АМГ-6т	52,7	0,233	—	—	Окислы азота	2,45
АМГ	20,6	0,78	—	—	То же	0,38
Неплавящийся электрод	5	—	—	—	Окись алюминия	15,5
					То же	2

Сварка меди и ее сплавов

Электрод «Комсомолец-100»	19,8	3,9	—	1,11	Медь	9,8
Проволока СрМ-0,15 (МРКМцТ)	17,1	0,44	—	—	»	15,4

Автоматическая или полуавтоматическая сварка под флюсом

Плавные флюсы:						
АН-22	0,12	0,009	—	0,02	—	—
АН-25	0,056	0,004	—	0,027	—	—
АН-30	0,06	0,033	—	0,034	—	—
АН-42	0,04	0,008	—	0,024	—	—
АН-60	0,053	0,012	—	—	—	—
АН-64	0,03	0,02	—	—	—	—
АН-348А	0,04	0,024	—	0,032	—	—
48-0Ф-6	—	0,02	—	0,07	—	—
48-0Ф-7	0,043	—	—	0,017	—	—
48-0Ф-11	—	0,07	—	0,003	—	—
ОСУ-45	—	0,03	—	0,2	—	—
Керамические флюсы:						
АНК-18	0,455	0,013	—	0,042	—	—
АНК-30	0,265	0,12	—	0,018	—	—
ЖС-450	5,8	0,142	—	0,18	Окись углерода	22,4
К-8	4,9	—	—	0,13	То же	17,8

Примечание. Выделенные значения вредных веществ определяют расчетное количество воздуха.

рабочих местах, а также части неуловленных местными отсосами газов и аэрозолей, составляющих около 25 % их общего количества.

Используя данные табл. 7.17—7.21, воздухообмен рассчитывают на разбавление до ПДК всех компонентов, входящих в состав выделяющихся вредных веществ. Суммируя далее воздухообмен по каждому компоненту, определяют наибольший воздухообмен, который является расчетным.

Таблица 7.20. Валовое количество вредных веществ, выделяющихся при газовой и электродуговой резке и воздушно-дуговой строжке (по данным ВНИИ охраны труда)

Технологический процесс	Вредные выделения			
	Пыль	MnO ₂	CO	N ₂ O ₂
Газовая резка стали 45Г17Ю3 толщиной, мм:				
5	2,5	0,6	1,4	1,1
10	5	1,2	2	1,6
20	10	2,4	2,7	2,2
То же, сплавов титана толщиной, мм:				
4	5	—	1	0,5
12	15	—	1,8	0,9
20	24	—	2,2	1,1
30	36	—	2,7	1,5
Электродуговая резка сплавов АМГ толщиной, мм:				
8	2,5	—	0,6	2,5
20	4	—	0,9	4
80	6	—	1,8	8
Воздушно-дуговая строжка стали 45Г17Ю3	100	25	250	50
То же, сплавов титана	500	—	500	130

Примечания. 1. Единица измерения при резке — г на 1 м реза, при строжке — г на 1 кг угольных электродов. 2. Тепловыделения при газовой резке следует принимать равными 50 400 кДж на 1 кг ацетилене.

Таблица 7.21. Валовое количество вредных веществ, выделяющихся при плазменной резке [26]

Материал	Валовое количество пыли, г на 1 м реза			Удельные ва- ловые выделе- ния пыли $G'_{уд}$, г на 1 см ² выплав- ленного металла
	Всего $G_{уд}$	В том числе		
		окислов хрома	окислов марганца	
Низколегированные стали:				
Ст-3с ($\delta=30$ мм)	13,3	0,25	0,05	0,05
О9Г2 ($\delta=16$ мм)	11	0,02	0,3—0,9	0,13
10ХСНД ($\delta=8$ мм)	2,4	0,05	0,04	0,08
Спецстали:				
1Х18Н9Т ($\delta=20$ мм)	35	7	0,5—1,6	0,4
АК-25 ($\delta=25$ мм)	28	0,05	15	0,2
Алюминиевый сплав АМГ, тол- щиной, мм:				
15	16,4	0,03—0,09	0,02—0,08	0,23
12	7	—	0,1	0,1
Медные сплавы:				
М-3 ($\delta=30$ мм)	47	—	—	0,3
Л-62 ($\delta=15$ мм)	78,7	—	—	0,9
Титановый сплав ЗВ ($\delta=$ $=32$ мм)	36	0,07	0,06	0,25

Примечания. 1. В качестве рабочего газа при плазменной резке используется сжатый воздух. 2. Валовые количества пыли, выделяющиеся при резке металлов другой толщины, пересчитывают по зависимости $G_{уд} = G_{уд} v_m W$, где v_m — скорость резки металла, м/ч; W — количество выплавленного металла с 1 м реза, см².

Общеобменную вытяжную вентиляцию предусматривают естественной из верхней зоны. Многопролетные сборочно-сварочные цехи, сообщающиеся со смежными цехами или участками, где не производится сварка или резка металлов, оборудуют механической вытяжной вентиляцией с использованием крышных вентиляторов. Преимущественное удаление воздуха осуществляют из участков с большим загрязнением воздуха. Приточная вентиляция должна быть механической с использованием в крупных цехах для сосредоточенной подачи воздуха в верхнюю зону воздухоораспределителей типа ВГК и в мелких цехах для рассеянной подачи — типа ВЭПш или НРВ.

При рассредоточенной подаче воздуха в рабочую зону необходимо предусматривать вентиляцию кабин крановщиков наружным воздухом.

7.6. ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В помещениях для хранения, технического обслуживания и ремонта автомобилей (СНиП 11-93-74) следует предусматривать общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию. Воздухообмен определяют из расчета разбавления и удаления вредных газовойделений.

Удаление воздуха из помещения для хранения автомобилей предусматривают из верхней и нижней зон поровну, а в помещениях технического обслуживания и ремонта — из верхней зоны.

На постах обслуживания и ремонта автомобилей, а также в помещениях для испытания двигателей устанавливают местные отсосы с механическим побуждением для удаления выхлопных газов. Выхлопные трубы присоединяют гибкими шлангами к воздуховодам диаметром 100 мм. При работе в помещении одного или двух постов местные отсосы могут быть с естественным побуждением. Вредные выделения в помещении, не уловленные местными отсосами при испытании и регулировке двигателей, рекомендуется принимать в размере 5 % количества вредных веществ, содержащихся в отработанных газах.

Подачу приточного воздуха в помещения для хранения автомобилей предусматривают в проезды по длине сосредоточенными струями, а в помещения с постами технического обслуживания и ремонта автомобилей — непосредственно в рабочую зону рассредоточенно. Кроме того, предусматривают подачу приточного воздуха в смотровые канавы и приемки в количестве 125 и 100 м³/ч соответственно на 1 м³ канавы и приемка.

Воздушные завесы предусматривают в помещениях для хранения автомобилей при количестве выездов и въездов в 1 ч более 20, а в помещениях технического обслуживания и ремонта — при количестве постов более 5.

Помещения зарядных стаций тяговых и стартерных аккумуляторных батарей [57] должны быть оборудованы механической приточно-вытяжной и естественной вытяжной вентиляцией.

Расход воздуха, м³/ч, подаваемого приточной вентиляцией, для одной батареи в зависимости от наибольшего зарядного тока I , А, и числа элементов одной аккумуляторной батареи n , определяют по формуле

$$L = 0,07In. \quad (7.11)$$

Рассчитанный по этой формуле расход воздуха проверяют, исходя из условий полного удаления аэрозолей щелочи или серной кислоты (предельно допустимые концентрации серной кислоты — 1, щелочи — 0,5 мг/м³), а также разбавления водорода до допустимой концентрации (не более 0,7 % по объему). В теплый период года воздухообмен проверяют на ассимиляцию теплоизбытков.

Объем водорода, л (табл. 7.22), выделяющегося из тяговых кислотных или щелочных аккумуляторов за время заряда t , ч, находят из выражения

$$V = 0,2It. \quad (7.12)$$

Время заряда батарей, ч: аккумуляторов типа ТЖН — 7 (ТЖН-950 — 8), ТКН — 6 (ТКН-950 — 8), свинцовых — 10—12.

В процессе заряда тяговые аккумуляторные батареи при необходимости охлаждаются (см. табл. 7.22): с элементами ТЖН-950 и ТКН-950 — в гуммированных или полнэтиленовых сосудах с ребрами путем подачи охлажденного воздуха снизу; с элементами ТЖН-250-550 и ТКН-250-550 — сосредоточенной вытяжкой в зоне заряжаемых батарей.

Таблица 7.22. Вредные выделения и расход воздуха на охлаждение при заряде тяговых щелочных аккумуляторов [57]

Марка аккумулятора	Сила зарядного тока	Количество выделяемого водорода, л			Интенсивность тепловыделений при зарядке, Вт	Ориентировочный расход воздуха на охлаждение аккумулятора, м³/ч
		за время полного заряда	среднее в час	за первые сутки саморазряда		
ТЖН-250, ТКН-250	62,5	87,5/75	12,5	12,5	16,5	20
ТЖН-300, ТКН-300	75	105/90	15	15	19	22
ТЖН-350, ТКН-350	90	126/108	18	17,5	22,5	24
ТЖН-400, ТКН-400	105	147/126	21	20	25	26
ТЖН-450, ТКН-450	125	175/150	25	22,5	29	28
ТЖН-500, ТКН-500	125	175/150	25	25	31,5	30
ТЖН-550, ТКН-550	140	196/168	28	27,5	35	32
ТЖН-950, ТКН-950	190	304/304	38	47,5	50	34(20)

Примечания. 1. В числителе приведены данные для аккумуляторов типа ТЖН, в знаменателе — типа ТКН. 2. В скобках указан средний расход воздуха на один аккумулятор, находящийся в батарее. 3. Выделение водорода при саморазряде аккумуляторов ТКН примерно вдвое меньше, чем при саморазряде аккумуляторов ТЖН. 4. Количество водорода, выделяемого за первые сутки саморазряда, относится только к аккумуляторам ТЖН.

Таблица 7.23. Вредные выделения в помещениях заряда свинцовых и железоникелевых аккумуляторов [46]

Тип аккумуляторов	Количество выделений на 1 А·ч общей номинальной емкости одновременно заряжающихся батарей			
	Явного тепла, Вт	Паров серной кислоты, мг/ч	Аэрозолей, щелочи, мг/ч	Водорода, мг/ч
Свинцовые	1,16	1	—	8,6
Железоникелевые	1,86	—	0,8	30,7

Примечания. 1. В числителе указано количество тепла при заряде аккумуляторов с дистанционным управлением, в знаменателе — на стендах, оборудованных приборами контроля и управления. 2. Тепловыделения от выпрямителей составляют 80 Вт на 1 кВт установочной мощности.

Для свинцовых и железоникелевых аккумуляторов количество вредных выделений (табл. 7.23) определяют в зависимости от общей номинальной емкости одновременно заряжающихся батарей, А·ч, которая вычисляется как сумма общих емкостей батарей каждого типа E_i , А·ч:

$$E_{\text{общ}} = \sum_i E_i.$$

Для зарядных станций автогаражей и электрокаров

$$E_i = z m n E / T,$$

где $z=1,1$ — коэффициент неравномерности поступления батарей на заряд; m — количество заряжающихся батарей данного типа; t — время заряда батарей данного типа, ч; n — число зарядов батарей в сутки; E — номинальная емкость одной батареи данного типа, А·ч, принимаемая по техническим данным; T — продолжительность работы зарядной станции в сутки, ч.

При расчете воздухообмена по данным табл. 7.23 следует вводить повышающий коэффициент 1,2.

Малогобаритные аккумуляторы заряжают в вентилируемых укрытиях шкафного типа.

Естественная вентиляция в зарядном отделении и помещении хранения зарядных батарей должна обеспечивать обмен воздуха не менее 0,25 расхода L , рассчитанного по формуле (7.11), но не менее 1 ч^{-1} .

Помещения для заряда тяговых или стартерных аккумуляторных батарей по взрывной опасности являются производствами категории Е, причем, верхняя зона относится к взрывоопасным помещениям класса В-1а с категорией и группой взрывоопасной смеси 4А-Т1 (водород), а нижняя зона считается невзрывоопасной. Граница между верхней и нижней зонами помещения условно проходит на отметке 0,75 общей высоты, считая от уровня пола, но не выше отметки кранового пути.

В помещениях кислотных и щелочных аккумуляторных батарей следует устанавливать отдельные приточно-вытяжные вентиляционные системы. Зарядное помещение должно обслуживаться отдельной вентиляционной системой с вентилятором взрывозащищенного исполнения. Приточный воздух подают в рабочую зону воздухораспределителями типа ВЭПш.

Расчетную температуру воздуха в помещениях для хранения автомобилей принимают 5°C , в помещениях ремонта, технического обслуживания (включая каналы) и заряда аккумуляторов — $17-19^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура в помещениях хранения и заряда аккумуляторных батарей — 30°C .

В помещениях вулканизации для локализации пыли при зачистке и шероховке резины предусматривают отсосы от укрытий станков. Скорость воздуха в рабочем проеме укрытий принимают $9-12 \text{ м/с}$. Местные отсосы над вулканизаторами устраивают в виде зонтов или остекленных завес. Рекомендуется принимать скорость в сечении зонта $0,6-0,7$, на входе в завесу — $0,4-0,5 \text{ м/с}$.

При вулканизации резины в период разгрузки прессы и пресс-форм интенсивно выделяются газы, пары и многокомпонентные аэрозоли, в том числе пары масел, которые отлагаются на стенках воздухопроводов и укрытий, образуя с продуктами неполной полимеризации резины легко возгорающийся слой. Для предотвращения отложений в воздуховодах рекомендуется устанавливать фильтры ФР-440 Омского НИКТИ ГХ с максимальным приближением их к источникам образования вредных веществ.

Общеобменную вентиляцию в теплый период рассчитывают из условий ассимиляции избыточного тепла. При этом тепловыделение от поверхности вулканизаторов рекомендуется принимать в количестве $7300-7600 \text{ Вт}$ на 1 м^2 площади, занимаемой прессами-вулканизаторами. Подача воздуха в объеме расчетного воздухообмена может осуществляться комбинированно от системы с механическим побуждением и естественным путем. Допускается предусматривать только естественный приток наружного воздуха. Вытяжную общеобменную вентиляцию следует предусматривать механической из верхней зоны.

В холодный период воздух, удаляемый из помещения, компенсируется приточной системой с механическим побуждением. Раздача приточного воздуха осуществляется в верхнюю зону. При значительных тепlopоступлениях в помещения большой высоты допускается естественный приток воздуха через проемы оконного остекления на высоте не менее 4 м от пола.

Требуемые метеорологические условия на рабочих местах вблизи нагретых поверхностей вулканизаторов рекомендуется поддерживать воздушным душированием.

7.7. ПРОИЗВОДСТВА, СВЯЗАННЫЕ С ПЕРЕРАБОТКОЙ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕМ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Оборудование, выделяющее пыль в цехах помола и дробления, должно быть полностью укрыто. Укрытия соединяют с системой аспирации, создающей внутри укрытий разрежение.

Согласно указаниям [10, 61], объем воздуха, аспирируемого из укрытия, L_z , $\text{м}^3/\text{ч}$, складывается из объема воздуха, вносимого в укрытие поступающим через загрузочную точку материалом, L_z , $\text{м}^3/\text{ч}$, и объема воздуха, просасывающегося через неплотности укрытия для предотвращения выноса через них пыли в помещение, L_v , $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$L_a = L_z + L_v. \quad (7.13)$$

При подаче материала из герметичного оборудования (шнеков, бункеров и др.), объем вносимого в укрытие воздуха L_z не учитывается.

Формулы для определения объемов воздуха L_3 и L_n приведены в табл. 7.2, где W_m — расход материала, поступающего в аспирируемую полость через течку $m^3/ч$, который можно определить по формуле

$$W_m = 300B^2v; \quad (7.1)$$

B — ширина ленты конвейера, м; v — скорость движения конвейера, м/с; F_n — площадь неплотностей в укрытии и открытых проемов, m^2 ; v_n — скорость движения воздуха в неплотностях укрытий, м/с, принимаемая для бункеров 1—1,5, для шнеков и полностью укрытых конвейеров — 1,3, для емких укрытий дробильно-помольного оборудования и элеваторов — 2, для неемких укрытий технологического оборудования, а также укрытий на конвейерах $0,65v_k$, но не менее 2 м/с; v_k — скорость движения материала при входе в укрытие из загрузочной течки, м/с, определяемая по формуле

$$v_k = \sqrt{19,62H(1 - 1,2f \operatorname{ctg} \alpha)}; \quad (7.15)$$

H — высота падения материала в загрузочной течке (без учета высоты падения материала о поверхность течки, принимаемый угол наклона загрузочной течки к горизонту, град; f — коэффициент трения материала в оборудовании и в укрытиях), м; α — для гравия и известняка 0,8, для песка — 0,65, для щебня — 0,55, для руды, гипса и шлака — 0,6, для сухой земли, цемента и каменного угля — 0,5.

Для обеспыливания мест перегрузки сыпучих пылящих материалов предусматривают укрытия конвейеров с отсосом воздуха (рис. 7.16). Объем отсасываемого воздуха уменьшается за счет устройства в укрытиях отбойных плит и жестких перегородок в

Рис. 7.16. Схема перегрузочного узла: 1 — верхний отсос; 2 — подающий конвейер; 3 — породная подушка; 4 — принимающий конвейер; 5 — нижний отсос.

нижнем укрытии. Последний участок течки располагают под углом 45° и более. Расход воздуха, отсасываемого из верхнего укрытия, L_a , $m^3/ч$, зависит от ширины ленты конвейера B , м:

$$L_a = 40B. \quad (7.16)$$

Расход воздуха от нижнего укрытия определяют по формуле (7.13).

Объем воздуха, поступающего по течке в рассматриваемом типе укрытия,

$$L_3 = 0,12 W_m v_k^2. \quad (7.17)$$

а объем воздуха, подсасываемого через неплотности нижнего укрытия,

$$L_n = 9500 F_n \sqrt{p_n}. \quad (7.18)$$

где F_n — площадь неплотностей в нижнем укрытии, m^2 ; p_n — разрежение на внутренней поверхности стенок нижнего укрытия, Па, принимаемое в полностью укрытых конвейерах и в шнеках равным 2,45, в элеваторах — 1,96, в бункерах — 1,47.

Скорость движения материала в конце течки при входе его в нижнее укрытие устанавливают путем последовательного определения скоростей для всех прямолинейных участков течки по следующим формулам:

для вертикального начального участка

$$v_i = \sqrt{19,6H_i}; \quad (7.19)$$

для вертикальных участков, расположенных после наклонного участка,

$$v_i = \sqrt{(v_{i-1} k_i)^2 + 19,6H_i}; \quad (7.20)$$

для наклонных участков

$$v_i = \sqrt{(v_{i-1} k_i)^2 + 19,6H_i(1 - f \operatorname{ctg} \alpha_i)}. \quad (7.21)$$

где H_i — высота перепада материала на данном прямолинейном участке течки, м; v_{i-1} — скорость движения материала в конце предыдущего участка течки, м/с; k_i —

Таблица 7.24. Расчетные формулы для определения объема воздуха, аспирируемого из укрытий

Технологическое оборудование	Способ подачи материала	Место расположения или тип укрытия и аспирационной воронки	Формулы		Примечание
			для L_3	для I_{11}	
Бункеры	Думпкарами, вагонами и автосамосвалами	Укрытые с разгрузочным проемом; воронка в верхней части бункера	—	$3600 F_{11} v_{11}$	Если бункеры заполняются несколькими грузочными устройствами, то полученные для каждого грузочного устройства значения объемов воздуха L_3 суммируются с учетом коэффициента одновременности работы этих устройств
	Саморазгружающейся тележкой	Укрытые с уплотнением грузочных щелей; воронка в верхней части бункера	$(7-0,0025 W_m) \times W_m$		
	Реверсивным конвейером	Укрытые с минимально открытым проемом; воронка в верхней части бункера	$2,1 W_m$		
	Через стационарную технику	То же	$0,12 W_m$		
	Через герметичную технику	»	W_m		
Конусные дробилки	Через течки питателей	Емкое укрытие над верхом дробилки; воронка на крышке укрытия	$0,12 W_m v_k^2 + W_m$	$3600 F_{11} v_{11}$ или $250 D v_k$	$F_{11} = 0,063 D$; D — диаметр дробилки, м
Щековые дробилки	Из пластинчатых или лотковых питателей	Емкое укрытие над верхом дробилки; воронка на крышке укрытия	$2,1 W_m$	$3600 F_{11} v_{11}$ или $2000 (a+b)$	a и b — размеры зева дробилки, м
Валковые дробилки	Через течки	Максимально уплотненный кожух; воронка в верхней части кожуха	$0,15 W_m v_k^2$	—	—
Грохоты	Через течки питателей	Укрытые, установленные на раме грохота		$100 (a+b) v_k$	a и b — ширина и длина грохота, м
		Укрытые кабинного типа, не связанное с конструкцией грохота	$0,12 W_m v_k^2$	$3600 F_{11} v_{11}$	
	Из конусных дробилок и пластинчатых питателей	Укрытые, установленные на раме грохота; укрытые	$0,2 W_m v_k^2$	$100 (a+b) v_k$ или $3600 F_{11} v_{11}$	

Технологическое оборудование	Способ подачи материала	Место расположения или тип укрытия и аспирационной воронки	Формулы		Примечание
			для L_3	для L_{II}	
Элеваторы	Через точки питателей	кабинного типа, не связанное с конструкцией грохота Кожух по всей высоте; при высоте элеватора до 10 м воронка в нижней части у башмака, при высоте более 10 м — в нижней части у башмака и сверху у головки элеватора	$0,12 W_{мвк}^2$	$60 ah$	a — наибольший размер элеватора в плане, м; h — высота элеватора, м Распределение объема отсасываемого воздуха (при холодном материале); от головки элеватора — $1/3$, от башмака — $2/3$
Пластинчатые конвейеры	Через точки питателей	Укрытие узлов загрузки и разгрузки материалов; воронки на укрытиях у течек	$0,12 W_{мвк}^2$	$3600 F_{ивч}$	—
Узлы загрузки ленточных конвейеров	Через течки с конвейеров, питателей, из сепараторов, из надрешетчатой части грохотов и валковых дробилок Из конусных дробилок подрешетчатой части грохота, пластинчатых питателей и элеваторов Из щековых дробилок Из бункера через герметичный питатель	Укрытие узлов загрузки; воронка на укрытии	$0,12 W_{мвк}^2$	$3600 F_{ивк}$ или $480 B_{ивк}$	—
			$0,2 W_{мвк}^2$		
			$0,4 W_{мвк}^2$		

коэффициент уменьшения скорости при повороте потока материала, т. е. при изменении угла наклона течки β_i (табл. 7.25); α_i — угол наклона участка течки к горизонтальной плоскости, град.

Таблица 7.25. Значения коэффициента k_i [11]

β_i	k_i	β_i	k_i	β_i	k_i
60	0,47	40	0,75	10	0,97
50	0,64	30	0,85	0	1
45	0,7	20	0,93		

Начальную скорость материала в первом участке течки на уровне подающего конвейера принимают равной нулю.

В Указаниях [11] излагается более точный расчет объема L_z с учетом физических характеристик материалов.

В местах присоединения аспирируемых воронок к укрытиям и производственному оборудованию следует принимать следующую скорость движения воздуха, м/с: от оборудования, транспортирующего цемент, сухие песчано-цементные смеси и молотую известь, — до 1; от оборудования, транспортирующего шлаки, керамзит и другие зернистые и кусковые материалы, — до 2; от бетоно- и растворомешалок с принудительным перемешиванием — 3—4; от вращающихся бетономешалок конической формы — 6.

Ориентировочные расходы воздуха, удаляемого от пылящего оборудования при условии достаточной герметизации его, приведены в табл. 7.26.

Разрежение у мест присоединения аспирационных воронок следует принимать: в укрытиях на конвейерах $p=0,64v^2_k$; в укрытиях дробильно-помольного и рассеивного оборудования $p=1,47v^2_k$; в полностью укрытых конвейерах и в шнеках — 2,45, в элеваторах — 1,96, в бункерах — 1,4 Па.

Воздух, удаляемый аспирационными установками от укрытий, перед выбросом в атмосферу следует очищать от пыли.

Разгрузка сухих пылеуловителей и транспортировка пыли связаны с дополнительным пылением, что требует устройства местных отсосов. Поэтому процесс разгрузки и транспортировки пыли следует механизировать с обеспечением максимальной герметизации устройств пылеудаления.

Вентиляторы аспирационных систем размещают после пылеуловителей. Применяют центробежные пылевые вентиляторы с электродвигателями в закрытом исполнении. Для установок большой производительности рекомендуется применять дымососы.

Аспирационные установки могут быть децентрализованными для каждой технологической линии или отдельного узла и централизованными с коллекторами. Рекомендуется применять централизованные установки с аспирационными коллекторами (табл. 7.27), рабочие чертежи которых разработаны в альбомах типовой серии ОВ-02-156.

Для разгрузки коллекторов применяют разгрузжатели различных конструкций. Скребокные транспортеры и клапаны-мигалки рекомендуются для сухой сыпучей несслеживающейся пыли. Винтовой шнек и ячеиковый питатель-звездочку можно применять для пылей, способных завестись, мелковолоконистых и других более трудных для разгрузки материалов. Мокрые способы разгрузки (гидравлический затвор и лотки) целесообразны там, где имеется шламовое хозяйство и где пыль не обладает цементирующими свойствами.

Наиболее эффективными способами уменьшения пылевыведений являются гидрообеспыливание и гидродавление. В качестве увлажнительных устройств применяют пневмораспылители. Степень увлажнения зависит от физико-химических свойств материалов. При проектировании увлажнительных устройств необходимо иметь технологические данные о допустимой конечной влажности материала.

В цехах дробления и помола предусматривают мокрую уборку пыли с полов, стен и оборудования, а также влажную уборку помещений. При недопустимости применения для уборки воды или размещении оборудования в неотапливаемых помещениях допускается пневматическая система пылеуборки.

Оборудование	Расход воздуха м³/ч
Бункеры, загружаемые конвейерами с шириной ленты 500 мм	1000—1500
То же, 800 мм	2000—2500
То же, 1000 мм	3000—3500
Бункеры, загружаемые элеватором с максимальной шириной ленты 300 мм	500—800
То же, 500 мм	800—1000
То же, 700 мм	1200—1500
Бункеры, загружаемые шнеками максимальным диаметром 300 мм	500—600
То же, 400 мм	800—1000
Конусные дробилки	1500
Валковые дробилки	1200—1900
Помольные бегуны	2000—3000
Шаровые мельницы	800—1200
Трубомельницы размером 1,5×5,6 м	2500—3000
То же, 2,0×10,5 м	4500—5000
Грохоты (на 1 м² площади)	1500—3500
Питатели пластинчатые производительностью до 100 м³/ч	1000—1500
То же, свыше 100 м³/ч	2000
Питатели тарельчатые	600—1000
» ленточные	1200—1600
Скребокковые транспортеры (на 1 м длины)	400—500
Транспортеры полностью укрытые (на 1 м длины) с шириной ленты 500 мм	300—400
То же, 600—800 мм	400—500
То же, 1000—1200	550—600
Элеваторы для холодного материала высотой до 10 м (отсос от башмака) с шириной ленты до 300 мм	1200
То же, 400—500 мм	1400—1700
То же, 600—700 мм	1800—2100
Элеваторы для холодного материала высотой более 10 м с шириной ленты до 300 мм:	
отсос от башмака	1100
» от головки	500
То же, 400—500 мм:	
отсос от башмака	1200—1500
» от головки	600—800
То же, 600—700 мм:	
отсос от башмака	1700—2000
» от головки	800—1000
Шнеки диаметром до 200 мм:	
отсос от перепада	300
на 1 м длины	25—40
То же, 300 мм:	
отсос от перепада	400
на 1 м длины	30—50
То же, 400 мм:	
отсос от перепада	500
на 1 м длины	40—60

Количество тепла, поглощаемого холодным материалом при транспортировании его на неукрытых конвейерах, Вт на 1 м длины конвейера, определяется по формуле

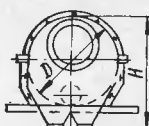
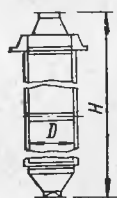
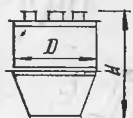
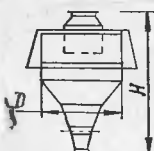
$$Q = qB, \quad (7.22)$$

где q — величина, зависящая от температуры наружного воздуха по параметру Б:

$t_n, ^\circ\text{C}$ —20 —30 —40

$q, \text{Вт/м}^2$ 186 221 256

Таблица 7.27. Техническая характеристика аспирационных коллекторов

Тип коллектора	Размеры, мм		Номинальная производительность L , тыс. м ³ /ч	Система разгрузки	
	D	H			
Горизонтальные коллекторы					
	ГЛ-1	800	1290	7	Механическая (шнек, скребковый транспортер); гидравлическая (лоток)
	ГЛ-2	1000	1510	12	
	ГЛ-3	1200	1680	20	
	ГВ-4	1600	1960	30	Механическая (шнек, скребок); гидравлическая (лоток)
	ГВ-5	2000	2400	50	
	ГВ-6	2500	2920	100	
Вертикальные коллекторы					
	ВК-1	800	6160	7	Механическая с питателем; гидравлическая через гидрозатвор
	ВК-2	1000	6470	12	
	ВК-3	1200	6700	20	
	ВК-4	1600	7070	30	
	ВК-5	2000	7690	50	
Барабанные коллекторы					
	БП-0	600	700	5	Пневматическая
	БП-1	800	900	7	
	БП-2	1000	1100	12	
	БП-3	1200	1300	20	
	БП-4	1600	1700	30	
	БА-00	1000	1900	5	Механическая с питателем; гидравлическая (гидрозатвор); пневматическая
	БА-0	1200	2080	7	
	БА-1	1600	2180	10	
	БА-2	2000	2670	15	
	БА-3	2400	3150	30	

Для помещений под приемными или другими бункерами, заполняемыми холодными материалами и сообщаемыми с наружным воздухом, учитывают потерю тепла через стенки бункеров, причем заполнение бункеров принимают на 1/3 их высоты. Температуру стенок заполненной части бункеров принимают -2 , -4 и -6°C соответственно для расчетных отопительных температур наружного воздуха -20 , -30 и -40°C . Для остальной части температуру поверхности бункера при открытых надбункерных помещениях принимают равной расчетной отопительной температуре наружного воздуха и при закрытых — температуре этих помещений.

Тепловыделения, кВт, от электродвигателей дробильно-помольного оборудования

$$Q = 0,1N, \quad (7.23)$$

где N — установочная мощность одновременно работающего оборудования, кВт.

В холодный период года тепловой баланс помещений отрицательный. В течение круглого года приточный воздух подается в помещение из расчета полной компенсации всего объема воздуха, аспирируемого из мест пыления. Применение рециркуляции воздуха в рабочее время не допускается.

Приточный воздух рекомендуется подавать в верхнюю зону помещений рассредоточенно с малыми скоростями. В цехах дробления и помола можно использовать перфорированные воздуховоды или эжекционные панели. Воздухораспределительные устройства размещают так, чтобы исключить взметывание пыли, оседающей на строительные конструкции и оборудование, с которых ее убирают мокрым способом или системой пневмоуборки. При наличии постоянных рабочих мест в помещениях с постоянно влажными полами часть приточного воздуха целесообразно подавать в рабочую зону на высоте 2 м от пола со скоростью не более 1 м/с.

Приточный воздух, помимо нагрева в холодный период года, следует очищать в воздушных фильтрах. Для приточных систем большой производительности (более 500 тыс. м³/ч) целесообразно рассматривать вариант установки центральной приточной станции с воздухозабором, вынесенным в зону наименьшего загрязнения атмосферы. При таком решении очистка приточного воздуха может быть исключена.

7.8. ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕХИ

Местные отсосы в деревообрабатывающих цехах устраивают от станков обработки древесины, сушильных устройств и оборудования отделки. Расходы отсасываемого воздуха принимают по расчету, по паспортным данным станков или по аналогии с данными, приведенными в табл. 7.28.

Местные отсосы (приемники) для улавливания отходов встраивают в конструкцию деревообрабатывающих станков. В большинстве случаев они служат ограждением движущихся частей станка. В месте расположения станков предусматривают напольные отсосы постоянного или периодического действия. Все отсосы присоединяют к системам пневмотранспорта.

В кустовых системах (рис. 7.17, а) устраивают коллектор-сборник, к которому подключают ответвления от станков. Эти системы могут обслуживать группу станков независимо от места их расположения и допускают присоединение дополнительных станков.

Наиболее универсальной является система с магистральным горизонтальным коллектором постоянного сечения, к которому по всей длине подключаются воздуховоды от приемников станков (рис. 7.17, б). Основное преимущество системы — возможность без коренных переделок и без ухудшения ее работы изменять месторасположение станков, включать дополнительные и отключать часть станков. Магистральный коллектор собирают из отдельных секций по чертежам серии ОВ-02-156. Длину коллектора следует принимать не более 70 м.

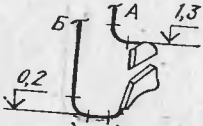
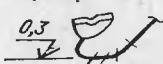
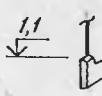
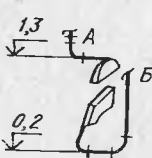
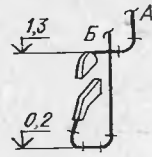
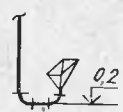
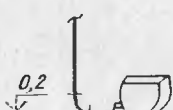
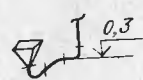
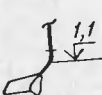
Воздуховоды систем пневмотранспорта должны быть герметичными. Радиус закругления отводов составляет не менее 2—3 диаметров воздуховода. Для очистки воздуховодов от стружки, опилок и пыли предусматривают герметично закрывающиеся люки.

От древесных отходов воздух очищают в циклонах, размещаемых на расстоянии 10—15 м от здания или в непосредственной близости от него, если исключается попадание пыли внутрь здания через световые или иные проемы. Рекомендуется устанавливать циклоны на линии всасывания вентилятора, используя для этого циклоны УЦ-38 Гипродревпрома. В качестве побудителей движения воздуха применяют центробежные пылевые вентиляторы ЦП7-40.

В столярно-сборочном отделении от фиксированных источников выделения паров (в процессе производства клеевых работ) устраивают местные отсосы. Над разгрузочными воротами сушильных камер предусматривают установку вытяжных зонтов. Скорость движения воздуха в сечении зонта должна быть не менее 0,8 м/с. При отделке деревянных изделий применяют местные отсосы от кабин для пульверизационного нанесения лака, грунтовок и шпатлевки. При окраске изделий воздух удаляют местными отсосами от верстаков, укрытий, стеллажей и сушильных камер.

В станочном отделении общеобменную вентиляцию определяют с учетом работы

Таблица 7.28. Характеристика отсасывающих устройств к деревообделочным станкам [7]

Станок	Схема воздуховодов	Геометрическая длина воздуховода, м, до вертикального участка	Минимальная скорость, м/с, в воздуховодах при влажности менее 20 %	Минимальное количество отсасываемого воздуха, м³/ч	Коэффициент местного сопротивления входа
Круглопильный с автоподачей ЦА-2 ($d_n=450$ мм)		A-1 Б-1,8	15	720	1
Торцовочный с автоподачей ЦПА-2, ЦПА ($d_n=400$ мм)		1,2	15	840	1
Прирезной с гусеничной подачей ЦДК4-2 ($d_n=400$ мм)		0,5	15	840	1
Двойной обрезной ЦД-4 ($d_n=550$ мм)		A-0,5 Б-2	15	720	1
Круглопильный продольной распиловки короткомера ЦДТ-5 ($d_n=1000$ мм)		A-0,5 Б-2,2	15	720	1
Универсальный УН ($d_n=400$ мм)		0,8	15	840	1
Многопильный ЦД-5 ($d_n=300$ мм)		2	15	1500	1
Ленточнопильный ЛС-80-3, ЛС-80-4, ЛС-40 ($d_n=50$ мм)		1,6	15	1200	0,8
Фуговальный с механической подачей СФК-Б, СФБ-Г ($b_m=630$ мм)		2,3	17	1500	0,8
Рейсмусовый СРБ-2 ($b_m=600$ мм)		0,8	17	1320	0,8

Станок	Схема воздухопроводов	Геометрическая длина воздухопровода, м, до вертикального участка	Минимальная скорость, м/с, в воздухопроводах при влажности менее 20 %	Минимальное количество отсасываемого воздуха, м³/ч	Коэффициент местного сопротивления входа
Строгальный универсальный четырехсторонний С-26 ($b_m = 260$ мм)		A—1,8 Б—0,5 В, Г—0,6 Д—1,4	18	A, Б, Д—1500 В, Г—1080	0,8
Фрезерный карусельный Ф-2ВК и фрезерный двухшпиндельный Ф-2-4		0,8	17	840	0,8
Шипорезный ШО10А, ШО15А, ШО10А-1, ШО15А-1		A—0,5 Б, В—0,8	A, Б—15 В—17	A—720 Б—840 В—2200	A, Б—1 В—0,8
Шипорезный двусторонний автомат Ш2ПА и Ш2ПА-2		A, Б—0,6 В—1,8 Г—2,2	A, Б—17 В, Г—14	A, Б—1200 В, Г—720	0,8
Шлифовальный ленточный с подвижным столом ШЛПС ($b_d = 150$ мм)		1	14	1500	1
Токарный по дереву ТВ-63		0,5	17	1080	0,8
Круглопалочный КПА-50, КПА-20		A—0,4 Б—1,2	17	A—7200 Б—600	0,8

Примечания. 1. Минимальную скорость в воздухопроводах при влажности древесных отходов более 20% следует увеличивать на 1 м/с. 2. А, Б, В, Г, Д — отдельные местные отсосы. 3. d_p — диаметр пилы; b_m — ширина материала; b_d — ширина ленты.

систем пневмотранспорта. При расчете теплового баланса ориентировочно принимают количество тепла, выделяемого оборудованием, 209 Вт на 1 кВт установленной мощности станков. В столярно-сборочном отделении воздухообмен определяют с учетом вредных веществ, выделяющихся при клеевых работах.

Общеобменную вытяжку из станочного и столярно-сборочного отделений производят из верхней зоны. Приточный воздух в эти отделения подают системой с механическим побуждением в верхнюю зону с малыми скоростями, для чего используют перфорированные воздуховоды типа ВПК и эжекционные потолочные воздухораспределители типа ВЭП. В теплый период года поступление приточного воздуха допускается через открывающиеся фрамуги окон.

В остывочном отделении предусматривают общеобменную вентиляцию из расчета 30 м^3 воздуха на 1 кг пара, расходуемого в час в сушильной камере, но не менее 5-кратного обмена в час. Вытяжка производится через зонты сушильных камер и из верхней зоны через дефлекторы или шахты. Приточный воздух в остывочное отделение подается в верхнюю зону в объеме вытяжки.

Общеобменную вентиляцию отделений отделки следует предусматривать аналогично окрасочным цехам (§ 7.4).

При проектировании отопительно-вентиляционных устройств следует руководствоваться противопожарными нормами, основные требования которых изложены в § 7.4. По взрывопожарной опасности технологические процессы в помещениях отделки относятся к категории А. Для остальных помещений, технологические процессы которых связаны с хранением и обработкой древесины, устанавливается категория В.

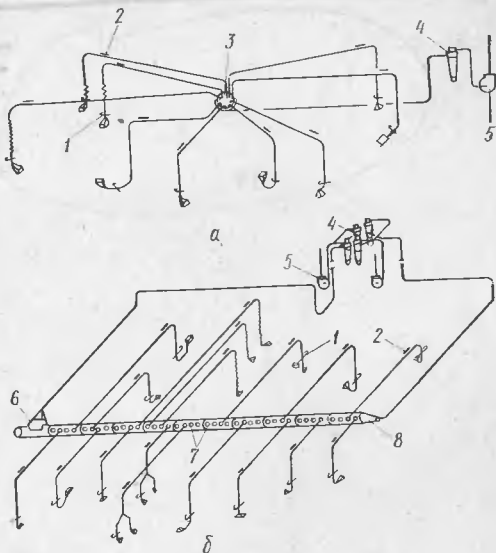


Рис. 7.17. Системы пневмотранспорта:

а — кустовая с коллектором-сборником; б — универсальная с магистральным горизонтальным коллектором; 1 — косой шибер; 2 — люк для чистки воздуховода; 3 — коллектор-сборник; 4 — циклон; 5 — вентилятор; 6 — секция отбора воздуха; 7 — штуцеры с заглушкой для присоединения воздуховодов местных отсосов; 8 — секция сброса отходов с транспортера.

7.9. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЦЕХИ

Местные отсосы в цехах механической обработки металла предусматривают от шлифовальных, заточных и обдирочных станков без охлаждения кругов, а также от резьбо-, зубо- и ленточношлифовальных станков с масляным охлаждением (серия 4.904-4, вып. 1). Расход воздуха, отсасываемого от кожухов, должен соответствовать расчетному (см. гл. 5).

При механической обработке чугуна, бронзы, латуни и хрупких материалов рекомендуется устройство пневмотранспорта. Воздух, удаляемый системой пневмоуборки, перед выбросом очищают в мокрых пылеуловителях или в матерчатых фильтрах.

От отдельно расположенных станков воздух удаляют и очищают индивидуальными агрегатами ПА2-12, ПА3-12, АЭ2-12, АЭ3-12 и ВЦНИИОТ (гл. 11).

При технологической компоновке цехов оборудование, предназначенное для обработки пластических и других пылеобразующих материалов, размещают на отдельном участке по возможности в изолированном помещении.

Общеобменную вентиляцию в теплый период года рассчитывают с учетом избытков тепла, а в переходный и холодный — с учетом выделения влаги, аэрозолей масла и эмульсола (табл. 7.29). В помещениях для приготовления эмульсии количество вредных выделений на 1 т эмульсии, приготовляемой в баках-мешалках, составляет: тепла — 2270 Вт, аэрозолей эмульсола — 1,435 г/ч и паров воды — 2800 г/ч. При этом ПДК аэрозолей масла — 10 мг/м^3 и аэрозолей эмульсола — 5 мг/м^3 .

Таблица 7.29. Вредные выделения при работе металлорежущих станков [59]

Оборудование	Количество выделений на 1 кВт установочной мощности			
	тепла, Вт	аэрозолей масла, г/ч	аэрозолей эмульсола, г/ч	паров воды, г/ч
Металлорежущие, шлифовальные и заточные станки без охлаждения режущего инструмента	250	—	—	—
Металлорежущие станки с масляным охлаждением	250	0,2	—	—
Металлорежущие станки с эмульсионным охлаждением режущего инструмента	150	—	0,0063	150
Шлифовальные станки с охлаждением кругов эмульсией и содовым раствором	150	—	0,165	150
Шлифовальные и заточные станки с охлаждением кругов маслом	250	30	—	—

В механосборочных цехах, где расчетный воздухообмен по вредным выделениям не превышает одного обмена в час, устраивают вентиляцию с однократным обменом.

Вытяжную вентиляцию можно предусматривать естественной во всех случаях с использованием фонарей, дефлекторов, шахт. При невозможности устройства естественной вентиляции воздух из верхней зоны удаляют крышными вентиляторами.

В теплый период года целесообразно применять адиабатное охлаждение приточного воздуха, что при определенных климатических условиях значительно сокращает требуемый воздухообмен.

Приточные системы механического цеха проектируют совмещенными с воздушным отоплением. Воздух подают в рабочую зону на уровне не более 4 м от пола горизонтальными струями или на уровне не более 6 м струями, направленными вертикально вниз. Рекомендуется применять приколониные воздухораспределители типа НРВ. В цехах небольшой высоты (до 6 м) воздух подают рассредоточенно в верхнюю зону потолочными воздухораспределителями или воздуховодами равномерной раздачи.

В помещениях шлифовальных и заточных станков без охлаждения кругов, а также в помещениях, где обрабатываются материалы с выделением пыли, приточный воздух подают рассредоточенно с малыми скоростями. Этим условиям удовлетворяют эжекционные воздухораспределители типа ВЭПш.

В термоконстантных помещениях [41, 42], где точность поддержания температуры воздуха требуется $\pm 0,5$ или $\pm 0,2^\circ\text{C}$, предусматривают кондиционирование воздуха. Воздухообмен помещений рассчитывают с учетом выделения аэрозолей масла и эмульсола (см. табл. 7.29), а также из расчета выделения на 1 кВт установочной мощности 350 и 220 Вт тепла для станков, соответственно работающих без охлаждения и с жидкостным охлаждением режущего инструмента, и 180 г/ч влаги — для станков с эмульсионным охлаждением режущего инструмента.

Воздух подают в верхнюю зону помещения, теплозащитные коридоры и технические этажи. Удаляют его общеобменной вытяжной вентиляцией. На рециркуляцию воздух забирают из технических этажей, а также из верхней зоны помещений, где точность поддержания температуры воздуха требуется $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и менее, из нижней зоны через подполье — в помещениях с точностью поддержания температуры $\pm 0,2^\circ\text{C}$ и из теплозащитных коридоров. Температура воздуха технического этажа может быть принята на 3°C выше температуры обслуживаемого помещения.

В термоконстантных помещениях обеспечивают подпор с перетеканием воздуха в смежные помещения или наружу со скоростью в проемах не менее 1 м/с.

Для термоконстантных помещений с равномерными тепловыделениями и требованиями к поддержанию системами авторегулирования статической точности регулирования $\pm 0,1^\circ\text{C}$ необходимую минимальную кратность воздухообмена помещения, k , ч^{-1} , определяют расчетом (табл. 7.30). При этом учитывают схему воздухообмена, теплонапряженность q , Вт/м^3 , и расчетную величину стандартного отклоне-

Таблица 7.30. Расчетные формулы для определения кратности воздухообмена в термоконстантных помещениях [41]

Способ подачи приточного воздуха в верхнюю зону	Способ вытяжки	Расчетная формула	Дополнительные условия
Потолочными всерными воздухораспределителями	Из нижней зоны	$k = \left(\frac{0,119q}{\sigma_t^p} \right)^{1,67}$	Площадь помещения, обслуживаемая одним воздухораспределителем, — не более 50 м ²
Горизонтальными компактными струями	Из верхней зоны	$k = \left(\frac{0,097q}{\sigma_t^p} \right)^{1,67}$	Площадь поперечного сечения помещения, обслуживаемая одной струей, — не более 300 м ²
То же, плоскими	Из нижней зоны	$k = \left(\frac{0,069q}{\sigma_t^p} \right)^{1,67}$	Отношение длины помещения по ходу струи к его высоте — не более 2; отношение щели воздухораспределителя к ее длине — не более 10
» всерными	То же	$k = \left(\frac{0,028q}{\sigma_t^p} \right)^{1,67}$	То же

ния σ_t^p , определяемую, исходя из заданной статической точности регулирования δ , по уравнению

$$\sigma_t^p = 0,48\delta. \quad (7.24)$$

Сравнивая результаты расчетов, выполняемых для различных схем воздухообмена, выбирают воздухообмен с меньшей кратностью и вычисляют требуемую температуру приточного воздуха $t_{пр}$, °С, обеспечивающую заданную температуру в помещении $t_{р.з}$, °С:

$$t_{пр} = t_{р.з} - q / c k p, \quad (7.25)$$

где c — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); p — плотность воздуха, кг/м³.

7.10. КРУПНЫЕ БЛОКИРОВАННЫЕ КОРПУСА

Местную вытяжную вентиляцию для различных производственных процессов в крупных блокированных корпусах решают так же, как и для отдельных цехов. Воздух систем местной вытяжной и технологической вентиляции выбрасывается в атмосферу через трубы, выводимые выше аэродинамической тени. Общеобменная вытяжка может быть естественной через открывающиеся створки фонарей или механической с использованием крышных вентиляторов для кровель с зенитными фонарями без открывающихся створок.

Приточная вентиляция осуществляется установками большой производительности (120—250 тыс. м³/ч) с применением приточных камер типа 2ПК и кондиционеров типа КТЦ2. Размещение приточных установок наиболее экономично во встроенных пролетах шириной 12 или 24 м над вспомогательными помещениями.

Размещение вентиляционного оборудования возможно также на нулевой отметке. Воздухозаборные магистральные каналы устраивают над кровлей или в пределах встроенного пролета, а также в виде подземных тоннелей (рис. 7.18). Скорость воздуха в каналах принимают 5—10 м/с с учетом конструктивных возможностей и располагаемого напора в вентиляторах. С целью обеспечения чистоты забираемого наружного воздуха целесообразно воздухозаборные устройства, соединенные между собой каналами, размещать в противоположных стенах здания. Приточный воздух распределяют с учетом воздушного баланса по каждому цеху, пролету, участку.

При подаче в корпус кондиционированного или адиабатно охлажденного воздуха рекомендуется производственные площади, на которых большая часть приточного воздуха расходуется на компенсацию местных отсосов, отделить полностью или

перегородками, не доходящими до пола, и в выгороженные зоны подавать необработанный или нагретый и очищенный наружный воздух. Для обеспечения разрежения количество подаваемого в выгороженные зоны приточного воздуха должно быть несколько меньше, чем это требуется для компенсации вытяжки [4].

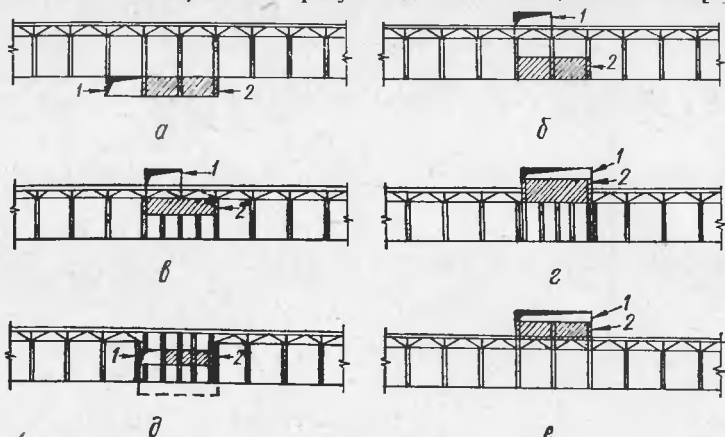


Рис. 7.18. Размещение вентиляционных камер:

а — в подвале; б — на нулевой отметке; в — на антресолях; г — в специальной встройке; д — во встройке совместно с вспомогательными помещениями; е — в надстройке на покрытии; 1 — воздухозаборный канал; 2 — вентиляционные камеры.

Способ раздачи приточного воздуха выбирают отдельно для каждого из цехов, входящих в состав блокированного корпуса, согласно рекомендациям для проектирования (§ 7.1—7.9, гл. 3).

ЦНИИПромзданий [34] предлагает осуществлять централизацию воздухозаборов

и вентиляционного оборудования, а также бесканальную прямоточную раздачу воздуха в цех. Для воздухозабора устраивают шахты-башни, внутренний объем которых можно использовать для очистки воздуха с попутным нагревом (зимой) или охлаждением (летом) путем капельного орошения водой. При расходе воды 0,3—0,4 л на 1 м³ воздуха высота зоны контакта для достижения эффективности, свойственной воздушным фильтрам III класса, должна составлять около 5 м. Оптимальным считается воздухозабор на высоте, равной 2—3 высотам здания, но не ниже 20—30 м. В холодное время года воздух орошают теплой водой. При этом возможно использование отбросного или низкопотенциального тепла (тепло воды из систем охлаждения технологического оборудования и оборотной сетевой воды).

Централизация вентиляционного оборудования (рис. 7.19) предусматривается путем сооружения центральных воздухоприготовительных станций, оборудованных вентиляторами большой производительности шахтного типа или ЦА-100 № 20/2.

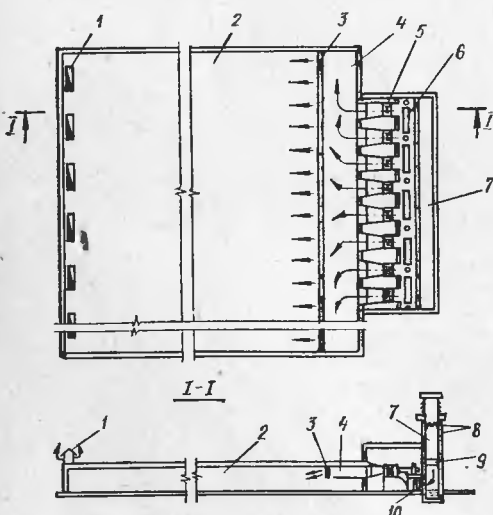


Рис. 7.19. Принципиальная схема централизованной системы вентиляции:

1 — вытяжные шахты; 2 — цех; 3 — сплошная щель; 4 — коллектор; 5 — вентиляторы; 6 — калориферы; 7 — воздухозаборная башня; 8 — форсунки; 9 — орошаемая пористая насадка; 10 — каплеуловитель.

Бесканальная прямооточная раздача воздуха решается путем заполнения всего объема цеха потоком воздуха, движущимся с небольшой скоростью от раздающего коллектора к противоположной стене. Раздающий коллектор и выпускную щель рекомендуется располагать в верхней зоне цеха, а воздух удалять через аэрационные шахты или фонари, расположенные в противоположном конце цеха. Такая раздача может применяться в зданиях без внутренних сплошных перегородок или с перегородками продольными по отношению к движению воздуха, а также при равномерном распределении источников вредных выделений по площади цеха или их сосредоточении в конце воздушного потока. Протяженность цехов $l \leq 3600 v_{\text{ср}}/k$, где $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость воздуха в помещении, м/с; k — расчетная кратность воздухообмена. Здание не должно иметь фонарей с аэрационными проемами, а также существенных неплотностей в ограждениях.

8. ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ И ОТОПИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ АГРЕГАТЫ

Для вентиляции цехов используют главным образом радиальные и осевые вентиляторы общепромышленного назначения. При выборе этих вентиляторов используют критерий быстроходности [17]

$$n_y = 53L^{1/2}\omega/p^{3/4}, \quad (8.1)$$

где L — расчетный расход воздуха, м³/с, приведенный к стандартным условиям; ω — частота вращения, рад/с; p — расчетное давление, Па.

Если критерий n_y , рассчитанный для стандартных частот вращения 75, 100, 150, 300 рад/с ($n=720, 960, 1450, 2900$ об/мин), составляет 100 и более, то предпочтительнее принять осевой вентилятор, а если $n_y < 100$ — радиальный. Можно ориентироваться также по расчетному давлению. Так, если $p > 300$ Па, то выгодно принять радиальный вентилятор.

Различают радиальные вентиляторы низкого (до 1000 Па), среднего (от 1000 до 3000 Па) и высокого давления (свыше 3000 Па).

Согласно ГОСТ 10616—73*, вентилятор характеризуется коэффициентом давления

$$\psi = p / \frac{\rho}{2} u^2, \quad (8.2)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; u — окружная скорость рабочего колеса вентилятора, м/с.

Коэффициент давления ψ для осевых вентиляторов равен 0,05—0,2, для центробежных — 0,8—2,5. Стандартные диаметры рабочих колес, мм: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50, что соответствует номерам вентиляторов.

Радиальные вентиляторы обозначают индексами, в которых первая буква Ц, которая (ее может и не быть) обозначает специфику машины, например ЦП — пылевой, первая цифра — округленное значение пятикратной величины коэффициента полного давления (например, 0,8·5=4), цифра после дефиса — критерий быстроходности.

Конструктивно вентиляторы подразделяют по видам исполнения. Кроме этого, при выборе радиального вентилятора определяют его вращение (левое или правое) и расположение спирального корпуса (рис. 8.1). При определении вращения рассматривают спираль кожуха со стороны входа воздуха в вентилятор.

Вентиляторы выполняют из различных материалов в зависимости от перемещаемой среды и параметров газов.

Стальные вентиляторы изготовляют для неагрессивных сред, не содержащих липких веществ, с температурой газов до 80 °С и содержанием пыли до 100 мг/м³. Для аспирационных систем и установок пневмотранспорта используют пылевые вентиляторы, транспортирующие газы с содержанием пыли свыше 100 мг/м³. Взрывоопасные среды перемещают вентагрегатами, выполненными в искрозащищенном исполнении. В отдельных случаях используют эжекторы. Агрессивные газы перемещают при помощи коррозионноустойчивых вентиляторов, изготовленных из нержавеющей стали, алюминия, титана или пластмасс.

Вентиляторы из титана применяют при особо агрессивных средах (влажный хлор; пары растворов хлоридов и щелочей, азотной кислоты, 20%-ной соляной кислоты при температуре до 60 °С, 20%-ной серной кислоты при температуре до 60 °С и 95%-ной при температуре до 20 °С, смеси серной и азотной кислот, органических кислот — молочной, дубильной, винной, фосфорной; влажный сернистый ангидрид без примесей тумана серной кислоты при температуре не выше 20 °С, гидрат окиси натрия). Если образуются конденсаты соляной и серной кислот, то их концентрация не должна превышать 5 % при температуре до 30 °С. Концентрация конденсата фосфорной кислоты при такой же температуре допускается не выше 30 %. Для газо-воздушных сред, содержащих пары фтористоводородной и плавиковой кислот, фтор, хлор и иод, титановые вентиляторы применять нельзя.

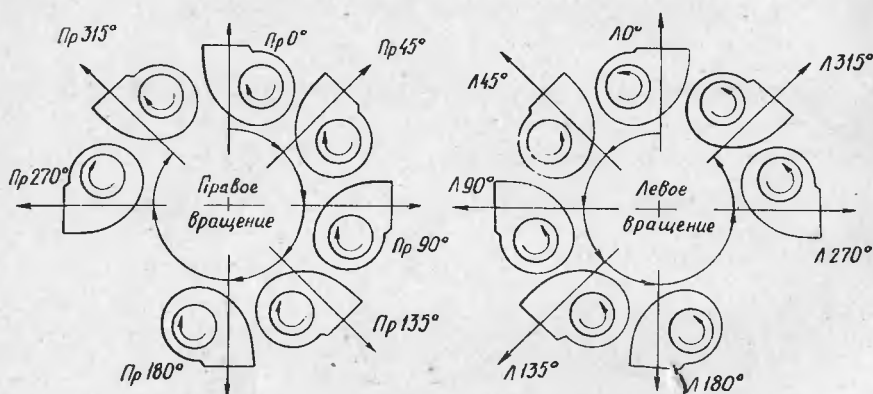


Рис. 8.1. Схемы положения кожухов вентиляторов правого (Пр) и левого (Л) вращения.

Вентиляторы из пластмасс применяют для агрессивных сред, разрушающих металл, но не воздействующих на пластмассы. Их изготавливают из винилпласта, полиэтилена, полистирола, пенопропилена и других материалов. Пластмассовые вентиляторы нельзя использовать для перемещения горючих и взрывоопасных смесей. Температура потока газов и паров должна быть не ниже -5 и не выше $+40$ °С.

Вентиляторы выбирают по их аэродинамическим характеристикам (рис. 8.2—8.13). Вентиляторы Ц4-70 и Ц4-76 общепромышленного назначения, низкого давления (табл. 8.1, 8.2) применяют для приточных и вытяжных установок с температурой воздуха до 100 °С и содержанием пыли до 150 мг/м³. В искрозащищенном исполнении вентиляторы используют для перемещения взрывоопасных газов. Характеристики искрозащищенных вентиляторов Ц4-70 и размеры их даны в табл. 8.3 и 8.4, а пластмассовых Ц4-76 — в табл. 8.5 и 8.6.

Вентиляторы Ц14-46 (табл. 8.7, 8.8) выполняют те же функции, что и Ц4-70, но при средних давлениях.

Вентиляторы В-ЦП7-40 и В-ЦП6-45 (табл. 8.9, 8.10) предназначены для создания разрежения (давления) до 3400 Па в аспирационных и пневмотранспортных системах с очисткой выбрасываемого воздуха.

Вентиляторы высокого давления типа ВВД и Ц10-28 (табл. 8.11—8.13) предназначены для перемещения газов, не содержащих липких и длиноволокнистых веществ при температуре до 100 °С и концентрации пыли до 150 мг/м³.

В аспирационных и газоочистных установках, а также в системах централизованного приготовления приточного воздуха применяются дымососы и дутьевые вентиляторы.

Радиальные крышные вентиляторы типов КЦ3-90 и КЦ4-84в (табл. 8.14, 8.15) используют для общеобменной вытяжной вентиляции, причем целесообразно подключать их к вытяжным воздуховодам. Осевые крышные вентиляторы имеют низкий КПД и не могут быть рекомендованы к использованию.

Осевые вентиляторы типа 06-300 (табл. 8.16—8.19) и В-2,3-130 (табл. 8.20) применяют для общеобменной приточно-вытяжной вентиляции.

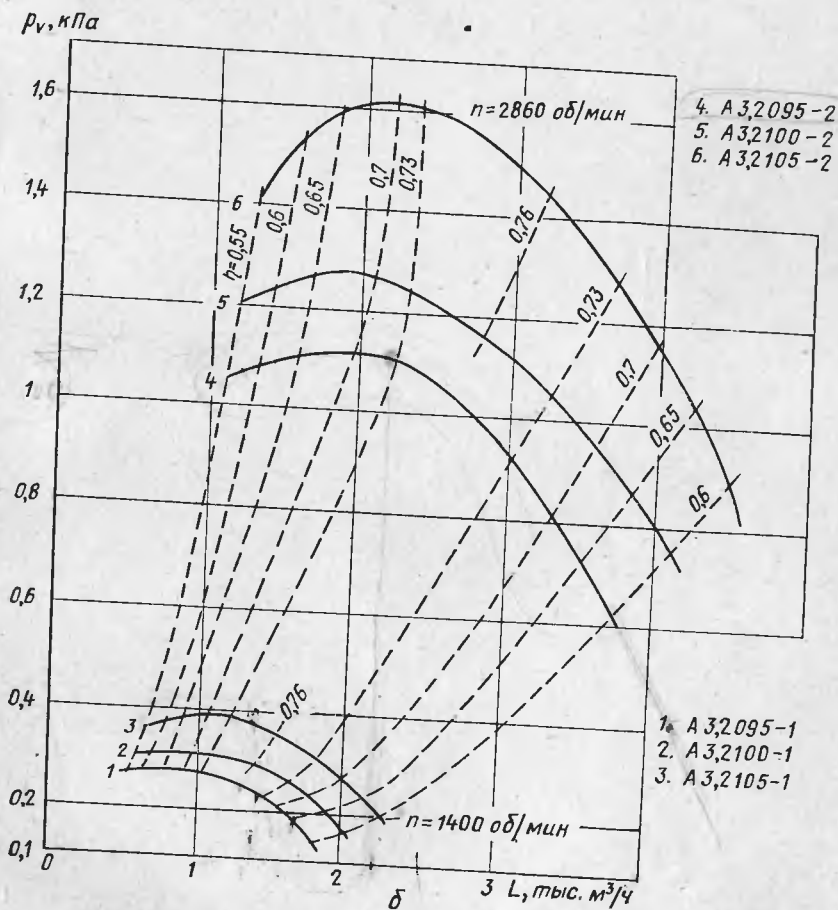
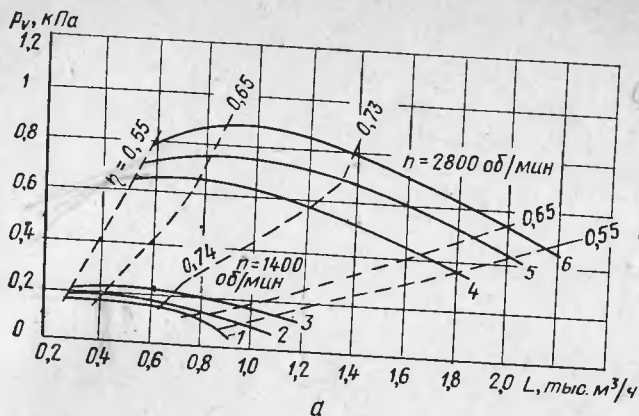


Рис. 8.2. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-70:
а — № 2,5; б — № 3,2.

$p_v, \text{кПа}$

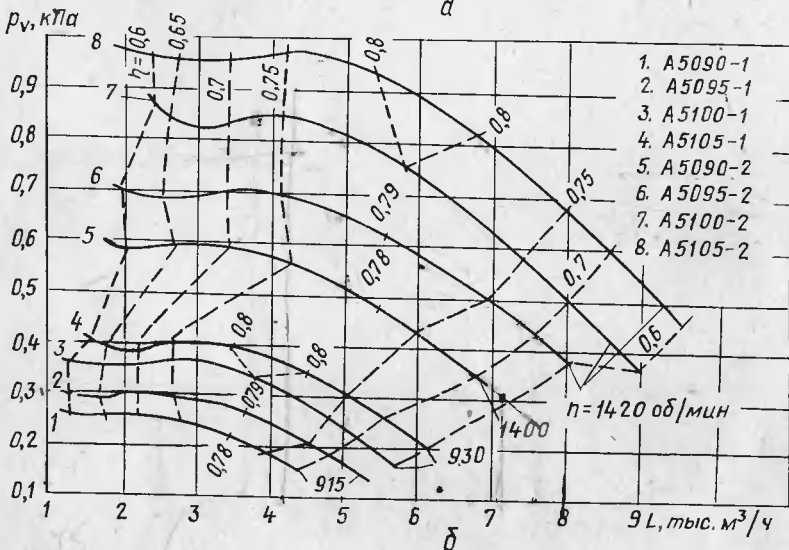
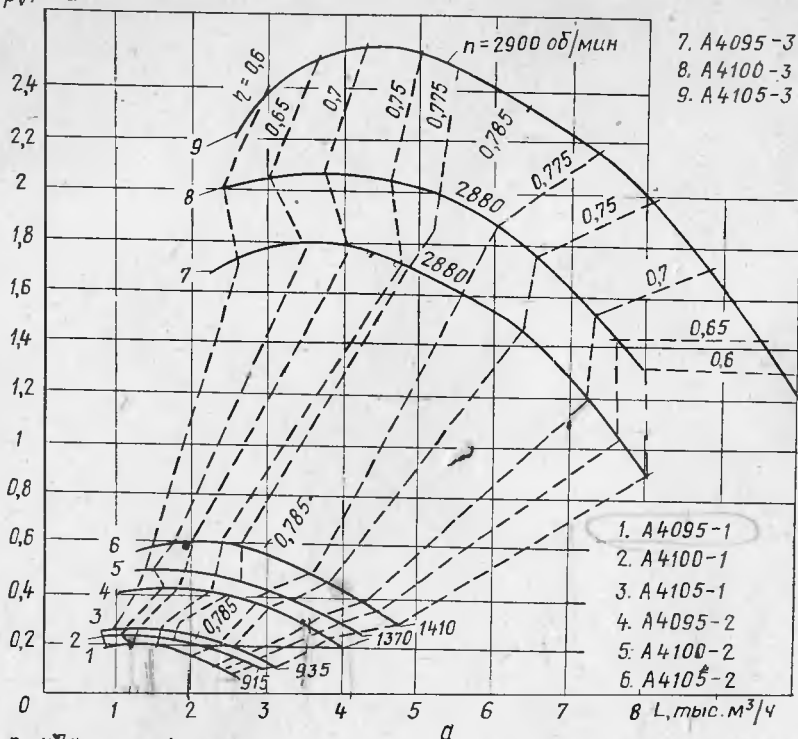


Рис. 8.3. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-70:
а — № 4; б — № 5.

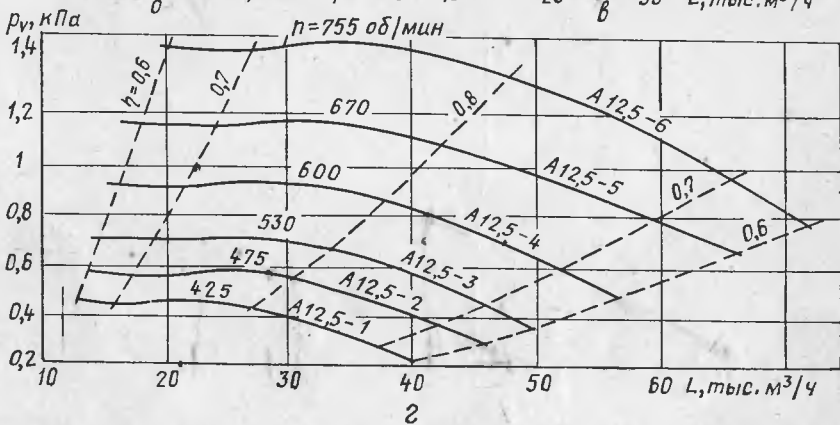
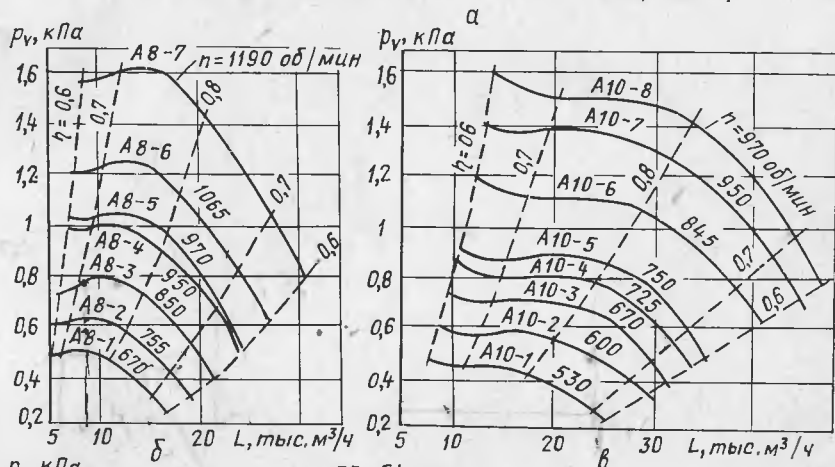
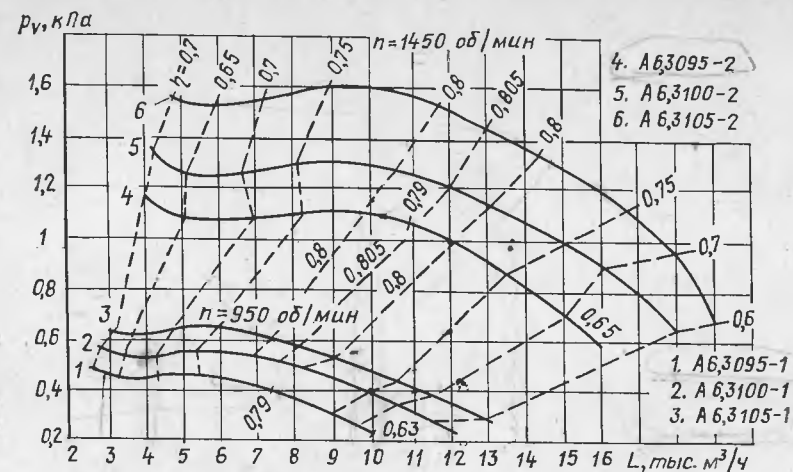


Рис. 8.4. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-70:
а — № 6,3; б — № 8; в — № 10; г — № 12,5.

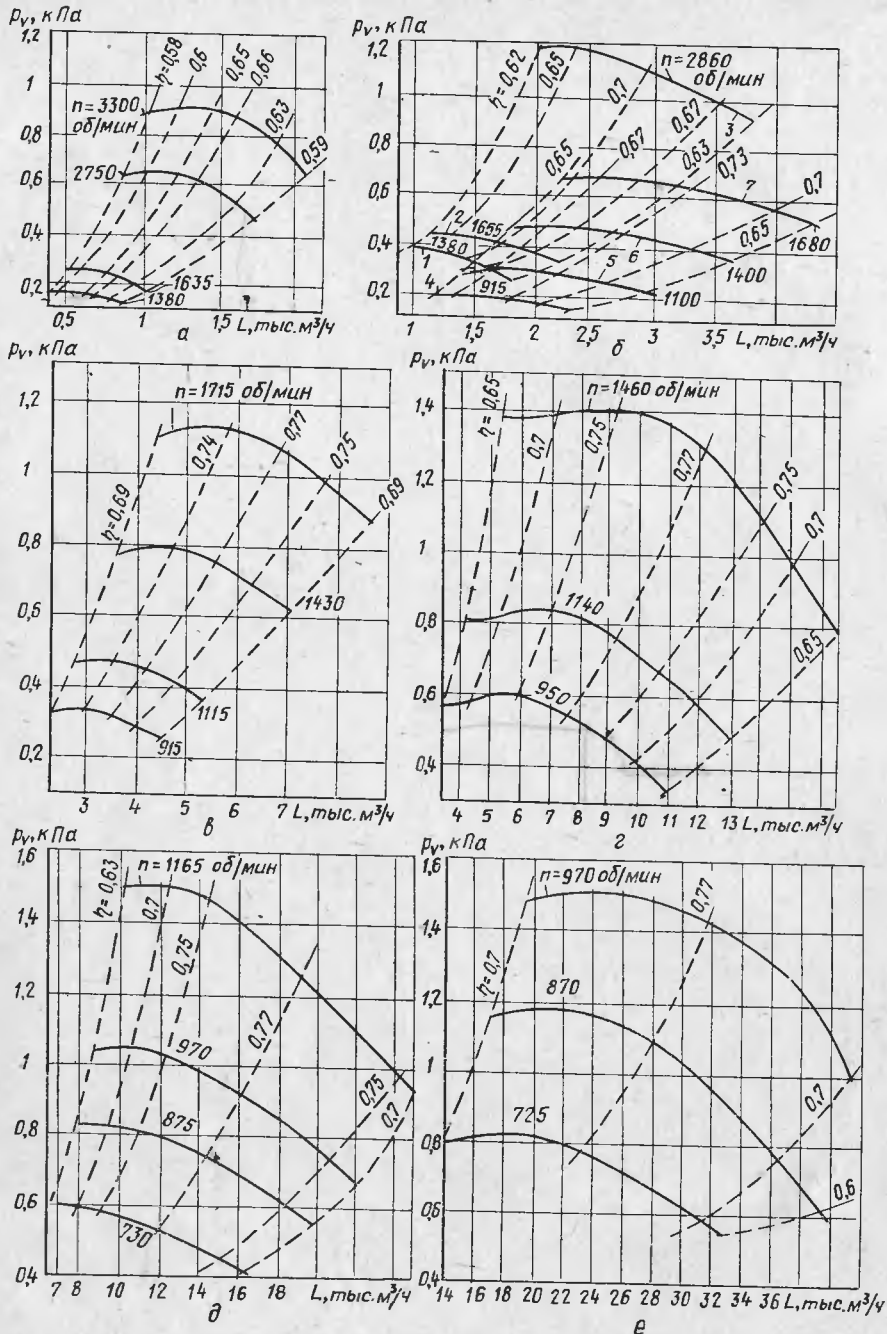


Рис. 8.5. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-70 искрозащищенного исполнения:

а — № 2,5; б — № 3,2 (1—3) и № 4 (4—7); в — № 5; г — № 6,3; д — № 8; е — № 10.

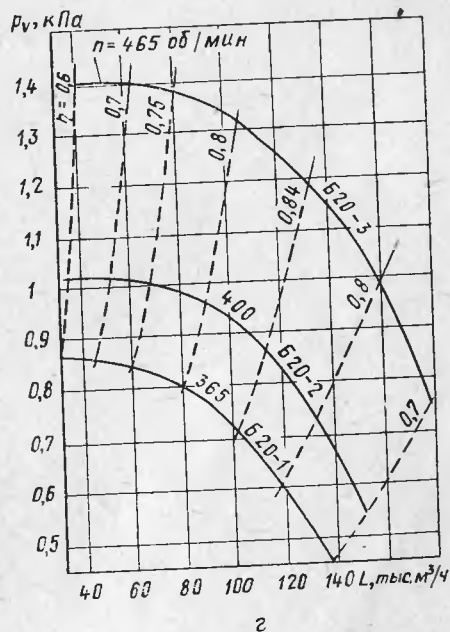
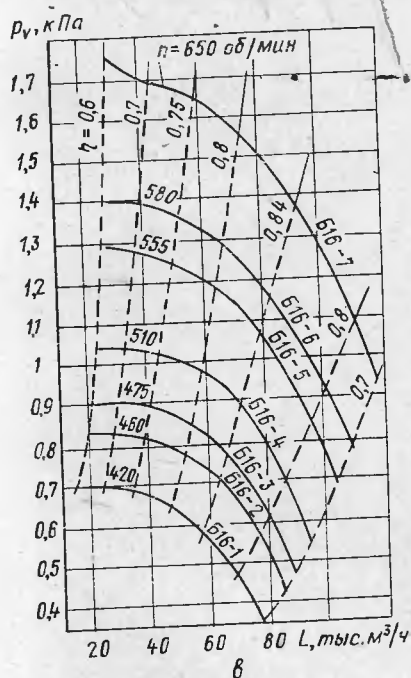
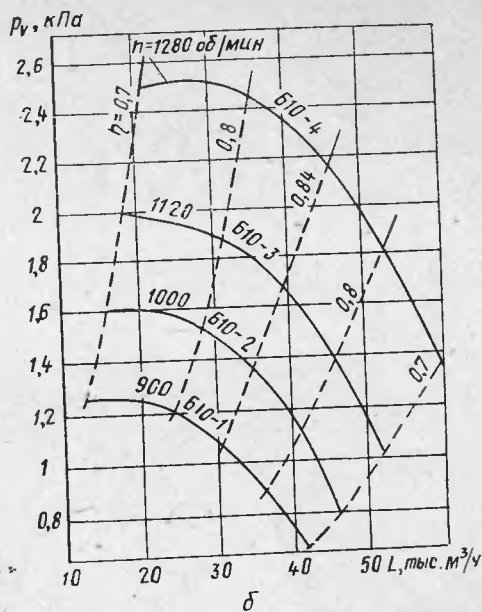
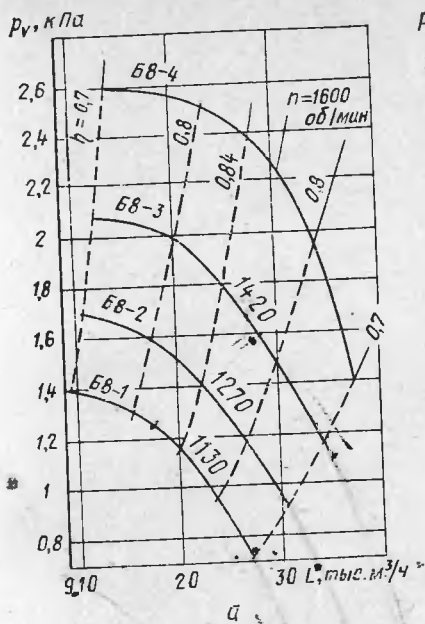


Рис. 8.6. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-76:
а — № 8; б — № 10; в — № 16; г — № 20.

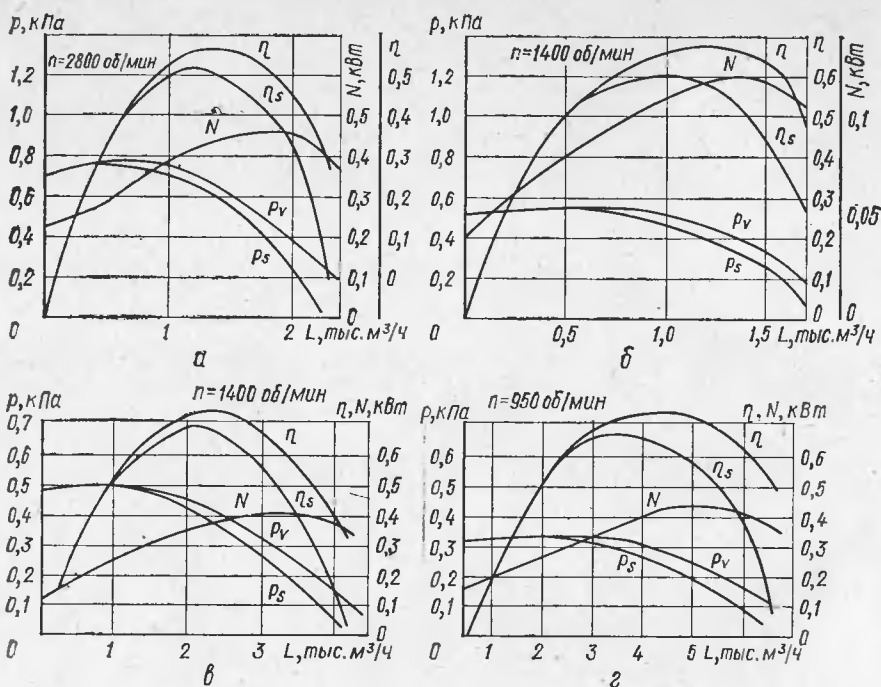


Рис. 8.7. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц4-76 пластмассовых:

а — № 2,5; б — № 3; в — № 4; г — № 5.

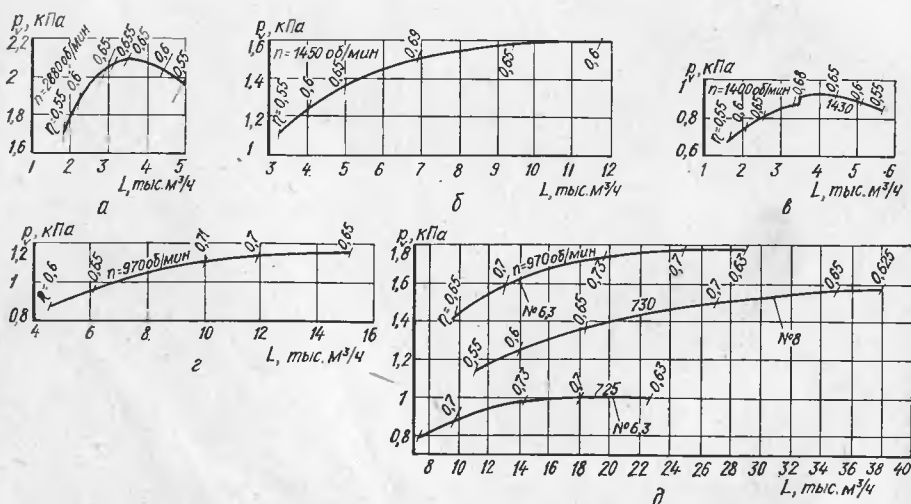


Рис. 8.8. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц14-46:

а — № 2,5; б — № 4; в — № 3,2; г — № 5; д — № 6,3 и № 8.

При подборе вентиляторов для условий, отличающихся от стандартных, следует полное давление p_p , Па, равное потере давления в сети с учетом потери динамического давления на выходе, привести к стандартному выражению

$$p_v = p_p \frac{273 + t}{273 + t_b} \cdot \frac{101,325}{B}, \quad (8.3)$$

где t и t_b — температуры газов, соответственно расчетная и нормальная, °C; B — барометрическое давление, Па.

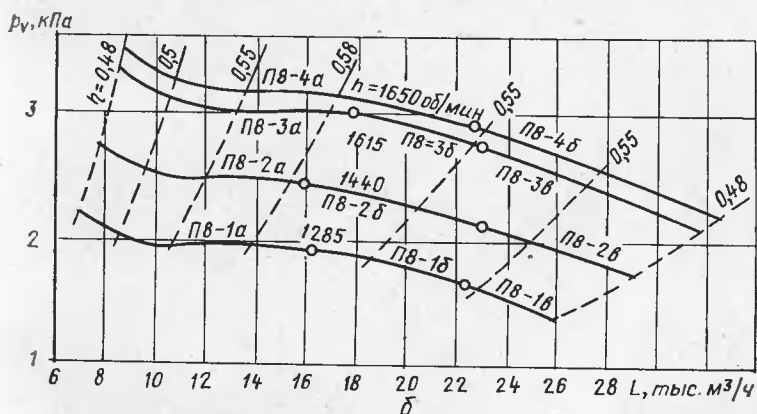
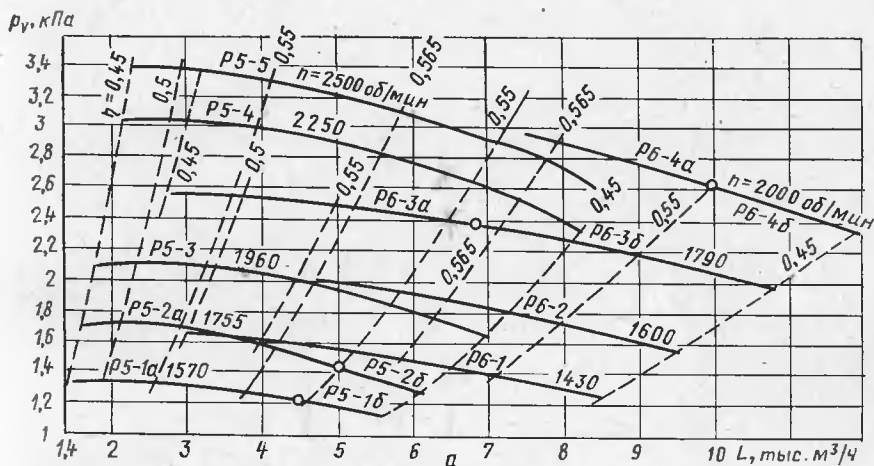


Рис. 8.9. Аэродинамическая характеристика пылевых вентиляторов:
а — В-ЦП7-40 № 5 и б — В-ЦП6-45 № 8.

Мощность на валу электродвигателя, кВт, потребляемая из сети при секундном расходе воздуха L , м³/с,

$$N = p_v L / 1000 \eta_v \eta_n, \quad (8.4)$$

где η_v — коэффициент полезного действия вентилятора; η_n — коэффициент полезного действия передачи, который принимают равным 1 при насадке рабочего колеса на вал электродвигателя, 0,98 — при соединении валов вентилятора и электродвигателя при помощи муфты, 0,95 — при клиноременной передаче и 0,9 — при передаче с помощью плоских ремней.

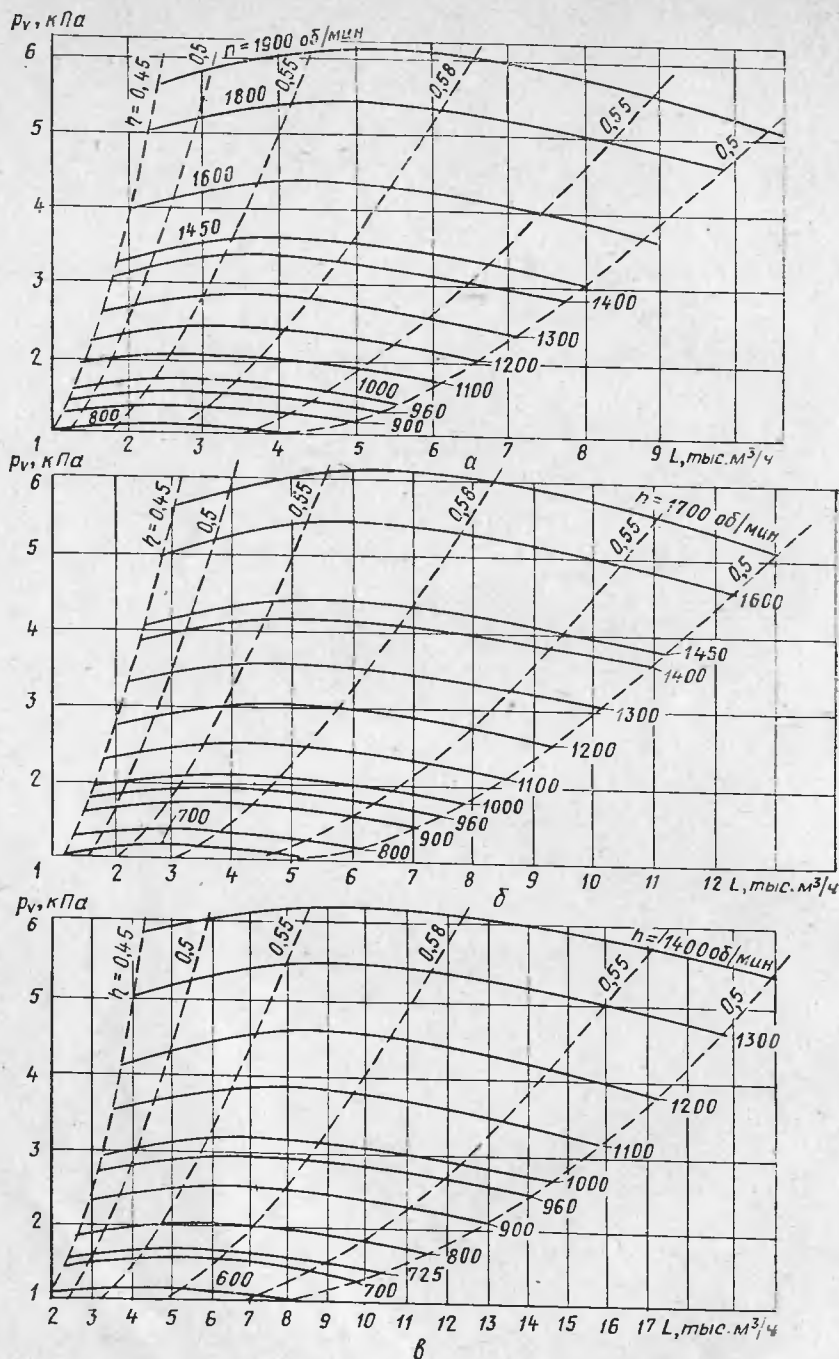


Рис. 8.10. Аэродинамическая характеристика вентиляторов ВВД:
а — № 8; б — № 9; в — № 11.

$p_v, \text{кПа}$

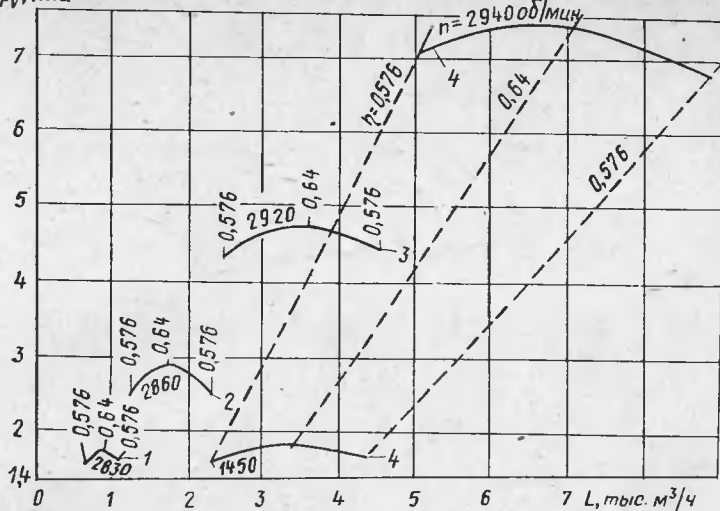


Рис. 8.11. Аэродинамическая характеристика вентиляторов Ц10-28:
1 — № 2,5; 2 — № 3,3; 3 — № 4; 4 — № 5.

$p_s, \text{Па}$

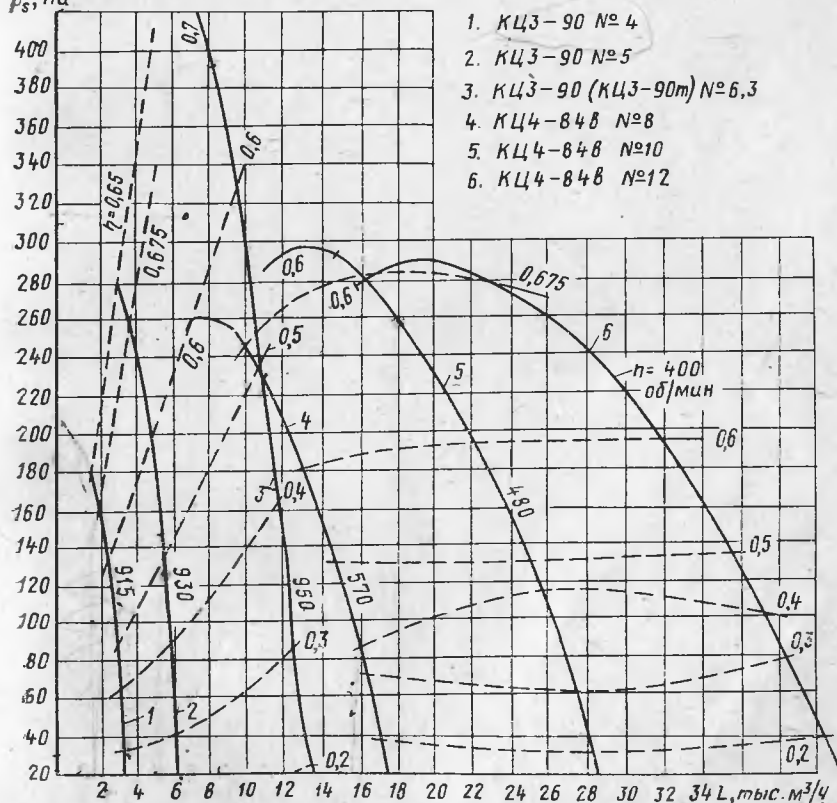


Рис. 8.12. Аэродинамическая характеристика радиальных крышных вентиляторов.

Установившуюся мощность электродвигателя определяют с учетом коэффициента запаса мощности k_3 (табл. 8.21):

$$N_y = k_3 N. \quad (8.5)$$

Принимают N_y по каталогу электродвигателей равной расчетной или ближайшей большей по отношению к ней.

При необходимости перерасчета характеристик вентилятора на другие параметры для случаев равенства КПД используют уравнения, приведенные в табл. 8.22.

При необходимости увеличения расхода вентиляторы устанавливают параллельно, а для увеличения напора — последовательно. Рекомендуется принимать однотипные вентиляторы с одинаковыми номерами. Общую производительность вентиляторов

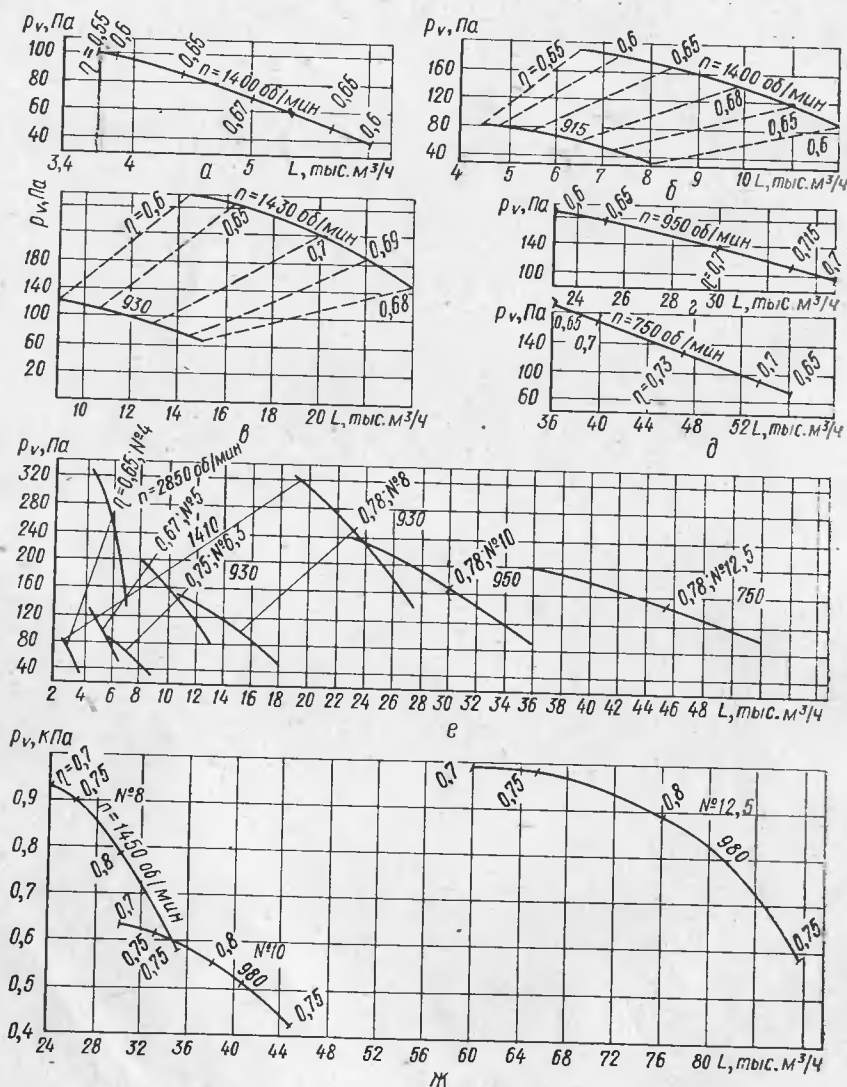


Рис. 8.13. Аэродинамическая характеристика осевых вентиляторов:

а — 06-300 искрозащитного исполнения № 5; б — то же, № 6,3; в — то же, № 8; г — то же, № 10; д — то же, № 12,5; е — 06-300 стальных; ж — В-2,3-130.

Таблица 8.1. Стальные вентиляторы Ц4-70 и Ц4-76 [7, 48]

Вентилятор		Электродвигатель			Масса вентилятора с электродвигателем, кг
Обозначение для заказа	Частота вращения, об/мин	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
Ц4-70 (исполнение 1)					
A2,5095-1	Равна частоте вращения электродвигателя	4A56A4	0,12	1370	26
A2,5095-2a		4A53B2	0,55	2810	27
A2,5095-26		4A63A2	0,37	2810	28
A2,5100-1		4A56A4	0,12	1370	26
A2,5100-2		4A63B2	0,55	2810	28
A2,5105-1		4A56A4	0,12	1370	26
A2,5105-2		4A71A2	0,75	2810	30
A3,2095-1		4A63A4	0,25	1370	42
A3,2095-2		4A80A2	1,5	2860	45
A3,2100-1		4A63A4	0,25	1370	42
A3,2100-2a		4A80B2	2,2	2860	58
A3,2100-26		4A80A2	1,5	2860	59
A3,2105-1		4A63B4	0,37	1370	42
A3,2105-2		4A80B2	2,2	2860	57
A4095-1		4A71A6	0,37	920	84
A4095-2		4A7A4	0,55	1370	86
A4095-3		4A100SA2	4	2880	113
A4100-1		4A71A6	0,37	920	85
A4100-2		4A71B4	0,75	1370	89
A4100-3		4A100LB2	5,5	2880	112
A4105-1		4A71A6	0,37	920	85
A4105-2		4A80A4	1,1	1400	83
A4105-3		4A112MA2	7,5	2900	116
A5090-1		4A71B6	0,55	920	111
A5090-2		4A80B4	1,5	1400	117
A5095-1		4A71B6	0,55	920	112
A5095-2a		4A90LA4	2,2	1420	113
A5095-26		4A80B4	1,5	1400	118
A5100-1		4A80A6	0,75	930	120
A5100-2a		4A90LA4	2,2	1420	114
A5100-26		4A80B4	1,5	1400	118
A5105-1		4A80A6	0,75	930	120
A5105-2a		4A100SA4	3	1425	124
A5105-26		4A90LA4	3,2	1420	115
A6,3095-1		4A90LA6	1,5	930	177
A6,3095-2a		4A112MA4	5,5	1450	203
A6,3095-26		4A100LB4	4	1425	197
A6,3100-1		4A100LB6	2,2	930	199
A6,3100-2a		4A132S4	7,5	1450	281
A6,3100-26		4A112MA4	5,5	1450	207
A6,3105-1		4A100LB6	2,2	930	197
A6,3105-2		4A132S4	7,5	1450	258
A8-5a		4A132M6	7,5	960	359
A8-56		4A132S6	5,5	960	356
A10-4		4A160M8	11	725	652
A10-8		4A180M6	18,5	980	684
		4A200M6	22	980	769
Ц4-70 (исполнение 6)					
A8-1	670	4A112MA6	3	950	554
A8-2	755	4A112MB6	4	950	550
A8-3	850	4A132S6	5,5	960	575
A8-4	950	4A132M6	7,5	960	588
A8-6	1065	4A160S6	11	970	612
A8-7; A8-7a	1190	4A160M6	15	970	625

Вентилятор		Электродвигатель			Масса вентилятора с электродвигателем, кг
Обозначение для заказа	Частота вращения, об/мин	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
A8-76	1190	4A160S6	11	970	597
A10-1	530	4A112MB6	4	950	867
A10-2	600	4A112S6	5,5	960	807
A10-3	670	4A132M6	7,5	960	818
A10-5	750	4A160SB	11	970	840
A10-6	845	4A160M6	15	970	838
A10-7	950	4A180M6	18,5	980	849
A12,5-1	425	4A132S6	5,5	960	1269
A12,5-2	475	4A132M6	7,5	960	1280
A12,5-3	530	4A160S6	11	970	1302
A12,5-4	600	4A160M6	15	970	1300
A12,5-5; A12,5-5a	670	4A200M6	22	980	1396
A12,5-56	670	4A180M6	18,5	980	1370
A12,5-6	775	4A200L6	30	980	1370

Ц4-76 (исполнение 6)

B8-1	1130	4A132M4	11	1450	633
B8-2	1270	4A160S4	15	1450	642
B8-3	1420	4A180S4	22	1470	647
B8-4	1600	4A180M4	30	1470	769
B10-1	900	4A160M4	18,5	1450	977
B10-2	1000	4A180SA	22	1470	1017
B10-3	1120	4A180M4	30	1470	1037
B10-4	1280	4A200L4	45	1475	1188
B16-1	420	4A180M6	18,5	980	2319
B16-2	460	4A180M6	18,5	980	2322
B16-3; B16-3a	475	4A200M6	22	980	2407
B16-36	475	4A180M6	18,5	980	2322
B16-4; B16-4a	510	4A200L6	30	980	2456
B16-46	510	4A200M6	22	980	2431
B16-5	555	4A225M6	37	980	2443
B16-6	580	4A225M6	37	980	2560
B16-7; B16-7a	650	4A250M6	55	985	2610
B16-76	650	4A250S6	45	985	2570
B20-1	365	4A200L6	30	980	4100
B20-2; B20-2a	400	4A250S6	45	985	4245
B20-26	400	4A225M6	37	980	4150
B20-3	465	4A250M6	55	985	4270

Примечание. В обозначении для заказа дано: А — принадлежность к Ц4-70, Б — к Ц4-76; первая цифра — номер вентилятора (2,5; 3,2; 5,..., 20); вторая цифра — процент номинального диаметра вентилятора (95—95%, 100—100%, 105—105%); цифра после дефиса — номер аэродинамической характеристики вентилятора.

и их давление определяют путем построения общей аэродинамической характеристики B_{1+2} вентиляторов и установления точки пересечения ее с аэродинамической характеристикой сети.

Если режим движения воздуха турбулентный, то для построения аэродинамической характеристики сети определяют ее аэродинамическое сопротивление:

$$R_c = p_c / L_c^2, \quad (8.6)$$

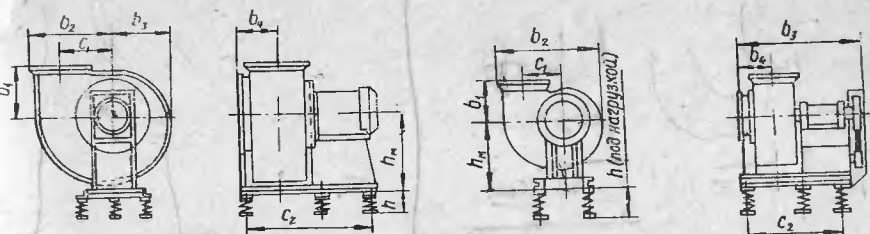
где p_c — потеря давления в системе, Па; L_c — общий расход воздуха системы, м³/с.

Задавая расходами L_c и используя численное значение R_c , рассчитывают p_c . По полученным координатам в системе $p - L$ строят квадратичную параболу, являющуюся аэродинамической характеристикой системы.

а б л и ц а 8.2. Размеры, мм, вентиляторов в Ц4-70 и Ц4-76 [7, 48]

Исполнение 1

Исполнение 6



Номер вентилято- ра	h_M	h	b_1	b_2	b_3	b_4	c_1	c_2	Вибронизолятор
------------------------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------------

Ц4-70 (исполнение 1)

2,5	325	68	197	280	200	155	163	400	ДО38
3,2	390	66	240	346	256	179	208	560	ДО38
4	512	76	300	427	315	207	260	650	ДО39
5	582	98	360	527	392	242	326	730	ДО40
6,3	748	110	430	657	489	288	410	900	ДО41
8	930	130	530	842	618	362	520	1200	ДО42
10	1100	130	643	1042	768	435	650	1250	В.76a10.00.020

Ц4-70 (исполнение 6)

8	1000	145	530	1457	1415	386	520	1100	ДО43
10	1170	172	656	1807	1620	454	650	1260	ДО44
12,5	1540	213	815	2245	1967	543,5	812,5	1535	ДО45

Ц4-76 (исполнение 6)

8	1005	130	540	1580	1450	370	560	950	В.76a10.00.020
10	1250	130	670	1960	1792	462	698	1200	В.76a10.00.020
16	1407	180	837	3832	2605	645	1120	2375	00.42.40
20	1857	180	883	4188	3085	800	1400	2883	00.42.40

Т а б л и ц а 8.3. Искрозащищенные вентиляторы Ц4-70 (исполнение 1) [7, 8]

Номер вентилято- ра	Электродвигатель			Номер вентилято- ра	Электродвигатель		
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин		Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин
2,5	B63A4	0,25	1400	6,3	B100L6	2,2	950
	B63B2	0,55	2890		B132S4	7,5	1460
3,2	B63A4	0,25	1400	8	B132S8	4	710
	B80B2	2,2	2890		B132M6	7,5	960
4	B71A6	0,37	915	10	B160M8	11	730
	B71B4	0,75	1400		B200M6	22	980
5	B80A6	0,75	930				
	B90L4	2,2	1400				

Примечание. Вентиляторы изготовляют в исполнении по искрозащите И1-01, т. е. с повышенной защитой от искробразования (ТУ 22-3410-75).

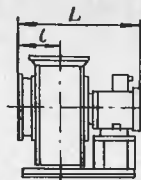
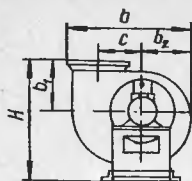


Таблица 8.4. Размеры, мм, искрозащищенных вентиляторов Ц4-70 (исполнение 1) [7, 8]

Номер вентилятора	H	L	b	b ₁	b ₂	c	l
2,5	545	554	481	197	204	162,5	156,5
3,2	630	726	603	240	256	208	181
4	761	782	743	291	316	260	210
5	936	838	918	354	391	325	246,5
6,3	1195	1090	1146	435	486	409,5	290,5
8	1461	1282	1453	531	611	520	388
10	1826	1475	1807	656	765	650	454

Таблица 8.5. Пластмассовые вентиляторы Ц4-76 (исполнение 1) [7]

Номер вентилятора	Электродвигатель			Номер вентилятора	Электродвигатель		
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин		Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин
2,5	4A71A2	0,75	2810	4	4A80A4	1,1	1410
3	4AA63A4	0,25	1380	5	4A90LA6	1,5	935

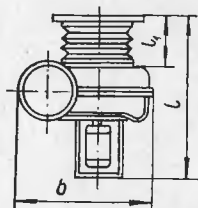
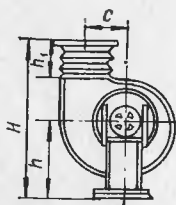


Таблица 8.6. Размеры, мм пластмассовых вентиляторов Ц4-76 (исполнение 1) [7]

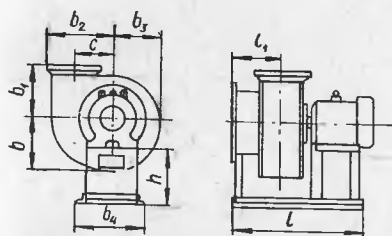
Номер вентилятора	H	h	h ₁	b	c	l	l ₁
2,5	680	350	155	570	175	590	135
3	810	430	155	634	210	640	135
4	1048	540	200	830	280	852	200
5	1275	690	215	1020	350	1050	190

Таблица 8.7. Вентиляторы Ц14-46 (исполнение 1) [7]

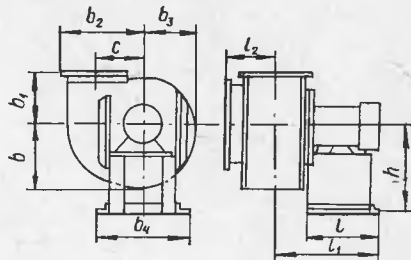
Номер вентилятора	Электродвигатель			Масса без электродвигателя, кг	Номер вентилятора	Электродвигатель			Масса без электродвигателя, кг
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин			Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
2,5	4A90LA2	3	2860	27	5	4A132M4	11	1450	70
	4A100SA4	4	2880	27		4A160S4	15	1470	70
	4A100LB2	5,5	2880	27		4A160M4	18,5	1470	70
3,2	4A80A4	1,1	1410	38	6,3	4A132M6	7,5	960	120
	4A80B4	1,5	1410	38		4A160S6	11	975	120
	4A90LA4	2,2	1420	38		4A160M6	15	975	120
4	4A100LB4	4	1425	55	8	4A180M6	18,5	980	120
	4A112MA4	5,5	1450	55		4A200M6	22	980	120
	4A132S4	7,5	1450	55		4A200L6	30	980	200

Таблица 8.8. Размеры, мм, вентиляторов типа Ц14-46 (исполнение 1) [7]

№ 2, 5—4



№ 5—8



Номер вентилятора	b	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	c	l	l ₁	l ₂	h
2,5	234	197	277	203	288	260	523	154,5	—	235
3,2	296	240	346	256	368	340	590	179	—	290
4	365	291	427	315	406	370	650	207,5	—	380
5	451	338,5	526	338,5	450	324	374	577	252	410
6,3	566	420	658	486,5	500	409,5	374	623,5	298,5	410
8	714	533	835	614	662	520	569	886	378	710

Таблица 8.9. Пылевые вентиляторы В-ЦП7-40 и В-ЦП6-45 (исполнение 6) [47]

Обозначение для заказа	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Электродвигатель			Масса вентилятора с двигателем, кг
		Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	

В-ЦП7-40 № 5

P5-1a	1570	4A100LB4	4	1425	284,8
P5-1б	1570	4A112M4	5,5	1450	293
P5-2a	1755	4A112M4	5,5	1450	293
P5-2б	1755	4A132S4	7,5	1450	324
P5-3	1960	4A132S4	7,5	1450	324
P5-4	2250	4A132M4	11	1450	337
P5-5	2500	4A160S4	15	1450	363

Обозначение для заказов	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Электродвигатель			Масса вентилятора с двигателем, кг
		Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	

В-ЦП7-40 № 6

Р6-1	1430	4A132S4	7,5	1450	411
Р6-2	1600	4A132M4	11	1450	424
Р6-3а	1790	4A132M4	11	1450	424
Р6-3б	1790	4A160S4	15	1450	450
Р6-4а	2000	4A160M4	18,5	1450	473
Р6-4б	2000	4A180S4	22	1470	507

В-ЦП6-45 № 8

П8-1а	1285	4A160S4	15	1450	700
П8-1б	1285	4A160M4	18,5	1450	725
П8-1в	1285	4A180S4	22	1470	740
П8-2а	1440	4A160M4	18,5	1450	730
П8-2б	1440	4A180S4	22	1470	742
П8-2в	1440	4A180M4	30	1470	785
П8-3а	1615	4A180M4	30	1470	790
П8-3б	1615	4A200M4	37	1475	885
П8-3в	1615	4A200L4	45	1475	925
П8-4а	1650	4A200M4	37	1475	895
П8-4б	1650	4A200L4	45	1475	935

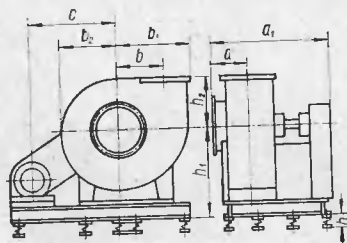


Таблица 8.10. Размеры, мм, пылевых вентиляторов В-ЦП7-40 и В-ЦП6-45 [47]

Марка вентилятора	a	a ₁	b	b ₁	b ₂	c	h	h ₁	h ₂
В-ЦП7-40-5	242	825	250	437	338	630—650	125—135	550	300
В-ЦП7-40-6	300	935	300	518	405	700—760	125—160	620	360
В-ЦП6-45-8	302	970	400	678	544	900—1000	150—160	900	508

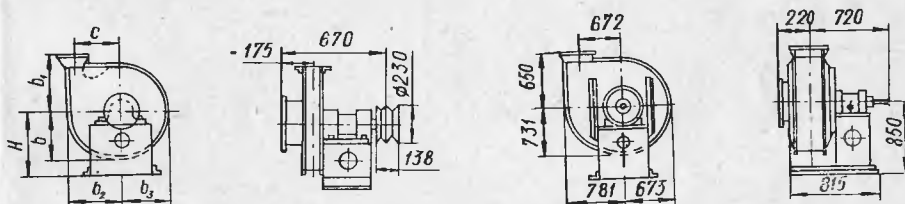
Графическое построение общей аэродинамической характеристики B_{1+2} двух параллельно установленных вентиляторов B_1 и B_2 (рис. 8.14, а) заключается в сложении абсцисс — расходов отдельных вентиляторов при одинаковых давлениях. Режим совместной работы вентиляторов определяется точкой пересечения А характеристики сети $L=f(p)$ с общей характеристикой вентиляторов. Расходы отдельных вентиляторов L_1 и L_2 принимают по абсциссе, на которой находится эта точка. Давление вентиляторов одинаковое и равно общему давлению.

Таблица 8.11. Вентиляторы высокого давления ВВД (исполнение 6) и Ц10-28 (исполнение 1) [7]

Вентилятор		Электродвигатель			Масса, кг
Тип	Номер	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
ВВД	8	4A132M4	11	1450	222
		4A160S4	15	1470	222
		4A160M4	18,5	1470	222
	9	4A180M4	30	1470	252
		4A200M4	37	1475	252
		4A200L4	45	1475	252
	11	4A180M4	30	1470	Данных не имеется
		4A200M4	37	1475	
		4A200L4	45	1475	
		4A71B2	1,1	2810	
Ц10-28	2,5	4A100SA2	4	2880	42
	3,2	4A160S2	15	2920	92
	4	4A160S2	15	2920	192
	5	4A200M2	37	2940	582

Примечание. Масса вентиляторов Ц10-28 — с электродвигателем, ВВД — без него.

Таблица 8.12. Размеры, мм, вентиляторов типа ВВД (исполнение 6) [54, 7]
№ 8, 9 № 11



Номер вентилятора	H	b	b ₁	b ₂	b ₃	c
8	650	530	482	574	486	475
9	700	580	532	624	536	525

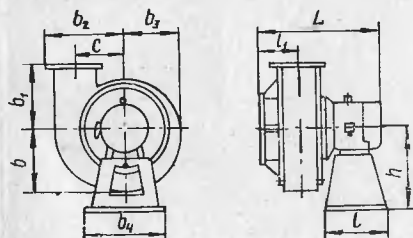


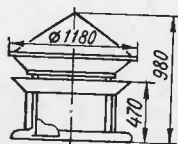
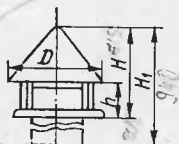
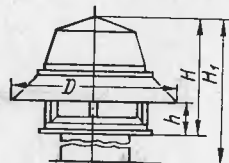
Таблица 8.13. Размеры, мм, вентиляторов Ц10-28 (исполнение 1) [7]

Номер вентилятора	b	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	c	L	l	l ₁	h
2,5	189	170	225	171	310	150	400	200	75	250
3,2	240	200	286	216	390	192	494	240	95	300
4	298	260	350	468	480	240	684	384	120	380
5	372	320	440	334	640	300	980	560	150	480

Таблица 8.14. Крышные радиальные вентиляторы [7]

Вентилятор		Электродвигатель			Масса вентилятора, кг	
Тип	Номер	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	с клапаном	без клапана
КЦЗ-90	4	4A71A6Y2	0,37	920	74	65
	5	4A80A6Y2	0,75	920	98	88
	6,3	4A100L6Y2	2,2	950	150	135
КЦ4-84в	8	4A80B4Y2	1,5	1400	360	330
	10	4A100SA4Y2	3	1425	490	440
	12	4A100LB4Y2	4	1425	700	645

Таблица 8.15. Размеры, мм, крышных вентиляторов [7]

Титановый
КЦЗ-90т № 6,3Невибронзолпированный
КЦЗ-90 № 4—6,3Вибронзолпированный
КЦ4-84в № 8—12

Вентилятор		H	H ₁	h	D
Тип	Номер				
КЦЗ-90	4	715	940	205	750
	5	800	1010	245	940
	6,3	960	1220	320	1120
КЦ4-84в	8	1140	1375	310	1500
	10	1285	1625	380	2000
	12	1485	1805	420	2400

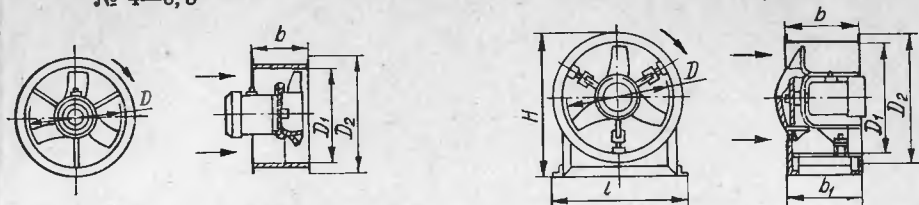
Таблица 8.16. Осевые вентиляторы 06-300 [7]

Номер вентилятора	Электродвигатель				Номер вентилятора	Электродвигатель			
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Масса без электродвигателя, кг		Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Масса без электродвигателя, кг
4	4AA56A4	0,12	1380	10	8	4A100SA4	3	1425	51
	4A71A2	0,75	2810	10		4A80A6	0,75	930	51
5	4AA63B4	0,37	1380	17	10	4A100LB6	2,2	950	102
6,3	4A471A6	0,37	920	32	12,5	4A112MB8	3	720	157
	4A71B4	0,75	1370	32					

Таблица 8.17. Размеры, мм, осевых вентиляторов 06-300 [7]

№ 4—6,3

№ 8—12,5



Номер вентилятора	D	D_1	D_2	b	b_1	l	H
4	400	403	460	200	—	—	—
5	500	503	560	250	—	—	—
6,3	630	633	690	315	—	—	—
8	800	805	860	320	315	806	980
10	1000	1006	1060	400	394	960	1200
12,5	1250	1258	1320	500	494	1160	1510

Таблица 8.18. Вентиляторы 06-300 искрозащищенного исполнения [7]

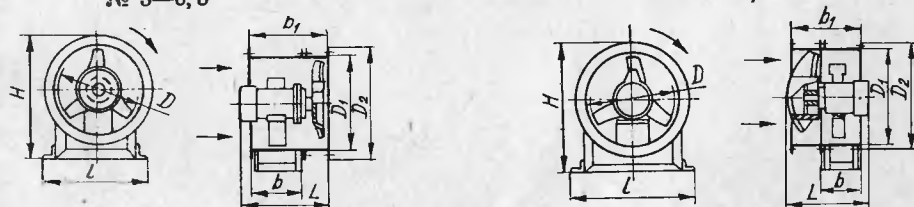
Номер вентилятора	Электродвигатель			Масса электродвигателя, кг
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
5	B63B2	0,37	1400	20
6,3	B71A6	0,37	915	33
	B71B4	0,75	1400	
8	B80A6	0,75	930	66
	B100S4	3	1430	
10	B100L6	2,2	950	112
12,5	B132S8	4	710	156

Примечание. Вентиляторы изготовляют в исполнении по искрозащите ИИ-01, т. е. с повышенной защитой от искрообразования (ТУ 22-3040-74).

Таблица 8.19. Размеры, мм, вентиляторов 06-300 искрозащищенного исполнения [7, 8]

№ 5—6,3

№ 8—12,5



Номер вентилятора	D	D_1	D_2	H	L	l	b	b_1
5	500	504	560	620	391—449	486	245	352
6,3	630	634	690	795	451—529	586	310	437
8	800	808	860	980	470—626	806	315	547
10	1000	1008	1060	1200	582	960	394	662
12,5	1250	1260	1320	1510	836	1160	494	842

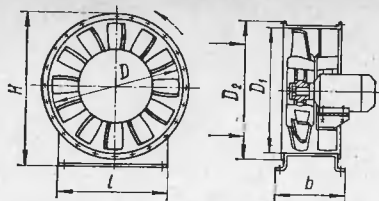


Таблица 8.20. Вентиляторы В-2,3-130

Номер вентилятора	Электродвигатель			Размеры вентилятора, мм						Масса без электродвигателя, кг
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	D	D ₁	D ₂	b	l	H	
8	4A132M4	11	1450	800	805	860	447	700	920	74
10	4A160S6	11	980	1000	1006	1060	545	850	1120	148
12,5	4A200A6	30	980	1250	1258	1320	630	1000	1400	204

Таблица 8.21. Значения коэффициента k_z [17]

Мощность на валу электродвигателя, кВт	Радиальный вентилятор	Осевой вентилятор	Мощность на валу электродвигателя, кВт	Радиальный вентилятор	Осевой вентилятор
<0,5	1,5	1,2	2,01—5	1,15	1,05
0,51—1	1,3	1,15	<5	1,1	1,05
1,01—2	1,2	1,1			

Таблица 8.22. Уравнения для перерасчета характеристик вентиляторов одного типа [17]

Изменяющаяся величина	Уравнения
Плотность воздуха ρ	$L_2 = L_1; \quad p_2 = p_1 \frac{\rho_2}{\rho_1}; \quad N_2 = N_1 \frac{\rho_2}{\rho_1}$
Частота вращения n	$L_2 = L_1 \frac{n_2}{n_1}; \quad p_2 = p_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2;$ $N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$
Диаметр рабочего колеса D	$L_2 = L_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3; \quad p_2 = p_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2;$ $N_2 = N_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$
Частота n и диаметр D	$L_2 = L_1 \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3; \quad p_2 = p_1 \left(\frac{n_2 D_2}{n_1 D_1} \right)^2;$ $N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$

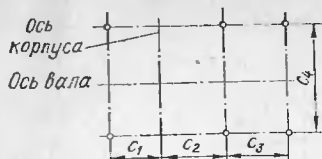


Таблица 8.23. Размещение болтов в фундаментах вентиляторов [7, 8, 47, 48]

Вентилятор		Размеры, мм				Количество отверстий	Диаметр отверстия, мм	
Тип	Номер	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄			
Ц4-70, исполнение 1	2,5	125	275	—	260	4	12	
	3,2	160	400	—	340	4	12	
	4	200	450	—	370	4	12	
	5	230	500	—	390	4	12	
	6,3	285	615	—	480	4	15	
	8	255	245	600	720	6	18	
Ц4-70, исполнение 6	10	316	784	—	1200	4	24	
	8	255	345	500	720	6	18	
	10	360	360	540	840	6	18	
Ц4-76, исполнение 6	12,5	390	395	750	1080	6	18	
	8	С электродвигателем 4A180S4						
		20	670	260	840	6	18	
		С электродвигателем 4A180M4						
		20	690	240	840	6	18	
		С электродвигателями 4A132M4 и 4A160S4						
		20	930	—	750	4	18	
	10	С электродвигателями 4A160M4 и 4A180S4						
		42,5	657,5	500	840	6	18	
		С электродвигателем 4A180M4						
Ц14-46, исполнение 1		36	904	260	840	6	18	
		С электродвигателем 4A200L4						
		36	924	240	840	6	18	
	2,5	125	275	—	260	4	12	
	3,2	160	400	—	340	4	12	
	4	200	450	—	370	4	12	
	5	262	285	—	410	4	20	
	6,3	298,5	285	—	460	4	20	
	8	425	350	80	608	5	25	
	ВВД, исполнение 6	8	—	78	350	580	4	26
9		—	78	350	580	4	26	
11		60	560	—	620	4	26	
Ц10-28, исполнение 1	2,5	—	96	150	280	4	10	
	3,2	—	118	170	350	4	12	
	4	—	138	300	440	4	15	
	5	—	218,5	470	590	4	22	
	В-ЦП7-40, исполнение 6	5	190	490	—	1120	4	18
В-ЦП6-45, исполнение 6	6	222	544	—	1290	4	18	
	8	444*	506*	958*	691	6	18	
Ц4-76 (пластмассовые), исполнение 1	2,5		255	—	455	4	14	
	3		280	—	526	4	14	
	4		330	—	680	4	14	
	5		445	—	800	4	14	
Ц4-70 (искрозащищенные), исполнение 1	2,5	126	274	—	260	4	12	
	3,2	160	400	—	340	4	12	
	4	200	450	—	370	4	12	
	5,0	230	500	—	390	4	12	
	6,3	285	715	—	480	4	15	

Вентилятор		Размеры, мм				Количество отверстий	Диаметр отверстия, мм
Тип	Номер	c_1	c_2	c_3	c_4		
06-300 (стальные)	8	255	845	—	720	4	18
	10	426	834	—	840	4	18
	8		750	—	250	4	24
	10		900	—	330	4	24
06-300 (искрозащищенные)	12,5	1100	—	—	400	4	24
	5	450	—	—	200	4	15
	6,3	550	—	—	270	4	15
	8	750	—	—	250	4	24
В-2,3-130	10	900	—	—	330	4	24
	12,5	1100	—	—	400	4	24
	8	325	—	—	411	6	24
	10	400	—	—	509	6	24
	12,5	475	—	—	594	6	24

* Размеры c_1 , c_2 и c_3 следует отсчитывать вдоль оси корпуса относительно оси вала вентилятора, а c_4 — вдоль оси вала.

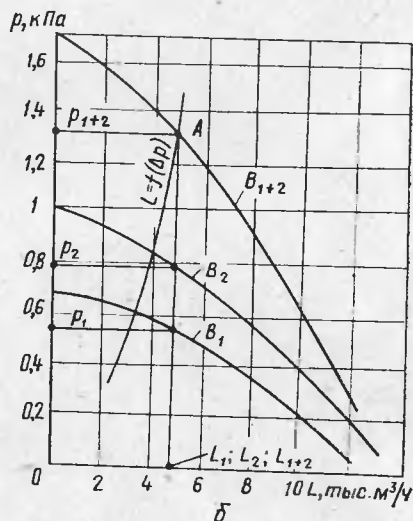
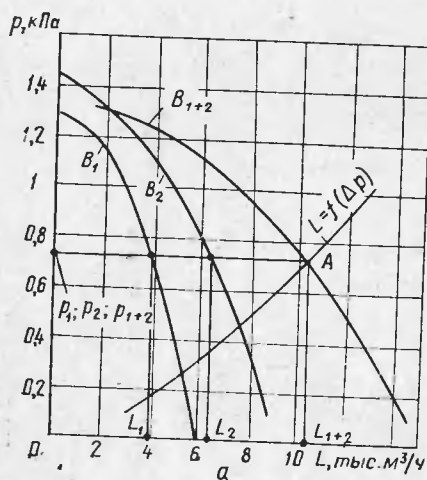


Рис. 8.14. Параллельная (а) и последовательная (б) работа двух вентиляторов на одну сеть.

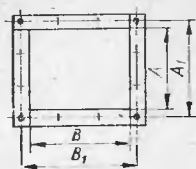
Общая характеристика B_{1+2} последовательно установленных вентиляторов B_1 и B_2 (рис. 8.14, б) строится на графике как сумма ординат — давлений каждого вентилятора при одинаковых расходах. Давление каждого вентилятора определяет режим их совместной работы, параметры которого соответствуют точке А пересечения характеристики сети с общей характеристикой вентиляторов. Давление каждого вентилятора p_1 и p_2 принимают по ординате, на которой находится точка общего режима их работы. Расходы вентиляторов одинаковые, равные общему расходу L_{1+2} .

При выборе вентиляторов рекомендуется ориентироваться на правую ниспадающую часть характеристики, которая обеспечивает их устойчивую работу.

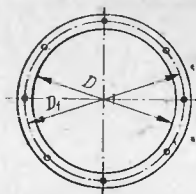
В табл. 8.23 и 8.24 приведены некоторые сведения, относящиеся к установке и присоединению вентилляторов.

Таблица 8.24. Основные размеры, мм, устройств для присоединения вентиляторов
[7, 8, 47, 48]

Патрубок на выходе



Патрубок на входе



Вентилятор		A	A ₁	B	B ₁	D	D ₁
Тип	Номер						
Ц4-70, исполнение 1	2,5	175	200	175	200	250	280
	3,2	224	255	224	255	320	345
	4	280	310	280	310	400	430
	5	350	380	350	380	500	530
	6,3	441	470	441	470	630	660
	8	560	600	560	600	800	830
	10	700	750	700	750	1000	1035
Ц4-70, исполнение 6	8	560	600	560	600	800	830
	10	700	750	700	750	1000	1035
	12,5	875	925	875	925	1250	1285
Ц4-76, исполнение 6	8	560	600	640	680	800	830
	10	710	750	810	850	1000	1035
	16	1120	1190	1280	1346	1440	1490
	20	1400	1476	1600	1672	1800	1870
Ц14-46, исполнение 1	2,5	175	200	175	200	253	280
	3,2	224	255	224	255	323	345
	4	280	310	280	310	403	430
	5	354	384	354	404	510	530
	6,3	444	470	447	470	640	660
	8	566	600	563	627	820	850
ВВД, исполнение 6	8	198	242	198	242	270	310
	9	198	242	198	242	300	340
	11	218	274	232	286	370	410
Ц10-28, исполнение 1	2,5	75	105	100	130	150	180
	3,2	96	140	128	172	192	240
	4	120	164	160	204	240	284
	5	150	202	200	252	300	350
	5	300	346	300	344	300	342
В-ЦП7-40, исполнение 6	6	360	405	360	405	360	402
В-ЦП6-45, исполнение 6	8	480	524	480	524	676	740
Ц4-76 (пластмассовые), исполнение 1	2,5	210*	245*	—	—	225	280
	3	250*	285*	—	—	270	300
	4	340*	380*	—	—	410	440
	5	425*	450*	—	—	450	490
Ц4-70 (искрозащитные), исполнение 1	2,5	175	204	175	204	250	280
	3,2	224	255	224	255	320	345
	4	280	310	280	310	400	430
	5	350	380	350	380	500	530
	6,3	445	480	445	480	630	660
	8	564	600	564	600	800	830
	10	700	750	700	750	1000	1035
06-300 (стальные и искрозащитные)	4	8 отверстий d=7 мм				403	430
	5	16 » d=7 »				503	530

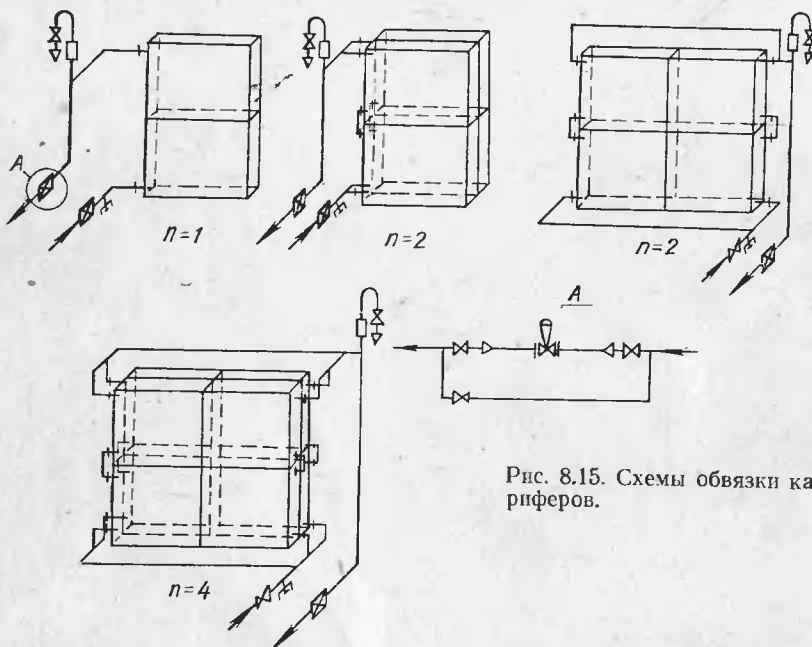
* Диаметры: внутренний и по осям присоединительных болтов.

Вентилятор		A	A ₁	B	B ₁	D	D ₁
Тип	Номер						
В-2,3-130	6,3	16 отверстий $d=10$ мм				633	660
	8	16 » $d=12$ »				805	830
	10	16 » $d=12$ »				1006	1035
	12,5	24 » $d=12$ »				1258	1285
	8	16 » $d=10$ »				805	835
	10	16 » $d=10$ »				1006	1045
КЦ3-90	12,5	24 » $d=10$ »				1258	1295
	4	8 » $d=14$ »				772**	435
	5	8 » $d=14$ »				772**	535
КЦ3-90г	6,3	8 » $d=14$ »				772**	665
	6,3	8 » $d=20$ »				772**	660
КЦ4-84в	8	8 » $d=16$ »				1072**	765
	10	8 » $d=16$ »				1272**	940
	12	8 » $d=16$ »				1522**	1130

**Диаметры по осям закладных болтов.

8.2. УСТРОЙСТВА ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Калориферы (табл. 8.25—8.29) по ГОСТ 7201—80 при теплоносителе — воде с рабочим давлением до 1,2 МПа применяют многоходовые типов КВС-П и КВБ-П — стальные пластинчатые и типа КСк (по ТУ 22-4334-78) — биметаллические с накат-



ным оребрением. Их можно собирать в установку из отдельных разных номеров калориферов, для чего предусмотрены съемные боковые щитки. Калориферы устанавливают с горизонтальным расположением трубок и входных патрубков.

Таблица 8.25. Калориферы КВС-П и КВБ-П (ГОСТ 7201—80)

Модель и номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м²	Площадь живого сечения, м²			Масса, кг		
		по воздуху	по теплоносителю				
			КВС-П	КВБ-П			
КВС1-П	8,55	0,1046	0,0008686	0,001159	43,9		
КВБ1-П	11,38	0,1046			56,4		
КВС2-П	10,62	0,1292			51		
КВБ2-П	14,21	0,1292			66		
КВС3-П	12,7	0,1539			58,2		
КВБ3-П	16,86	0,1539			75,6		
КВС4-П	14,67	0,1786			65,2		
КВБ4-П	19,48	0,1786			84,7		
КВС5-П	18,81	0,2279	0,001159	0,001544	79,5		
КВБ5-П	25	0,2279			103,6		
КВС6-П	11,4	0,1392			0,001159	0,001544	56,2
КВБ6-П	15,14	0,1392					72,7
КВС7-П	14,16	0,172					65,6
КВБ7-П	18,81	0,172					84
КВС8-П	16,92	0,2048					74,8
КВБ8-П	22,44	0,2048					96,6
КВС9-П	19,56	0,2376	83,8				
КВБ9-П	26	0,2376	109,1				
КВС10-П	25,08	0,3033	0,00232	0,00309	102,2		
КВБ10-П	33,34	0,3033			133,7		
КВС11-П	72	0,8665			0,00347	0,00463	262,6
КВБ11-П	95,63	0,8665					351
КВС12-П	108	1,2985					389,9
КВБ12-П	143,5	1,2985					518,3

Одноходовые калориферы типов КПС-П-01УЗ и КПБ-П-01УЗ с пластинчатыми теплопередающими элементами (табл. 8.30, 8.31) применяют при теплоносителе — паре с рабочим давлением не более 1,2 МПа и температурой не более 190 °С. Калориферы выпускают по ТУ 22-4464-79, присоединительные размеры соответствуют ГОСТ 7201—80. Массовая скорость воздуха в живом и фронтальном сечениях калорифера находится в соотношении $v_{рж}/v_{рф} = 1,92$.

В системах теплоснабжения в качестве теплоносителя принимают воду. При этом применяют последовательное соединение калориферов по воде. Допускается параллельное соединение рядов калориферов по воде при расположении их последовательно по ходу воздуха. Теплоноситель подводят в нижний патрубок калориферной установки. В обвязках трубопроводов (рис. 8.15) устанавливают воздухооборники.

Калориферы подбирают в следующем порядке.

1. Определяют расход тепла, Вт, на нагрев воздуха:

$$Q = 0,28c_v G_v (t_k - t_n), \quad (8.7)$$

где c_v — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·°С); G_v — количество нагреваемого воздуха, кг/ч; t_n и t_k — начальная и конечная температура нагреваемого воздуха, °С.

Площадь поверхности нагрева калориферов систем вентиляции, проектируемых для холодного периода по параметрам А и совмещенных с воздушным отоплением, при теплоносителе — воде рассчитывают по суммарной потребности в тепле на отопление и вентиляцию при расчетной температуре наружного воздуха, соответствующей параметрам Б, и сохранении (условно) полного расхода наружного воздуха.

2. Задаваясь массовой скоростью воздуха v_r , кг/(м²·с), определяют требуемую площадь живого сечения, м², калориферов по воздуху:

$$f' = G_v / 3600 v_r. \quad (8.8)$$

3. По данным калориферов (см. табл. 8.25, 8.27, 8.30), исходя из значения требуемой площади живого сечения f' , выбирают номер и число калориферов, которое должно быть минимальным. Одновременно находят действительную площадь живого

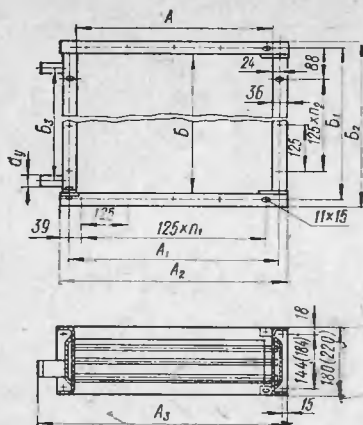


Таблица 8.26. Размеры калориферов
КВС-П и КВБ-П (ГОСТ 7201—80)

Номер калорифера	Размеры, мм								d_y	n_1	n_2
	A	A ₁	A ₂	A ₃	B	B ₁	B ₂	B ₃			
1	530	578	610	675	378	426	450	305	32	4	2
2	655	703	735	800						5	
3	780	828	860	925						6	
4	905	953	985	1050						7	
5	1155	1203	1235	1300						9	
6	530	578	610	675	503	551	575	430	32	4	3
7	655	703	735	800						5	
8	780	828	860	925						6	
9	905	953	985	1050						7	
10	1155	1203	1235	1300						9	
11	1655	1703	1735	1860	1003	1051	1075	912	50	13	7
12				1890	1503	1551	1575	1412 (1392)			11

Примечание. На эскизе и в таблице в скобках даны размеры калориферов КВБ-П.

сечения по воздуху f и площадь живого сечения трубок калориферов для прохода воды (по теплоносителю) $f_{тр}$. Выбирают компоновку и обвязку калориферов (см. рис. 8.15).

4. Находят действительную массовую скорость, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$v_p = G_B / 3600 f. \quad (8.9)$$

5. Определяют скорость воды, $\text{м}/\text{с}$, в трубах калориферов:

$$w = Q / \rho_B c_B f_{тр} n (t_n - t_o), \quad (8.10)$$

где ρ_B — плотность воды, равная $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; c_B — удельная теплоемкость воды, равная $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; n — число параллельных потоков теплоносителя, проходящих по калориферной установке; t_n и t_o — температура теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах, $^\circ\text{C}$.

6. Рассчитывают необходимую площадь поверхности нагрева калориферной установки, м^2 :

$$F_H = Q / k \Delta t_{cp}, \quad (8.11)$$

Таблица 8.27. Калориферы биметаллические типа КСк (ТУ 22-4334-78)

Обозначение калорифера	Площадь по- верхности нагрева, м²	Площадь живого сечения, м²			Масса, кг
		по воздуху	по теплоносителю		
			КСк3	КСк4	
КСк3-6-01	10,85	0,111			39,9
КСк4-6-01	14,26	0,111			41,2
КСк3-7-01	13,37	0,137			46,1
КСк4-7-01	17,57	0,137			48
КСк3-8-01	15,89	0,163			52,8
КСк4-8-01	20,88	0,163	0,00085	0,00111	54,7
КСк3-9-01	18,41	0,189			59,2
КСк4-9-01	24,19	0,189			68,5
КСк3-10-01	23,45	0,24			74,2
КСк4-10-01	30,82	0,24			81,9
КСк3-11-01	68,01	0,685	0,00129	0,00171	183,7
КСк4-11-01	90,04	0,685	0,00129	0,00171	220,5
КСк3-12-01	102,5	1,027	0,00194	0,00258	266,3
КСк4-12-01	136,02	1,027	0,00194	0,00258	340,6

Примечания. 1. Цифра в середине условного обозначения (6—12) указывает на номер калорифера. 2. Калориферы № 6—10 имеют 6 ходов по теплоносителю, а № 11, 12—8 ходов.

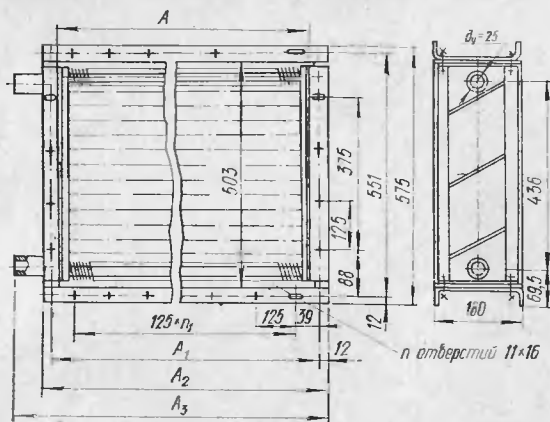


Таблица 8.28. Размеры калориферов биметаллических типа КСк № 6—10.

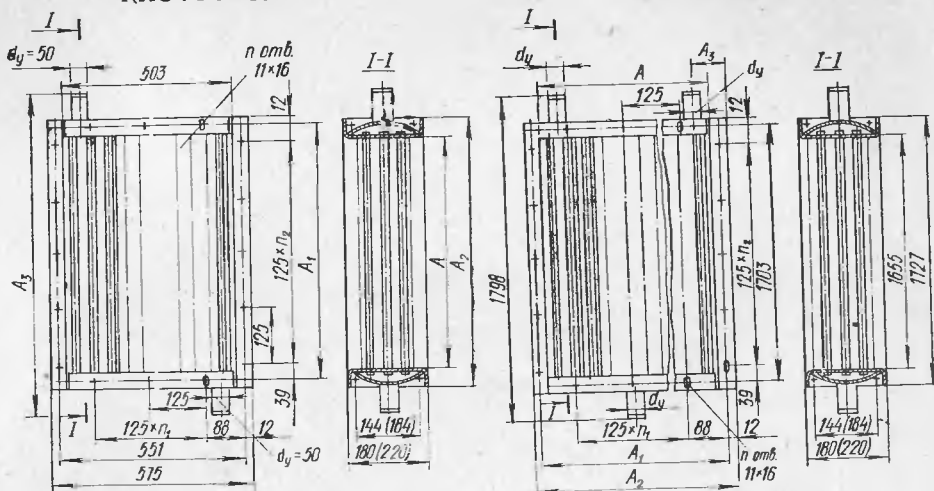
Номер калорифера	Размеры, мм				n ₁	n
	A	A ₁	A ₂	A ₃		
6	538	578	602	687	4	18
7	663	703	727	812	5	20
8	788	828	852	937	6	22
9	913	953	977	1062	7	24
10	1163	1203	1227	1312	9	28

где k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С), значения которого приведены в табл. 8.32, 8.33; $\Delta t_{ср}$ — средняя разность температур, °С, определяемая по формуле

$$\Delta t_{ср} = T_{ср} - \frac{t_{и} + t_{к}}{2}; \quad (8.12)$$

КПС № 6—10

КПС № 11, 12



Номер калорифера	Размеры, мм				n	n ₁	n ₂
	A	A ₁	A ₂	A ₃			
6	530	578	602	673	36	3	4
7	655	703	727	798	40		5
8	780	828	852	923	44		6
9	905	953	977	1048	48		7
10	1155	1203	1227	1298	56		9
11	1003	1051	1075	291	88	7	13
12	1503	1551	1575	416	104	11	

Примечания. 1. В скобках даны размеры калориферов типа КПБ-П-01УЗ. 2. Для калориферов № 11, 12 d_y составляет соответственно 65 и 80 мм.

9. В зависимости от расхода воды и диаметра подводящего патрубка, по графику, представленному на рис. 8.16, находят потерю давления в одном ходе калорифера n , умножая на поправочный коэффициент, учитывающий число ходов (табл. 8.34), определяют потерю давления в калорифере. Общую потерю давления калориферной установки определяют умножением числа последовательно соединенных по воде калориферов на потерю давления в одном калорифере.

Потерю давления по воде, кПа, биметаллических калориферов типа КСк определяют по формуле

$$\Delta p = b w^2, \quad (8.13)$$

где b — коэффициент, учитывающий конструктивные параметры калориферов (табл. 8.35).

При подборе калориферов следует иметь в виду, что сверхнормативный запас площади поверхности нагрева при автоматическом регулировании снижает температуру обратной воды, что может привести к замерзанию калориферной установки. Автоматическими системами регулирования предусматривается отключение вентиляторов при достижении нижнего предельного значения температуры обратной воды 20 °С. При определенных условиях отключение вентилятора может быть частым. Для устранения пульсаций расходов, давлений и температуры в системе рекомендуется устанавливать обводной воздушный клапан.

Таблица 8.32. Коэффициент теплопередачи k калориферов КВС-П, КВБ-П, КСкЗ и КСк4

Массовая скорость воздуха в живом сечении v_p , кг/(м ² ·с)	Значения k , Вт/(м ² ·°С) при скорости движения теплоносителя — воды по трубкам, м/с										Потери давления воздуха P_v , Па
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	

Калориферы КВС-П

3	23,97	25,3	26,25	27,05	27,71	28,28	28,8	29,24	29,64	30,35	12,74
4	26,31	27,75	28,82	29,69	30,41	31,04	31,59	32,06	32,53	33,31	20,42
5	28,25	29,8	30,95	31,88	32,66	33,32	33,92	34,45	34,92	35,76	29,22
6	29,93	31,57	32,8	33,79	34,61	35,36	35,95	36,50	37,02	37,9	39,3
7	31,45	33,18	34,46	35,49	36,37	37,11	37,77	38,35	38,89	39,82	50,5
8	32,82	34,61	35,96	37,03	37,94	38,72	39,41	40,02	40,58	41,58	62,66
9	34,06	35,94	37,32	38,44	39,39	40,22	40,91	41,54	42,12	43,15	75,8
10	35,25	37,18	38,62	39,77	40,75	41,59	42,33	43	43,59	44,65	89,93
11	36,34	38,33	39,82	41,01	42,02	42,88	43,64	44,32	44,94	46,02	104,93
12	37,38	39,43	40,95	42,18	43,22	44,1	44,89	45,59	46,22	47,32	117,68
13	38,33	40,44	42,01	43,26	44,32	45,23	46,02	46,75	47,4	48,54	137,59
14	39,26	41,43	43,02	44,31	45,4	46,32	47,16	47,89	48,59	49,75	155,04
15	40,15	42,37	43,98	45,3	46,41	47,36	48,21	48,96	49,58	50,82	173,28

Калориферы КВБ-П

3	23,84	24,02	24,95	25,68	25,77	26,83	27,3	27,71	28,1	28,76	16,87
4	25,69	26,36	27,37	28,17	28,84	29,42	29,94	30,4	30,82	31,53	27,07
5	27,59	28,31	29,39	30,25	30,99	31,6	32,16	32,6	33,1	33,85	39,03
6	29,24	29,42	31,14	32,05	32,82	33,49	34,08	34,6	35,08	35,88	52,76
7	30,71	31,52	32,72	33,68	34,49	35,19	35,8	36,36	36,86	37,7	68,16
8	32,05	32,89	34,14	35,15	35,99	36,73	37,36	37,94	38,46	39,34	84,83
9	33,27	34,13	35,47	36,48	37,36	38,11	38,77	39,38	39,91	40,83	103,07
10	34,42	35,32	36,67	37,74	38,65	39,43	40,11	40,74	41,3	42,25	122,68
11	35,49	36,42	37,81	38,93	39,86	40,66	41,37	42,02	42,59	43,56	143,57
12	36,51	37,46	38,95	40,03	40,98	41,82	42,54	43,21	43,8	44,81	165,73
13	37,44	38,41	39,88	41,04	42,03	42,88	43,64	44,31	44,92	45,95	189,07
14	37,18	39,36	40,84	42,04	43,02	43,93	44,69	45,39	46,01	47,07	213,59
15	39,2	41,39	41,75	42,98	44,01	44,9	45,68	46,39	47,03	48,11	239,48

Калориферы КСкЗ

3	25,43	26,9	28,01	28,91	29,63	30,27	30,84	31,38	31,83	32,67	10,3
4	29,01	30,67	31,94	32,96	33,79	34,52	35,17	35,77	36,3	37,24	16,87
5	32,09	33,94	35,33	36,46	37,39	38,19	38,91	39,58	40,16	41,21	24,71
6	34,87	36,87	38,39	39,61	40,62	41,5	42,28	43	43,64	44,76	33,83
7	37,39	39,54	41,18	42,5	43,57	44,51	45,35	46,11	46,8	48,01	44,03
8	39,74	42,02	43,76	45,16	46,3	47,3	48,19	49,01	49,73	51,02	55,31
9	41,91	44,32	46,16	47,62	48,83	49,88	50,82	51,7	52,45	53,81	67,67
10	43,96	46,5	48,42	49,96	51,23	52,32	53,31	54,22	55,02	56,45	81
11	45,93	48,57	50,58	52,18	53,51	54,66	55,7	56,64	57,82	58,96	95,32
12	47,78	50,52	52,61	54,29	55,66	56,86	57,94	58,92	59,79	61,35	110,62
13	49,56	52,39	54,57	56,3	57,73	58,98	60,09	61,11	62,01	63,63	126,8
14	51,24	54,2	56,44	58,23	59,71	60,98	62,15	63,21	64,14	65,8	143,96
15	52,89	55,94	58,25	60,1	61,63	62,95	64,15	65,24	66,2	67,92	158,48

Калориферы КСк4

3	21,39	22,9	24,05	24,98	25,77	26,46	27,06	27,6	28,1	28,99	12,55
4	24,81	26,56	27,91	28,98	29,89	30,69	31,39	32,02	32,6	33,65	20,69
5	27,77	29,74	31,24	32,44	33,46	34,36	35,15	35,85	36,49	37,66	30,5

Массовая скорость воздуха в живом сечении v_p , кг/(м ² ·с)	Значения k , Вт/(м ² ·°С) при скорости движения теплоносителя—воды по трубкам, м/с										Потери давления воздуха P_B , Па
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	
6	30,55	32,72	34,37	35,69	36,81	37,8	38,66	39,42	40,15	41,43	41,78
7	33,08	35,42	37,2	38,63	39,86	40,93	41,86	42,68	43,46	44,86	54,52
8	35,42	37,94	39,84	41,38	42,68	43,82	44,82	45,71	46,54	48,03	68,74
9	37,65	40,31	42,34	43,97	45,36	46,57	47,64	48,58	49,46	51,04	84,24
10	39,75	42,58	44,72	46,44	47,9	49,18	50,31	51,3	52,24	53,92	101,11
11	41,75	44,71	46,96	48,76	50,3	51,65	52,82	53,87	54,86	56,61	119,25
12	43,66	46,75	49,1	51	52,6	54,01	55,24	56,34	57,36	59,2	138,57
13	45,48	48,72	51,16	53,14	54,81	56,28	57,56	58,7	59,78	61,69	159,16
14	47,28	50,63	53,17	55,22	56,96	58,49	59,82	61	62,12	64,1	180,93
15	48,97	52,45	55,08	57,21	59,01	60,59	61,98	63,2	64,35	66,41	203,88

Примечание. Коэффициент теплопередачи и потеря давления определены по следующим формулам:

для калориферов КВС-П
 $k=20,86 (v_p)^{0,32} \omega^{0,132}$; $P_B=2,16 (v_p)^{1,62}$;
 для калориферов КВБ-П
 $k=19,77 (v_p)^{0,32} \omega^{0,13}$; $P_B=2,75 (v_p)^{1,65}$;
 для калориферов КСк3
 $k=19,31 (v_p)^{0,455} \omega^{0,14}$; $P_B=1,58 (v_p)^{1,71}$;
 для калориферов КСк4
 $k=15,96 (v_p)^{0,515} \omega^{0,17}$; $P_B=1,883 (v_p)^{1,73}$.

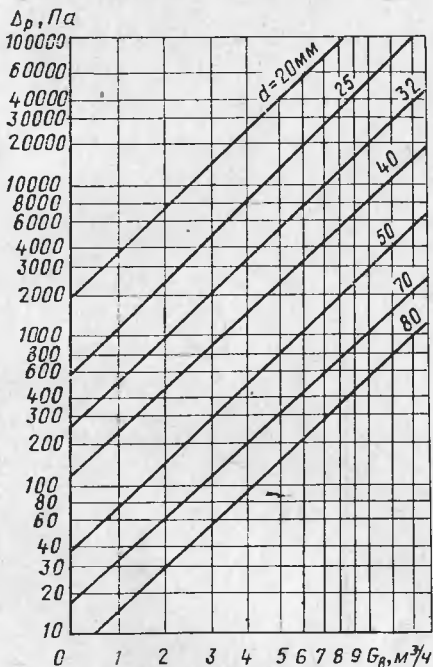


Рис. 8.16. График для определения потерь давления в калориферах.

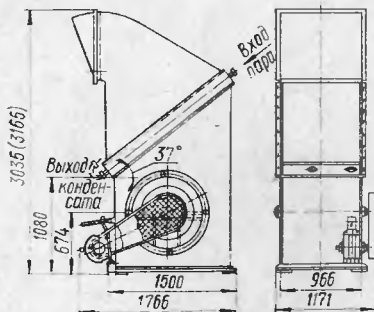
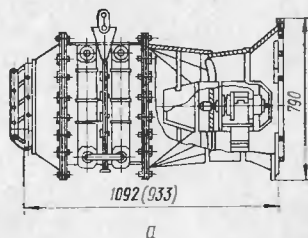


Рис. 8.17. Отопительные агрегаты STD-100 (а) и STD-300M (б) (размеры в скобках относятся к агрегату с калорифером по воде).

Таблица 8.33. Коэффициент теплопередачи k калориферов КПС-П-01УЗ и КПБ-П-01УЗ

Массовая скорость воздуха в фронтальном сечении w_r , кг/(м ² ·с)	Значения k , Вт/(м ² ·°С), для номера калориферов						Потеря давления воздуха $p_{\text{в}}$, Па	
	6	7	8	9	10	11		12
Калориферы КПС-П-01УЗ								
2	31,6	31,23	30,95	30,71	30,34	29,76	29,76	19,3
2,5	33,75	33,37	33,06	32,8	32,41	31,8	31,8	27,63
3	35,62	35,21	34,9	34,62	34,21	33,55	33,55	37,14
3,5	37,29	36,85	36,53	36,24	35,81	35,12	35,12	47,73
4	38,79	38,34	38,01	37,7	37,25	36,54	36,54	59,29
4,5	40,17	39,7	39,36	39,04	38,58	37,83	37,83	71,74
5	41,44	40,96	40,6	40,27	39,8	39,03	39,03	85,06
5,5	42,62	42,13	41,76	41,43	40,94	40,14	40,14	99,27
6	43,74	43,23	42,84	42,51	42,01	41,20	41,2	114,27
6,5	44,79	44,26	43,88	43,53	43,01	42,18	42,18	130,14
7	45,77	45,25	44,84	44,5	43,96	43,12	43,12	146,7

Калориферы КПБ-П-01УЗ

2	30,12	29,77	29,5	29,27	28,92	28,38	28,38	25,48
2,5	32,18	31,8	31,52	31,27	30,9	30,31	30,31	36,85
3	33,96	33,56	33,27	33	32,61	31,99	31,99	49,88
3,5	35,54	35,13	34,82	34,55	34,13	33,48	33,48	64,29
4	36,98	36,55	36,23	35,94	35,51	34,83	34,83	80,07
4,5	38,28	37,84	37,51	37,22	36,77	36,06	36,06	97,31
5	39,51	39,04	38,7	38,39	37,94	37,22	37,22	115,74
5,5	40,63	40,16	39,81	39,5	39,02	38,27	38,27	135,53
6	41,69	41,2	40,84	40,52	40,04	39,27	39,27	156,41
6,5	42,69	42,19	41,82	41,49	40,99	40,22	40,22	178,46
7	43,64	43,13	42,75	42,41	41,9	41,11	41,11	201,68

Таблица 8.34. Значения поправочного коэффициента a , учитывающего число ходов n

n	a	n	a	n	a
1	1	5	3,4	9	6,1
2	1,5	6	4,1	10	6,8
3	2	7	4,7	11	7,5
4	2,7	8	5,4	12	8,2

Таблица 8.35. Значения коэффициента b

Тип калорифера	Значения b для номера калорифера						
	6	7	8	9	10	11	12
КСк3	13,3	14,5	15,7	16,8	19,2	34,1	47,8
КСк4	16,7	17,8	19	20,2	22,5	36,1	50,2

Отопительные агрегаты (табл. 8.36—8.38, рис. 8.17, 8.18) используют в случаях, когда механическая приточная вентиляция отсутствует или объем воздуха недостаточен для обеспечения отопления, совмещаемого с приточной вентиляцией, а также при технико-экономической нецелесообразности использования крупных приточных установок для работы в режиме рециркуляции в дежурное время.

Т а б л и ц а 8.36. Отопительный агрегат СТД-300М

Наименование показателей	Обогрев паром с избыточным давлением, кПа			Обогрев водой с температурой, °С	
	200	300	400	130/70	150/70
Производительность по воздуху, кг/ч		34500		30000	
Теплопроизводительность, кВт	298	323	344	355	384
Конечная температура воздуха, °С	47	49,5	50,6	60	61,8
Скорость выхода воздуха, м/с		11,8		10,3	
Электродвигатель:					
тип		4АХ71В4		4А100S4У3	
мощность, кВт		0,75		3	
частота вращения, об/мин		1500		1500	
Масса агрегата, кг		845		1160	

Т а б л и ц а 8.37. Отопительный агрегат СТД-100

Наименование показателей	Обогрев паром с давлением 500 кПа	Обогрев водой с температурой 150/70 °С
Температура воздуха, °С:		
начальная		16
конечная		55
Производительность по воздуху, кг/ч	10 700	10 360
Теплопроизводительность, кВт	116,3	112,8
Скорость выхода воздуха, м/с	7,6	7,3
Электродвигатель:		
тип	4АХ71В4	
мощность, кВт	0,75	
частота вращения, об/мин	1500	
Масса агрегата, кг	178	299

Применение отопительных агрегатов не допускается в помещениях с производствами категорий А, Б и Е, при выделении вредных веществ, возгорающихся при соприкосновении с нагретыми поверхностями оборудования, при возможности усиления испарения и сдувания вредных веществ с поверхности токсических жидкостей.

Воздушно-отопительные агрегаты типа АО2 (одноструйные) предназначены для отопления помещений промышленных зданий без постоянного или с постоянным присутствием людей при высоте помещения до 6 м, а агрегаты типа АОД2 (двухструйные) — при наличии фиксированных рабочих мест и значительном температурном градиенте по высоте помещений. Агрегаты типа АОУ-2 (увлажнительные) применяются для воздушного отопления с одновременным увлажнением воздуха до степени 2—5 г/кг. Теплоноситель агрегатов — вода с температурой 150—70 °С при рабочем давлении 1176 кПа.

Пример использования и расчет отопительных агрегатов приведен в гл. 6.

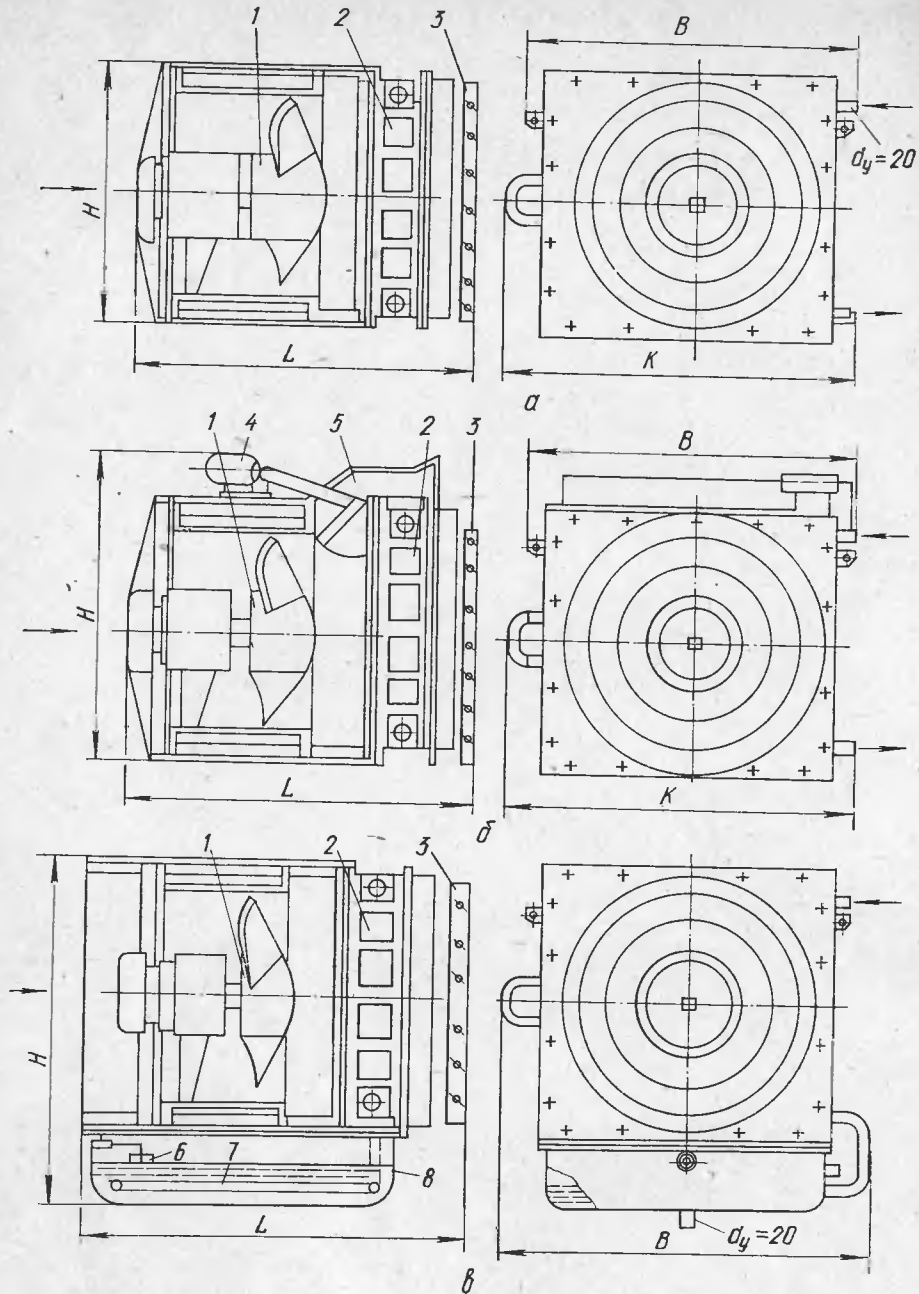
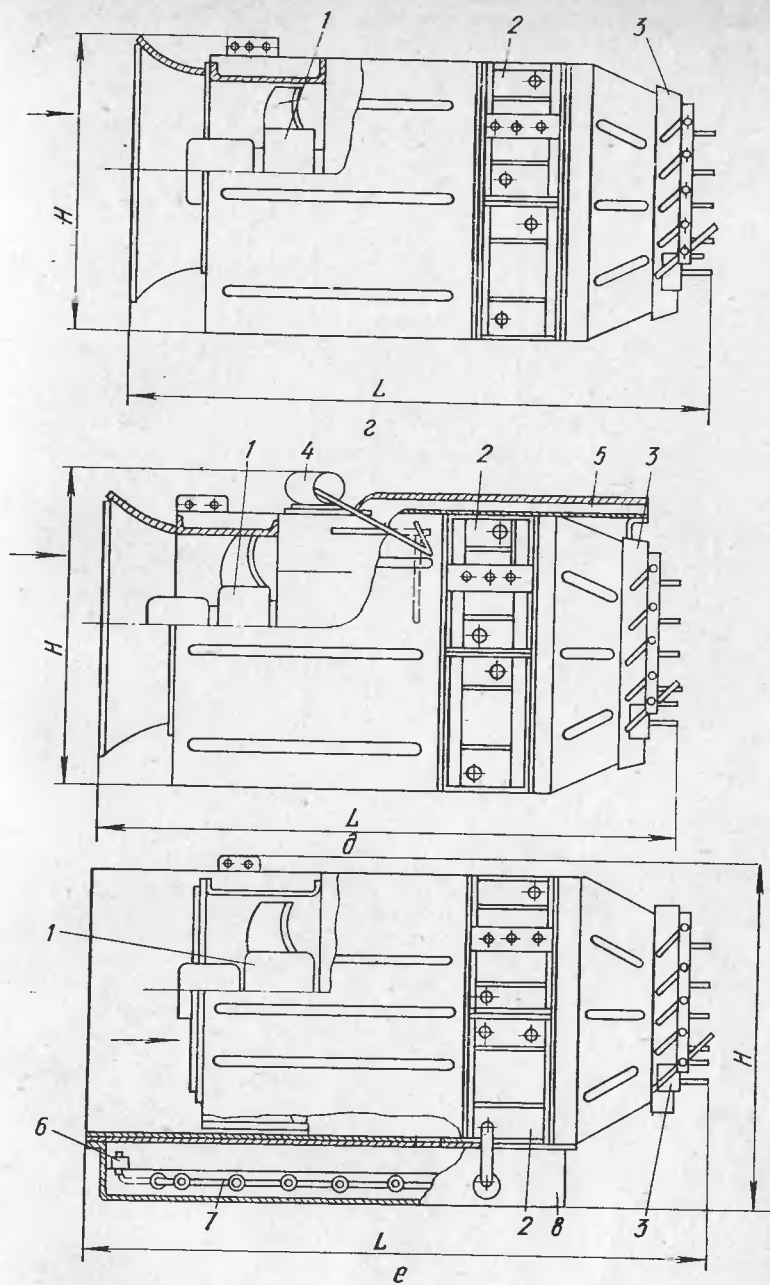


Рис. 8.18. Воздушно-отопительные агрегаты:

a — АО2 № 4; 6,3; 10; *б* — АОД2 № 4; 6,3; 10; *в* — АОУ2 № 4; 6,3; 10; *г* — АО2 № 20; 25; тель; 3 — жалюзи; 4 — исполнительный механизм; 5 — обводной канал; 6 — шаровый клапан;



∂ — АОД2 № 20; 25; e — АОУ2 № 20; 25; 1 — вентилятор; 2 — воздухонагреватель; 3 — водонагреватель; 4 — вана.

Таблица 8.38. Воздушно-отопительные агрегаты типов А02, А0Д2 и А0У2 (см. рис. 8.18)

Марка агрегата	Производительность		Температура воздуха на выходе из агрегата, °С	Электродвигатель			Масса агрегата, кг	Размеры, мм		
	по воздуху, тыс. м³/ч	по теплу, кВт		Марка	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин		L	B(K)	H
А02-4-01У3 А0Д2-4-01У3 А0У2-4-01У3	4 4 3,2	47,8 44,7 40,7	51,8 55,2 56,2	4А А63В4	0,37	1370	131,4 150,4 214,5	1250 1250 1315	890 890 1100	600 765 930
А02-6,3-01У3 А0Д2-6,3-01У3 А0У2-6,3-01У3	6,3 6,3 5,1	74,1 67,8 63,9	51,3 53,8 55,1	4АХ71А2	0,75	2810	160,6 167,8 253,4	1250 1250 1425	1145 1145 1250	510 670 850
А02-10-01У3 А0Д2-10-01У3 А0У2-10-01У3	10 10 8,5	116,9 107,8 107,8	50,8 53,8 53,8	4АХ71В4	0,75	1500	232,7 247,8 287,3	1400 1400 1450	(1115) (1115) 1250	760 920 1065
А02-20-01У3 А0Д2-20-01У3 А0У2-20-01У3 А02-25-01У3 А0Д2-25-01У3 А0У2-25-01У3	20 20 17 25 25 21,3	220,4 207,4 200,7 306,2 280,7 281	49 51,2 51,2 52 55,5 55,5	4А100S4 4А80А6	3 0,75	1500 1000	400 450 550 610 660 760	1560 1560 1740 1640 1640 1820	1355 1355 1355 1885 1885 1885	1060 1145 1360 1060 1145 1360

8.3. ВОЗДУШНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Фильтры, устанавливаемые в приточных камерах, по эффективности делятся на три класса (табл. 8.39). Фильтры III класса эффективности применяются в случаях, если вблизи места забора приточного воздуха концентрация пыли превышает 30 % ПДК, установленной для рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005—76, а также для защиты оборудования вентиляционных камер от запыления. Фильтры I и II классов применяются для поддержания в помещениях зданий чистоты воздуха согласно технологическим требованиям. Эти фильтры устанавливают в качестве второй ступени очистки после более пылеемких фильтров.

Таблица 8.39. Основные классы воздушных фильтров [33]

Класс	Размеры улавливаемых пылевых частиц, мкм	Минимальная эффективность очистки наружного воздуха, %
I	Все	99
II	>1	85
III	10—50	60

Тип фильтра выбирают с учетом потерь давления, допустимых в системе, пусковой способности L , м³/ч, температурных и влажностных условий работы, начальной запыленности C , г/м³, и пылеемкости Π , г. Интенсивность поступления пыли в фильтр, г/ч, находят по формуле

$$M = CL_{\Pi}. \quad (8.14)$$

причем, начальную запыленность воздуха принимают по данным натурного обследования, а расход воздуха $L_{\text{п}}$, м³/ч, равным расходу приточного воздуха.

Массу пыли, уловленной фильтром, г/сут, определяют из выражения

$$\Delta M = \frac{M_{\eta_{\text{п}}}}{100} n, \quad (8.15)$$

где $\eta_{\text{п}}$ — эффективность очистки воздуха в фильтре, %; n — время работы системы в течение суток, ч.

По данным фильтра находят его расчетную пылеемкость, г:

$$\Pi = \Pi_{\text{уд}} f, \quad (8.16)$$

где $\Pi_{\text{уд}}$ — удельная пылеемкость фильтра, г/м²; f — площадь фронтального сечения фильтра, м².

Продолжительность работы фильтра без регенерации, сут, до достижения максимальной потери давления

$$m = \Pi / \Delta M. \quad (8.17)$$

Если по условиям эксплуатации величину m следует увеличить, то принимают фильтр с большей площадью или повышенной удельной пылеемкостью.

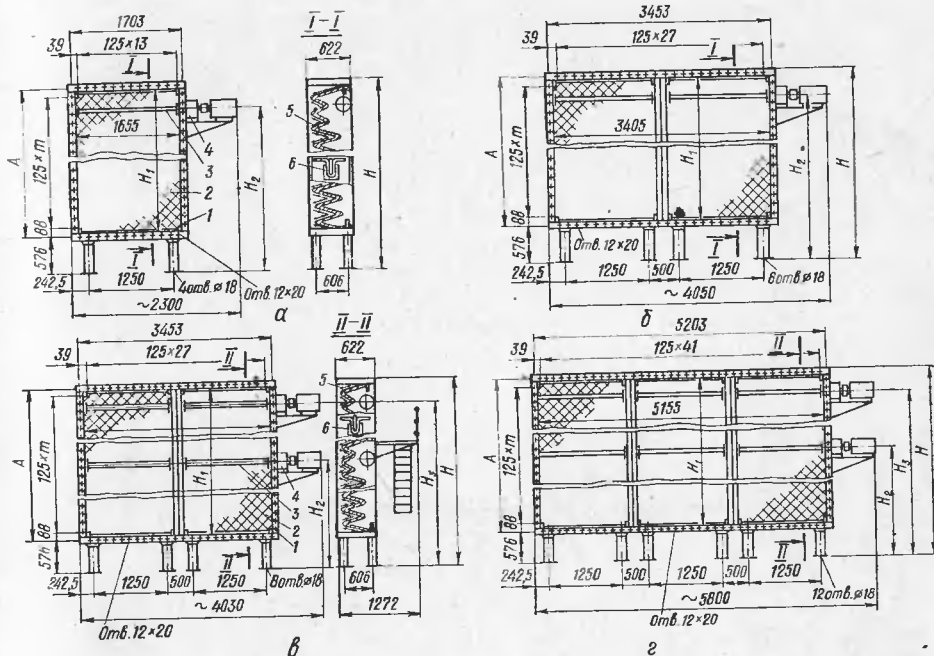


Рис. 8.19. Воздушные фильтры ФР-5 (правое исполнение):

а — 03.21130, 04.21130; б — 06.21130, 08.21130; в — 12.21130, 16.21130; г — 20.21130, 25.21130; 1 — корпус; 2 — фильтрующий материал; 3 — катушка; 4 — электропривод; 5 — неподвижная решетка; 6 — мановакуумметр.

Фильтры воздушные ФР-5 (рис. 8.19, табл. 8.40, 8.41) предназначены для очистки воздуха при среднегодовой запыленности до 1 и кратковременной — до 10 мг/м³. Удельная воздушная нагрузка на фронтальное сечение фильтра — не более 12,5 тыс. м³/(ч·м²). Эффективность очистки воздуха фильтром — не ниже 85 %, удельная пылеемкость — не ниже 2500 г/м², потеря давления начальная — 55, конечная — 300 Па. Снабжены фильтрующим материалом пониженной горючести, который используется не менее 3 раз после регенерации. Материал наматывается на катушку электродвигателем 4АА63А4 мощностью 0,25 кВт с частотой вращения 1440 об/мин.

Т а б л и ц а 8.40. Воздушные фильтры ФР-5

Наименование показателей	03.21130	04.21130	06.21130	08.21130
Номинальная производительность по воздуху, тыс. м ³ /ч	31,5	40	63	80
Фильтрующий материал: размеры полотна, м	10,5× ×1,73	2,5× ×1,73	10,5× ×1,73	2,5× ×1,73
количество полотен для заправки	1	1	2	2
количество поставляемых полотен	3	3	6	6
Количество электродвигателей на один фильтр	1	1	1	1
Количество панелей высотой 2 м	1	—	2	—
То же, 2,5 м	—	1	—	2
Масса, кг	300	370	570	660

Наименование показателей	12.21130	16.21130	20.21130	25.21130
Номинальная производительность по воздуху, тыс. м ³ /ч	125	160	200	250
Фильтрующий материал: размеры полотна, м	10,5× ×1,73	2,5× ×1,73	10,5× ×1,73	2,5× ×1,73
количество полотен для заправки	4	4	6	6
количество поставляемых полотен	12	12	18	18
Количество электродвигателей на один фильтр	2	2	2	2
Количество панелей высотой 2 м	4	—	6	—
То же, 2,5 м	—	4	—	6
Масса, кг	1120	1380	1640	2010

Т а б л и ц а 8.41. Размеры воздушных фильтров ФР-5 (см. рис. 8.19)

Обозначение фильтра	Размеры, мм					m
	A	H	H ₁	H ₂	H ₃	
03.21130, 06.21130	2051	2643	2003	2332	—	15
04.21130, 08.21130	2551	3143	2503	2832	—	19
12.21130, 20.21130	4051	4643	4003	2332	4332	31
16.21130, 25.21130	5051	5643	5003	2832	5332	39

При компоновке приточной камеры предусматривают со стороны входа воздуха пространство шириной не менее 600 мм для обслуживания фильтра. Фильтр можно монтировать в правом и левом исполнении.

Фильтры воздушные ФС (рис. 8.20, табл. 8.42, 8.43) предназначены для очистки воздуха от неволокнистой пыли с начальной концентрацией до 10 мг/м³. Удельная воздушная нагрузка на фронтальное сечение фильтра — 10,6 тыс. м³/(ч·м²). Эффективность очистки — не ниже 80 %, потеря давления фильтра начальная — 60, конеч-

ная — 100 Па. В корпусе фильтра установлены четыре бесконечные фильтрующие панели из металлических сеток, для смачивания которых применяются следующие сорта масел: когда недопустим запах масла — масло висциновое (температура застывания — 20 °С); когда допустим запах масла — масло индустриальное И-12А, И-20А (температура застывания — 30 °С) и масло приборное (температура застывания — 60 °С). Перемещение панелей осуществляется электродвигателем 4АХ80А4 мощностью 1,1 кВт с частотой вращения 1400 об/мин.

Для профилактических осмотров и текущих ремонтов предусматривают пространство размером 1880 мм и не менее 0,6 м с каждой стороны. Фильтры могут быть собраны в правом и левом исполнениях.

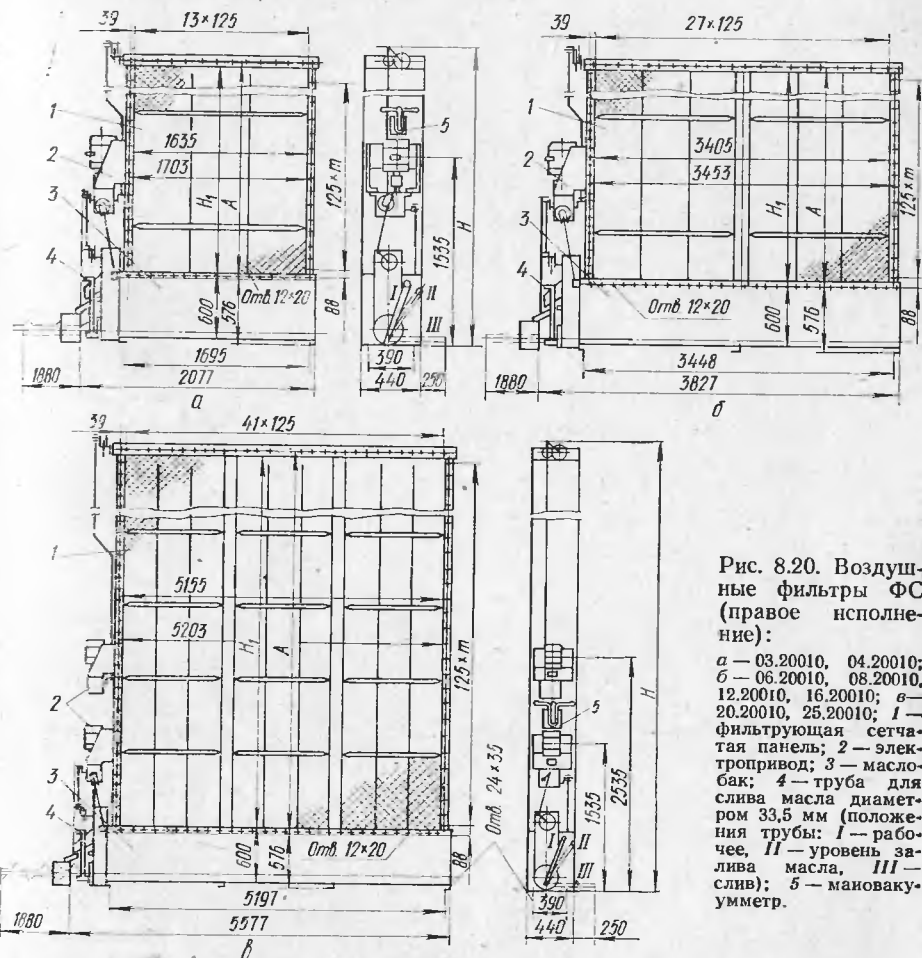


Рис. 8.20. Воздушные фильтры ФС (правое исполнение):

а — 03.20010, 04.20010; б — 06.20010, 08.20010, 12.20010, 16.20010; в — 20.20010, 25.20010; 1 — фильтрующая сетчатая панель; 2 — электропривод; 3 — маслобак; 4 — труба для слива масла диаметром 33,5 мм (положения трубы: I — рабочее, II — уровень залива масла, III — слив); 5 — мановакуумметр.

Очистка загрязненного масла и его циркуляция в системе маслоснабжения фильтров может осуществляться передвижным фильтр-прессом.

Фильтр-пресс ПР2,2-315/16ч

Рабочее давление фильтрования, кПа	450
Площадь фильтрации, м ²	2,2
Производительность, м ³ /ч	3
Габаритные размеры, мм	1700×755×1120
Насосная установка (в комплекте фильтр-пресса):	
мощность электродвигателя, кВт	4

Таблица 8.44. Рулонные фильтры ФРУ

Наименование показателей	Ф12РУ1А	Ф8РУ2А	Ф6РУ2А	Ф4РУ4А
Пропускная способность, тыс. м ³ /ч	120	80	60	40
Площадь рабочего сечения, м ²	12	7,9	5,8	4
Количество катушек	6	6	6	4
Масса (без фильтрующего материала), кг	970	717	523	408

Таблица 8.45. Размеры рулонных фильтров ФРУ (см. рис. 8.21)

Марка фильтра	Размеры.						
	<i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>H</i>	<i>H</i> ₁
Ф12РУ1А	3072	3125	3160	3152	3595	3952	4000
Ф8РУ2А	3072	3125	3160	3152	3595	2577	2625
Ф6РУ2А	2572	2625	2660	2652	3095	2577	2625

Марка фильтра	мм							
	<i>H</i> ₂	<i>H</i> ₃	<i>H</i> ₄	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>n</i>	<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂
Ф12РУ1А	4032	4932	5090	581	220	114	25	32
Ф8РУ2А	2657	3540	3700	597	236	92	25	21
Ф6РУ2А	2657	3540	3700	597	236	84	21	21

Фильтры рулонные ФРУ (рис. 8.21, табл. 8.44, 8.45) рекомендуется применять при запыленности воздуха до 1 мг/м³. При большей запыленности необходимо технико-экономическое обоснование повышенного расхода фильтрующего материала.

Фильтры ФРУ снаряжаются фильтрующим материалом ФСВУ из упругого стекловолкна. Скорость перемещения фильтрующего материала — 50 см/мин. Длина его в рулоне — не более 20 м. Пылеемкость фильтра при увеличении потери давления с 60 до 150 Па — 450 г/м². Материал перематывается с верхней на нижнюю катушку электродвигателем АВ-071-4 мощностью 0,25 кВт с частотой вращения 1380 об/мин. Начальная потеря давления при удельной воздушной нагрузке 10 тыс. м³/(ч·м²) — 60 Па.

Фильтры ячейковые унифицированные (рис. 8.22, табл. 8.46) предназначены для очистки приточного воздуха от пыли при начальной запыленности 5—10 мг/м³. Фильтры ФЯР перед установкой следует промывать; при регенерации ячейки фильтрующий материал промывают в 10%-ном содовом растворе и в горячей воде. Фильтры ФЯВ можно применять как в замасленном, так

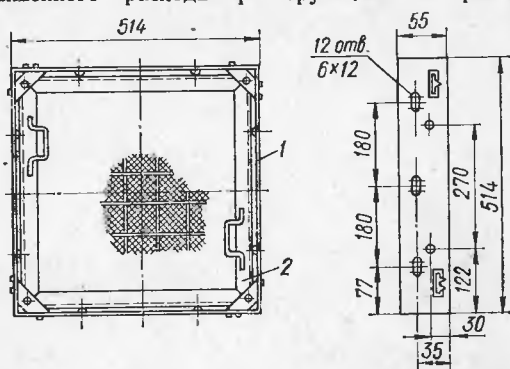


Рис. 8.22. Ячейковый унифицированный фильтр: 1 — установочная рамка; 2 — ячейка фильтра.

Т а б л и ц а 8.46. Ячейковые унифицированные фильтры

Тип фильтра	Заполнитель	Пылеемкость, г/м ² , при увеличении потери давления до 150 Па	Начальная потеря давления, Па	Эффективность очистки, %	Масса, кг
ФЯР	Сетка гофрированная металлическая	2300	50	До 84	8,39
ФЯВ	Пленка перфорированная виниловая	2200	60	" 76	5,78
ФЯУ	Упругое стекловолокно	570	40	" 86	4,42
ФЯП	Модифицированный пенополиуретан, эластичный, самозатухающий	350	60	70—80	4,77

и в сухом виде; ячейки сухих фильтров регенерируют путем промывки водой. Фильтры ФЯУ не регенерируются; при достижении предельной пылеемкости фильтрующий слой следует заменить новым. Фильтры ФЯП регенерируют путем промывки в теплой воде или отсасывания уловленной пыли пылесосом. Данные табл. 8.46 приведены для удельной воздушной нагрузки 7000 м³/(ч·м²). Входное сечение фильтра — 0,22 м²; пропускная способность — 1540 м³/ч.

8.4. РАЗМЕЩЕНИЕ И КОМПОНОВКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Приемные устройства для наружного воздуха приточных установок размещают на высоте не менее 2 м от уровня земли (допускается 1 м при размещении в зеленой зоне). Их можно размещать над кровлей зданий в местах с концентрацией вредных веществ, не превышающих 30 % ПДК для рабочей зоны. Приемные устройства над кровлей не предусматривают при наличии технологических выбросов и выбросов из систем местных отсосов.

Расстояние от приемного устройства до выбросов общеобменной вентиляции по горизонтали принимают равным не менее 10 эквивалентным диаметрам выбросного проема, но не менее 20 м. Допускается это расстояние принимать 10 м при выбросе воздуха с парами или газами, имеющими плотность менее 0,8 плотности воздуха. При размещении на плоских кровлях приемных устройств на расстоянии более 20 м от наружных стен высота забора воздуха должна быть не менее 3 м от уровня кровли или фонарей.

Воздухоприемные устройства проектируют по чертежам типовой серии 1.494-27. Их принимают общими для приточных установок, обслуживающих помещения с производствами категорий А, Б и Е в любом сочетании, но отдельными от приемных устройств систем, обслуживающих помещения с производствами категорий В, Г и Д.

Наружный воздух подвергают очистке от пыли в соответствии с требованиями § 8.3. Для систем воздушного душирования фильтры устанавливают независимо от запыленности наружного воздуха. Их располагают перед оборудованием тепловлажностной обработки воздуха.

Помещения, близкие по характеру производства, режиму работы и метеорологическим условиям, обслуживаются отдельной приточной установкой.

Вентиляционные установки любой производительности, обслуживающие помещения с производствами категорий А, Б, Е и производительностью более 40 тыс. м³/ч для производств категории В устанавливают в изолированных помещениях, кроме подвальных этажей. При удалении горючих и взрывоопасных веществ системами местных отсосов и аварийной вентиляции вентиляционные установки размещают снаружи зданий. Вентиляционные установки, создающие шум выше допустимого, размещают в отдельных помещениях (вентиляционных камерах).

Установки приточной вентиляции, работающие без рециркуляции воздуха, можно размещать в общей вентиляционной камере. Если при этом часть оборудования системы предназначена для помещений с производствами категорий А, Б и Е или

помещений, в которых выделяются вредные вещества 1-го и 2-го классов опасности, то на всех приточных воздуховодах при выходе их из вентиляционной камеры устанавливаются самозакрывающиеся обратные клапаны по чертежам серии 3.904-18.

В отдельных вентиляционных камерах размещают установки приточной вентиляции, работающие с рециркуляцией воздуха, если они предназначены для помещений с производствами категории В, а в общих камерах — если вентиляционное оборудование предназначено для помещений с производствами категорий Г и Д.

Нельзя устанавливать в общем помещении оборудование приточных и вытяжных систем, если приточные установки обслуживают помещения с производствами категорий А, Б и Е или помещения, в которых выделяются вредные вещества 1—3-го классов опасности. Совместная установка допускается при обслуживании помещений с производствами только категории В или Г и Д.

В одной общей вентиляционной камере допускается размещение оборудования систем местных отсосов и общеобменной вытяжной вентиляции для помещений с производствами категорий Г и Д, В и Д или А, Б и Е. Это недопустимо при возможном образовании отложений взрывоопасных или горючих веществ в воздуховодах и оборудовании.

На помещения, в которых размещают оборудование вытяжных систем и местных отсосов, распространяются все требования взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности, предъявляемые к помещениям, которые эти системы обслуживают. При обслуживании нескольких помещений принимают требования к высшей категории производства.

Помещения для оборудования приточных систем должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к помещениям с производствами категории В при наличии масляных фильтров с количеством масла в одном фильтре 60 кг и более, категории Д — в остальных случаях для систем без применения рециркуляции воздуха и той категории, к которой отнесены производства в помещениях, обслуживаемых системами с применением рециркуляции воздуха.

Помещения для вентиляционного оборудования систем, обслуживающих помещения категорий А, Б и Е, и для оборудования местных отсосов взрывоопасных веществ не допускается использовать в других целях. В помещениях для оборудования приточных систем допускается устройство вводов теплоносителя, бойлерных и водяных насосных.

Площади, необходимые для размещения приточных вентиляционных установок на современных машиностроительных предприятиях, составляют 8—12 % общей производственной площади. Приточные установки располагают во вставках, в межферменном пространстве, на антресолях и в галереях на кровлях зданий. Вариант компоновки вентиляционного центра во вставке с применением возможных конструкций приточных установок показан на рис. 8.23.

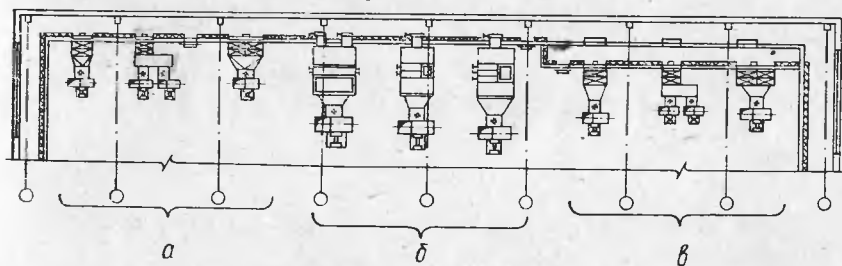


Рис. 8.23. Вариант компоновки вентиляционного центра:

а — приточные установки без фильтров; б — приточные камеры 2ПК; в — приточные установки с фильтром.

Помещения вентиляционных установок оборудуют подъемно-транспортными средствами. Размеры монтажных проемов должны соответствовать габаритам оборудования. Высоту вентиляционного помещения принимают не менее чем на 0,8 м больше высоты оборудования, но не менее 1,9 м от пола до низа выступающих конструкций перекрытий. Ширина проходов для обслуживания оборудования должна быть не менее 0,7 м.

В вентиляционных камерах с оборудованием вытяжных систем, обслуживающих помещения с выделением веществ 1-го и 2-го классов опасности или помещения

с производствами категорий А, Б и Е, обеспечивают вытяжку в объеме не менее однократного обмена воздуха в час. Для вентиляционных камер приточных систем, обслуживающих помещения с теми же условиями, проектируют приточную вентиляцию с кратностью воздухообмена не менее 2 ч^{-1} , предусматривая отбор воздуха от любой приточной установки, расположенной в данном помещении. При этом воздуховод для подачи воздуха присоединяют до места установки самозакрывающегося обратного клапана.

В вентиляционных помещениях предусматривают освещение, водопровод и канализацию.

Рекомендуется применять типовые приточные камеры.

Приточные вентиляционные камеры типа 2ПК по типовому проекту серии 5.904-12 собирают из отдельных секций, изготавливаемых на заводах. Производительность

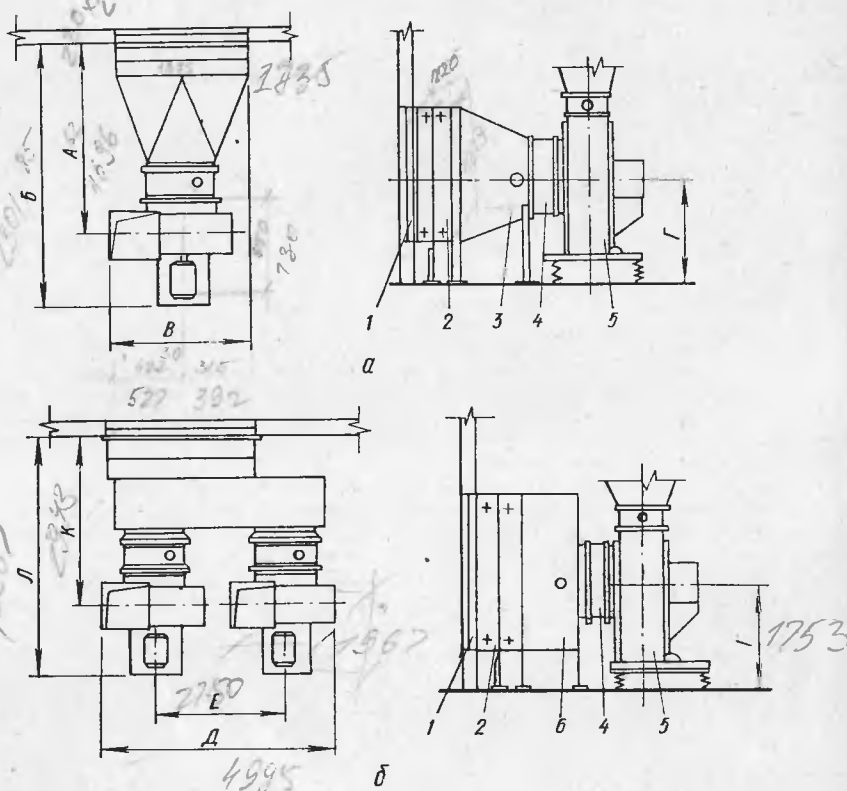


Рис. 8.24. Унифицированные приточные вентиляционные установки серии 1.494-26:

а — с одним вентилятором; б — с двумя вентиляторами; 1 — рама; 2 — калориферы; 3 — диффузор; 4 — гибкая вставка; 5 — вентилятор; 6 — воздухораспределительная коробка.

камер, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$: 2ПК10 — 3,5—10, 2ПК20 — 10—20, 2ПК31,5 — 20—31,5, 2ПК40 — 31,5—40, 2ПК63 — 40—63, 2ПК80 — 63—80, 2ПК125 — 80—125, 2ПК125А — 125—150. Камеры применяют в приточных установках без рециркуляции и с рециркуляцией воздуха, что может быть использовано для дежурного отопления. В секциях приточных камер могут осуществляться очистка, нагрев и адиабатическое увлажнение воздуха. Для фильтров с развитой поверхностью применен фильтрующий материал двух видов — типа ФСВУ и ФРНК ПГ. Приемные секции оборудованы утепленными заслонками с электроподогревом (типа КВУ) или без него (типа П) для подачи

наружного воздуха и регулируемыми заслонками для подачи рециркуляционного воздуха. Для тепловой обработки воздуха применены многоходовые калориферы типа КВС-П, КВБ-П, КСк-3 и КСк-4 с обводными заслонками.

Институт Госхимпроект разработал типовые проектные решения унифицированных конструкций приточных вентиляционных установок серии 1.494-26 (рис. 8.24, табл. 8.47). Их применение сокращает сроки монтажа и объем строительных работ,

Таблица 8.47. Унифицированные приточные вентиляционные установки серии 1.494-26 (см. рис. 8.24).

Номер вентиляционного агрегата Ц4-70	Производительность установок, тыс. м ³ /ч	Размеры, мм							
		А	Б	В*	Г*	Д	Е	К	Л
2,5	0,3—1,2	1296	1716	620	390	1186	700	1296	1716
3,2	1—3	1391	1891	760	368	1398	800	1391	1891
4	2—3,5	1560	2133	740	480	1679	940	1560	2133
5	3,5—8	1696	2301	1203	602	2322	1410	1696	2301
6,3	4—12	1876	2666	1703	880	2807	1650	1936	2726
8	8—20	2176	3245	1720	1045	3422	1960	2236	3265
10	12—36,8	2444	3610	2040	1342	4130	2320	2504	3670
12,5	20—48	2883	4307	2550	1753	4995	2750	2943	4367

* Максимальные размеры.

а также способствует индустриализации изготовления конструкций. Предусмотрены варианты комплектования приточных установок двумя вентиляторами при необходимости их параллельной работы или резервирования. Каждому номеру вентилятора соответствует определенное сочетание калориферов. По таблицам, составленным на перепад температур от -53 до 46°C с интервалом 5°C и $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, подбирают калориферную установку.

К обязательным элементам автоматизации приточной установки относят защиту калориферов от замерзания, включение и переключение резервных агрегатов при выходе из строя рабочих агрегатов, централизованное отключение систем при возникновении пожара. На крупных промышленных предприятиях при большом количестве автоматизированных отопительно-вентиляционных установок рекомендуется предусматривать их диспетчеризацию, включающую централизованный контроль, управление и сигнализацию.

9. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

9.1. ВОЗДУХОВОДЫ

Нормируемые размеры поперечного сечения воздуховодов принимаются по СНиП II-33-75. Воздуховоды следует проектировать круглого сечения. Как исключение, при обосновании допускается применение воздуховодов прямоугольного сечения. Материал воздуховодов зависит от характеристики транспортируемой среды. При перемещении воздуха с температурой не более 80°C для воздуховодов диаметром до 200, 225—450, 500—800, 900—1600, 1800—2000 мм толщину листовой стали принимают соответственно 0,5; 0,6; 0,7; 1; 1,4 мм; а при перемещении воздуха с температурой более 80°C — 1,4 мм. Для воздуховодов прямоугольного сечения размером от 100×150 до 200×250 , от 200×300 до 1000×1000 , от 1000×1200 до 1600×2000 мм толщину стали принимают соответственно 0,5; 0,7; 0,9 мм. Для воздуховодов с размером одной из сторон более 2000 мм толщину стали устанавливают по условиям прочности.

Воздуховоды аспирационных установок должны быть сварными, круглого сечения из листовой стали толщиной 1,5—2 мм, а при перемещении высокоабразивной пыли с содержанием ее свыше $1000 \text{ мг}/\text{м}^3$ — 2,5—3 мм. Фасонные части воздуховодов

следует изготавливать из листовой стали толщиной на 1 мм больше, чем прямолинейные участки.

В табл. 9.1 даны рекомендации по применению защитных покрытий для стальных воздуховодов, приведенные по данным ГПИ «Госхимпроект».

Таблица 9.1. Защитные покрытия для стальных воздуховодов в зависимости от агрессивности среды

Вид агрессивной среды	Относительная влажность воздуха, %	Защитные покрытия			
		Грунт		Покрытие	
		Вид	Количество слов	Вид	Количество слов
Газовоздушная среда, не содержащая химически активных примесей	До 60	Масляный с железным суриком с обеих сторон	1	а) Масляная краска б) Лак БТ-577 с добавлением 20 % алюминиевой пудры	2 2
	Более 60	Эмаль ХС-010	1	а) Эмаль ПХВ б) Эмаль ХВХ-75	2 2
Воздушная среда, содержащая пары азотной кислоты и ее газы (окислы азота)	До 60	То же	1	Эмаль ХВ-785 и лак ХВ-784	1
	Более 60	Лак БТ-783, БТ-577 или ХС-068	1	Лак БТ-783 в смеси с ХВ-784	2
		ХС-010	2	Эмаль ХВ-785 и лак ХВ-784	3 2
		БТ-783	2	Лак БТ-783	3
Воздушная среда, содержащая пары серной кислоты и ее газы	До 60	ХС-068 в смеси с ХВ-784	1	а) Лак ХВ-784 с добавлением 20 % алюминиевой пудры б) Лак ХВ-784	2 4
	Более 60	ХС-010	2	а) Эмаль ХВ-785 б) Эмаль ХС-710 и лак ХС-76	3 3 3
		БТ-783, БТ-577, ХС-068 или ХС-067	1	а) Лак БТ-783, БТ-577 или ХС-068 б) Лак БТ-577 с добавлением 20 % алюминиевой пудры	1 3
		То же	1	а) Лак БТ-783, БТ-577 или ХС-068 б) Лак БТ-577 с добавлением 20 % алюминиевой пудры	3 3
Газовоздушная среда, содержащая пары серной кислоты, окислов азота малых концентраций, хлора, хлористого водорода, соляной кислоты, органических кислот, эфиров, метилового и этилового спиртов, толуола, сернистый газ	Любая	Бакелитовый лак с наполнителем (графит, андезитовая мука, каолин) — до 40 %	2	Бакелитовый лак	2
		ХС-010	2	Эмаль ХВ-785 в лак ХВ-784	4 2

Примечание. При относительной влажности более 60 % грунтовка и окраска производятся со стороны повышенной влажности.

Для приточно-вытяжных систем общего назначения, а также при перемещении воздуха с химически нейтральными вредными выделениями в качестве воздуховодов рекомендуется применять асбестоцементные безнапорные трубы.

Для агрессивной среды, например, местной вытяжной вентиляции в гальванических и травильных цехах, рекомендуется применять винипласт. Однако его использование ограничено температурой 65 °С и пожароопасностью.

Для агрессивных сред рекомендуются также вентиляционные устройства из титановых сплавов, выпускаемых в виде холоднокатаных листов толщиной 0,3—10 мм, прутков диаметром 10—60 мм и сварочной проволоки диаметром 1—7 мм. Для воздуховодов систем местных отсосов следует применять сплавы ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0 и ОТ4-1, обладающие высокой пластичностью и коррозионной стойкостью.

Таблица 9.2.
(ГОСТ 3575—75)

50	48	62	64	800	4	4,6
75	72	87	89	1200	5,5	6,4
100	97	113	—	1500	7,5	—
150	147	163	—	2500	13,5	—
200	195	214	—	3000	18,5	—
250	245	254	—	3000	23,5	—
300	295	314	—	3000	26,5	—

Применение воздуховодов из нержавеющей стали должно быть обосновано. Для соединения вентиляционных систем с подвижными или нестационарными местными отсосами рекомендуются гибкие рукава (табл. 9.2).

Воздуховоды систем вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха изготавливают из унифицированных деталей по нормам ВСН 353-75 Монтажспецстрой СССР, а воздуховоды систем аспирации и пневмотранспорта — по нормам серии АЗ-187.

9.2. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Потерю давления в участке воздуховода, Па, определяют как сумму потерь давления на трение $\Delta p_{\text{тр}}$, Па, и на преодоление местных сопротивлений Δp_z , Па:

$$\Delta p = \Delta p_{TP} + \Delta p_z; \quad (9.1)$$

где

$$\Delta p_{\text{m}} = \Delta p_R l; \quad (9.2) \quad \Delta p_z = p_A \Sigma \xi; \quad (9.3)$$

$$\Delta p_R = \frac{\lambda}{d} p_R; \quad (9.4) \quad p_R = v^2 \rho / 2; \quad (9.5)$$

Δp_R — удельные потери давления на трение, Па/м (рис. 9.1); l — расчетная длина участка воздуховода, м; ξ — коэффициент местного сопротивления вентиляционных устройств участка (табл. 3.2, 9.3, 9.4, рис. 9.2, 9.3); p_d — динамическое давление потока, Па, в том сечении, к которому отнесен коэффициент местного сопротивления; λ — безразмерный коэффициент трения; d — внутренний диаметр воздуховода, м; v — скорость движения воздуха, м/с; ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Коэффициенты местного сопротивления крестовины принимают равными соответствующим коэффициентам бокового ответвления и прохода прямого тройника (рис. 9.2, 9.3), а штанообразного тройника — боковому ответвлению прямого тройника.

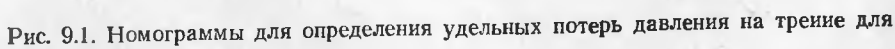
Коэффициент трения определяют по универсальной формуле А. Д. Альтшуля

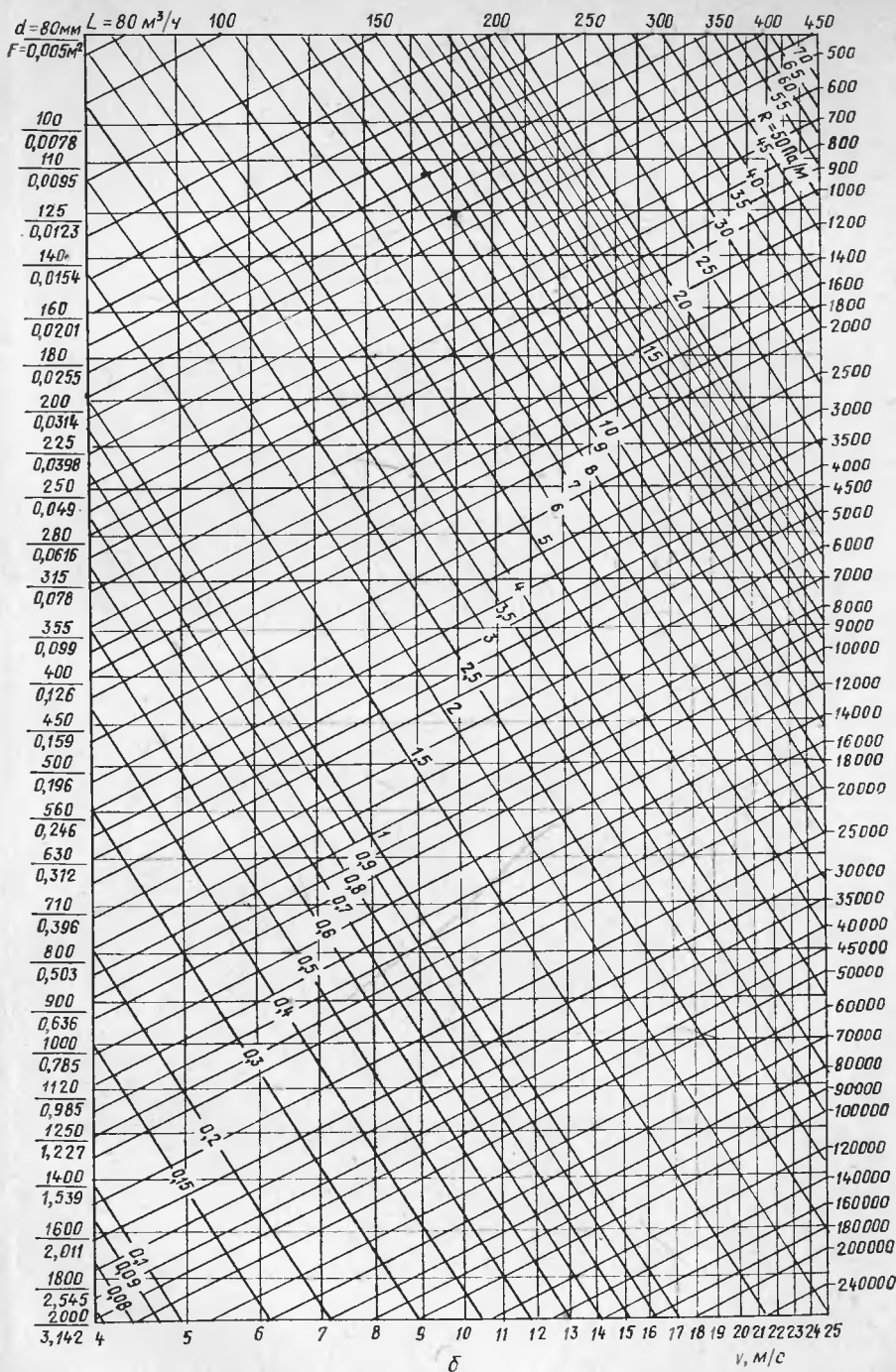
$$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_2}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25}, \quad (9.6)$$

где k_s — абсолютная эквивалентная шероховатость, равная средней величине выступов на внутренней поверхности воздухопроводов (табл. 9.5).

Для определения удельной потери давления на трение $\Delta p_{\text{тр}}$ рекомендуется [50] при $4 \cdot 10^3 < \text{Re} < 6 \cdot 10^4$ использовать зависимость

$$\lambda = 0,3164/\text{Re}^{1/4}. \quad (9.7)$$





труб круглого сечения при скоростях движения воздуха до 4 (а) и 4—25, м/с (б).

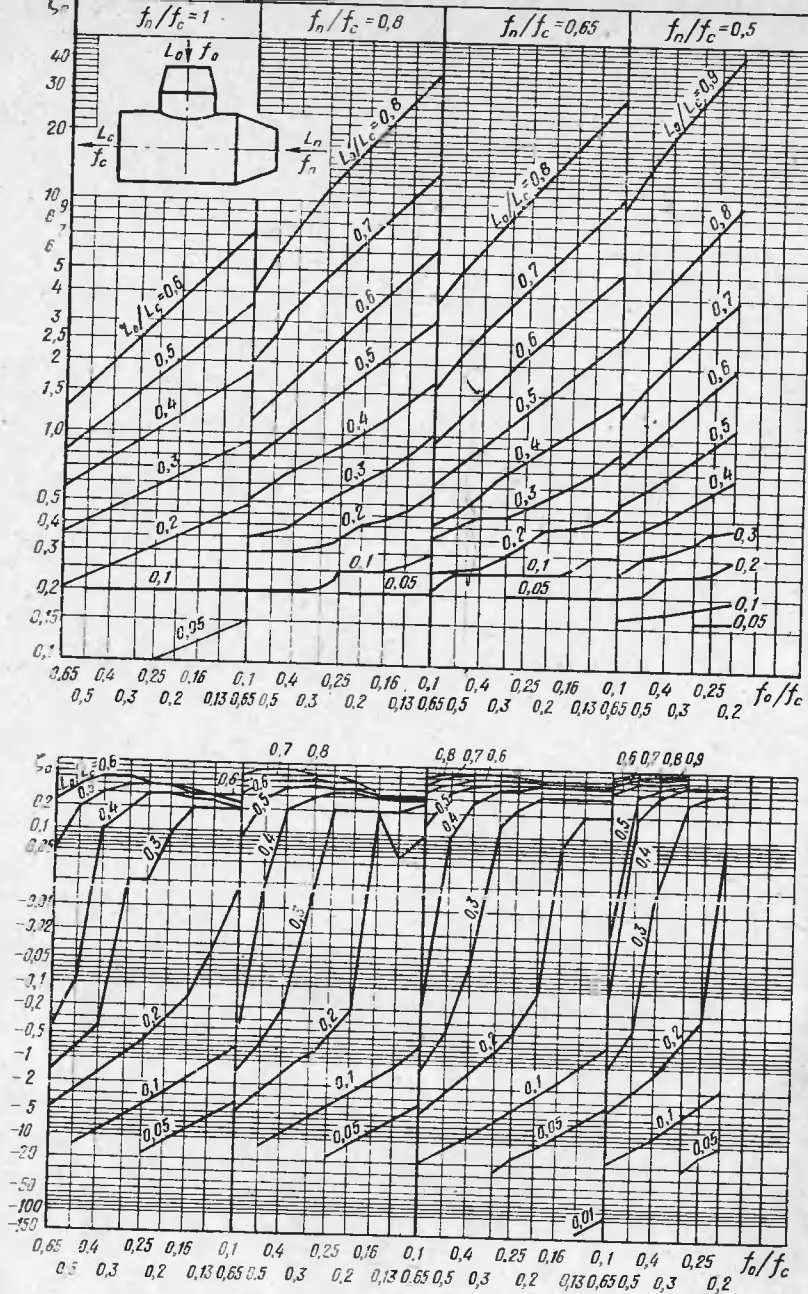


Рис. 9.2. Номограммы для определения коэффициентов местного сопротивления унифицированного тройника, используемого в режиме всасывания.

при $6 \cdot 10^4 < Re < 10^9$ — зависимость

$$\lambda = 0,1266/\text{Re}^{1/6}.$$

(9.8)

Номограмма (рис. 9.1) построена с использованием формул (9.7) и (9.8) при плотности воздуха $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$ и кинематической вязкости $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Значение Δp_R для прямоугольного, близкого к квадратному сечения воздуховода сторонами a и b равно Δp_R для круглого сечения с эквивалентным диаметром $= 2ab/(a+b)$, а для вытянутого — тому же значению, но с коэффициентом 1,1 [15].

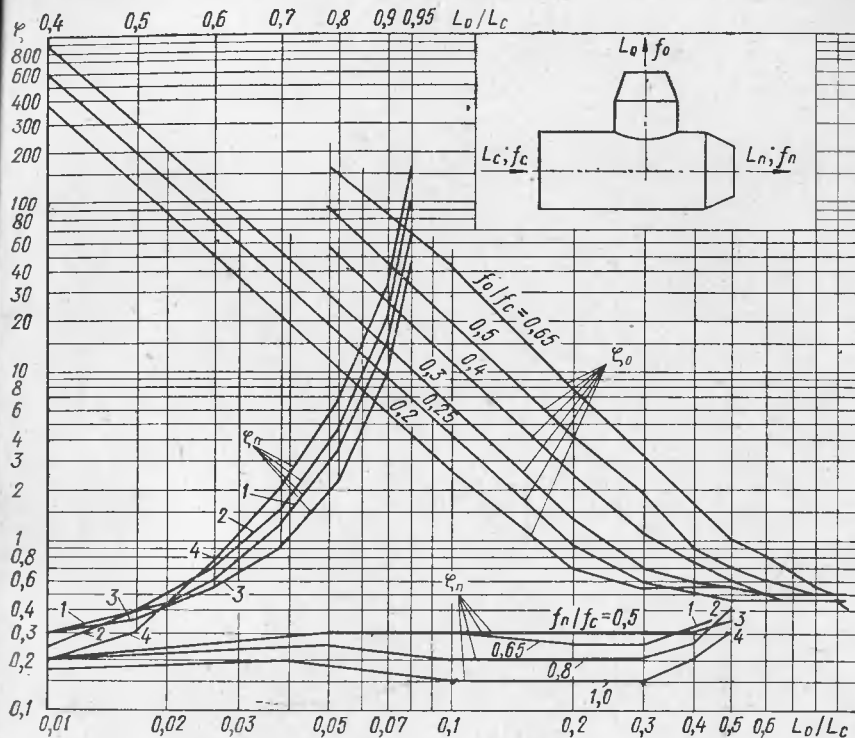


Рис. 9.3. Номограмма для определения коэффициентов местного сопротивления унифицированного тройника, используемого в режиме нагнетания.

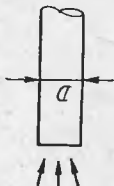
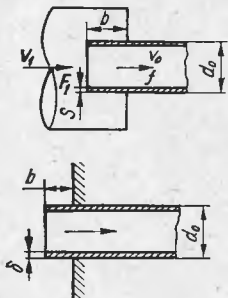
Аэродинамический расчет вентиляционной системы выполняют с целью выбора диаметров воздуховодов, регулирующих устройств и побудителей движения воздуха. Порядок расчета следующий.

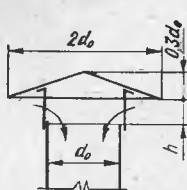
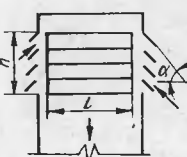
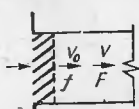
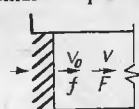
1. Компонуют вентиляционную систему. При этом унифицированные тройники ориентируют так, чтобы расход воздуха в боковом ответвлении был не больше расхода его в проходной части тройника.

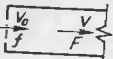
2. Строят аксиометрическую схему вентиляционной системы и на ней обозначают известные расходы в участках. Решая последовательно уравнения расходов масс воздуха в узлах, находят расходы во всех участках и необходимый общий расход воздуха.

3. Предварительно намечают скорости движения воздуха, м/с: 4—6 — в концевых участках, 6—8 — в воздухопроводах, непосредственно соединенных с концевыми участками, 8—10 — в воздухопроводах, не связанных непосредственно с концевыми участками и удаленных от вентилатора, 10—13 — в участках, близких к вентилатору, но непосредственно не соединенных с ним, и 14—15 — в участках, непосредственно соединенных с вентилатором.

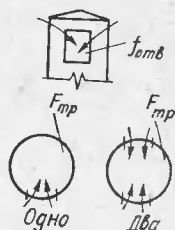
Таблица 9.3. Коэффициенты местных сопротивлений вентиляционных устройств [15, 17, 7, 50]

Устройство	Значения ζ																																																																		
Вход в устройство																																																																			
Прямая труба с острой кромкой	$\zeta=1$																																																																		
																																																																			
Вход в трубу из ограниченного объема и заделанный в стену	<table><tr><th rowspan="2">δ/d_0</th><th colspan="6">ζ при b/d_0</th></tr><tr><th>0</th><th>0,01</th><th>0,05</th><th>0,1</th><th>0,2</th><th>0,5 и более</th></tr><tr><td>0</td><td>0,5</td><td>0,68</td><td>0,8</td><td>0,86</td><td>0,92</td><td>1</td></tr><tr><td>0,01</td><td>0,5</td><td>0,57</td><td>0,66</td><td>0,72</td><td>0,78</td><td>0,85</td></tr><tr><td>0,02</td><td>0,5</td><td>0,52</td><td>0,55</td><td>0,6</td><td>0,66</td><td>0,72</td></tr><tr><td>0,03</td><td>0,5</td><td>0,51</td><td>0,52</td><td>0,54</td><td>0,57</td><td>0,61</td></tr><tr><td>0,04</td><td>0,5</td><td>0,51</td><td>0,51</td><td>0,52</td><td>0,52</td><td>0,53</td></tr><tr><td>0,05</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr></table>	δ/d_0	ζ при b/d_0						0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5 и более	0	0,5	0,68	0,8	0,86	0,92	1	0,01	0,5	0,57	0,66	0,72	0,78	0,85	0,02	0,5	0,52	0,55	0,6	0,66	0,72	0,03	0,5	0,51	0,52	0,54	0,57	0,61	0,04	0,5	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,05	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5											
δ/d_0	ζ при b/d_0																																																																		
	0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,5 и более																																																													
0	0,5	0,68	0,8	0,86	0,92	1																																																													
0,01	0,5	0,57	0,66	0,72	0,78	0,85																																																													
0,02	0,5	0,52	0,55	0,6	0,66	0,72																																																													
0,03	0,5	0,51	0,52	0,54	0,57	0,61																																																													
0,04	0,5	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53																																																													
0,05	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5																																																													
																																																																			
Коллектор конический	<table><tr><th rowspan="2">l/d_0</th><th colspan="5">ζ при φ, град</th></tr><tr><th>30</th><th>45</th><th>60</th><th>90</th><th>120</th></tr><tr><td rowspan="2">0,025</td><td>0,9 0,45</td><td>0,85 0,4</td><td>0,8 0,4</td><td>0,7 0,4</td><td>0,65 0,45</td></tr><tr><td>0,8 0,35</td><td>0,75 0,3</td><td>0,65 0,3</td><td>0,6 0,35</td><td>0,55 0,4</td></tr><tr><td rowspan="2">0,05</td><td>0,65 0,3</td><td>0,55 0,25</td><td>0,55 0,25</td><td>0,5 0,3</td><td>0,45 0,35</td></tr><tr><td>0,55 0,25</td><td>0,45 0,2</td><td>0,4 0,2</td><td>0,4 0,25</td><td>0,4 0,3</td></tr><tr><td rowspan="2">0,1</td><td>0,3 0,15</td><td>0,2 0,15</td><td>0,2 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr><tr><td>0,2 0,15</td><td>0,15 0,1</td><td>0,15 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr><tr><td rowspan="2">0,3</td><td>0,2 0,15</td><td>0,15 0,1</td><td>0,15 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr><tr><td>0,2 0,15</td><td>0,15 0,1</td><td>0,15 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr><tr><td rowspan="2">0,5</td><td>0,2 0,15</td><td>0,15 0,1</td><td>0,15 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr><tr><td>0,2 0,15</td><td>0,15 0,1</td><td>0,15 0,15</td><td>0,2 0,2</td><td>0,25 0,3</td></tr></table>	l/d_0	ζ при φ , град					30	45	60	90	120	0,025	0,9 0,45	0,85 0,4	0,8 0,4	0,7 0,4	0,65 0,45	0,8 0,35	0,75 0,3	0,65 0,3	0,6 0,35	0,55 0,4	0,05	0,65 0,3	0,55 0,25	0,55 0,25	0,5 0,3	0,45 0,35	0,55 0,25	0,45 0,2	0,4 0,2	0,4 0,25	0,4 0,3	0,1	0,3 0,15	0,2 0,15	0,2 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3	0,3	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3	0,5	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3
l/d_0	ζ при φ , град																																																																		
	30	45	60	90	120																																																														
0,025	0,9 0,45	0,85 0,4	0,8 0,4	0,7 0,4	0,65 0,45																																																														
	0,8 0,35	0,75 0,3	0,65 0,3	0,6 0,35	0,55 0,4																																																														
0,05	0,65 0,3	0,55 0,25	0,55 0,25	0,5 0,3	0,45 0,35																																																														
	0,55 0,25	0,45 0,2	0,4 0,2	0,4 0,25	0,4 0,3																																																														
0,1	0,3 0,15	0,2 0,15	0,2 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
0,3	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
0,5	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
	0,2 0,15	0,15 0,1	0,15 0,15	0,2 0,2	0,25 0,3																																																														
Числитель — без заделки в стену, знаменатель — с заделкой																																																																			

Устройство	Значения ζ																															
Приточная шахта с зонтом 	h/d_0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 ζ 2,63 1,83 1,53 1,39 1,31 h/d_0 0,6 0,7 0,8 0,9 1 ζ 1,19 1,15 1,08 1,07 1,05 Для круглых и квадратных зонтов серии 1.494-32 $\zeta=1,4$, для прямоугольных — 1,25																															
Прямоугольная приточная шахта с четырьмя жалюзийными решетками 	<table><tr><th rowspan="2">α, град</th><th colspan="3">ζ при l/h</th></tr><tr><th>1,5</th><th>1</th><th>0,5</th></tr><tr><td>30</td><td>2,5</td><td>3,6</td><td>6</td></tr><tr><td>45</td><td>3,8</td><td>13,7</td><td>21,5</td></tr></table>	α , град	ζ при l/h			1,5	1	0,5	30	2,5	3,6	6	45	3,8	13,7	21,5																
α , град	ζ при l/h																															
	1,5	1	0,5																													
30	2,5	3,6	6																													
45	3,8	13,7	21,5																													
Жалюзийная решетка со скошенными каналами  То же, с горизонтально срезанными кромками 	<table><tr><th rowspan="2">Вид решетки</th><th colspan="7">ζ при f/F</th></tr><tr><th>0,2</th><th>0,3</th><th>0,4</th><th>0,5</th><th>0,6</th><th>0,7</th><th>0,8</th></tr><tr><td>Со скошенными каналами</td><td>55</td><td>25</td><td>12</td><td>7</td><td>4,6</td><td>3</td><td>2,1</td></tr><tr><td>С горизонтально срезанными кромками</td><td>33</td><td>14</td><td>7,5</td><td>4,5</td><td>2,8</td><td>1,8</td><td>1,2</td></tr></table>	Вид решетки	ζ при f/F							0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	Со скошенными каналами	55	25	12	7	4,6	3	2,1	С горизонтально срезанными кромками	33	14	7,5	4,5	2,8	1,8	1,2
Вид решетки	ζ при f/F																															
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8																									
Со скошенными каналами	55	25	12	7	4,6	3	2,1																									
С горизонтально срезанными кромками	33	14	7,5	4,5	2,8	1,8	1,2																									
Щелевая решетка типа Р (серия 1.494-10) 	$\zeta=2$																															

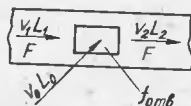
Устройство	Значения ζ																																								
Воздуховод с сеткой 	$\zeta_{\text{в}} = 1 + \zeta_{\text{с}}$																																								
	<table><tr><th rowspan="2">Материал сетки</th><th colspan="10">$\zeta_{\text{с}}$ при f/F</th></tr><tr><th>0,1</th><th>0,2</th><th>0,3</th><th>0,4</th><th>0,5</th><th>0,6</th><th>0,7</th><th>0,8</th><th>0,9</th></tr><tr><td>Проволока</td><td>82</td><td>17</td><td>6,2</td><td>2,9</td><td>1,5</td><td>0,85</td><td>0,5</td><td>0,26</td><td>0,11</td></tr><tr><td>Нить</td><td>172</td><td>35</td><td>13</td><td>6</td><td>3,8</td><td>1,8</td><td>1</td><td>0,55</td><td>0,23</td></tr></table>	Материал сетки	$\zeta_{\text{с}}$ при f/F										0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	Проволока	82	17	6,2	2,9	1,5	0,85	0,5	0,26	0,11	Нить	172	35	13	6	3,8	1,8	1	0,55	0,23
	Материал сетки		$\zeta_{\text{с}}$ при f/F																																						
0,1		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9																																
Проволока	82	17	6,2	2,9	1,5	0,85	0,5	0,26	0,11																																
Нить	172	35	13	6	3,8	1,8	1	0,55	0,23																																

Первое боковое отверстие прямой трубы круглого сечения



$f_o/F_{\text{тр}}$	Одно отверстие									
ζ				0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$f_o/F_{\text{тр}}$				64,5	30	14,9	9	6,27		
ζ				0,7	0,8	0,9	1	1,2		
$f_o/F_{\text{тр}}$				4,54	3,54	2,7	2,28	1,6		
ζ										
$f_o/F_{\text{тр}}$	Два отверстия									
ζ				0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$f_o/F_{\text{тр}}$				65,5	36,5	17	12	8,75	6,85	
ζ				0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$f_o/F_{\text{тр}}$				5,5	4,54	3,84	2,76	2,01	1,4	1,1
ζ										

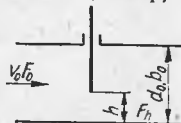
Среднее отверстие прямой трубы круглого сечения



f_o/F	ζ_o (вход)									
	$\zeta_{\text{п}}$ (проход)									
	при L_o, L_z									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	0,8	1,3	1,4	1,4	1,4	0,1	-0,1	-0,8	-2,6	-6,6
0,2	-1,4	0,9	1,3	1,4	1,4	0,1	0,2	-0,01	-0,6	-2,1
0,4	-9,5	0,2	0,9	1,2	1,3	0,2	0,3	0,3	0,2	-0,2
0,6	-21,2	-2,5	0,3	1	1,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3

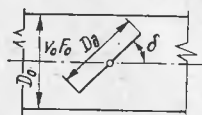
Изменение скоростей потоков

Задвижка (шибер)



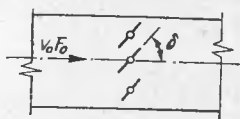
Круглое сечение										
F_h/F_o	0,25	0,38	0,5	0,61	0,71	0,81	0,9	0,96		
ζ_o	35	10	4,6	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06		
Прямоугольное сечение										
h/b_o	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9		
ζ_o	203	86,5	48,7	17,9	8,78	4,47	1,12	0,13		

Дроссель-клапан односторонний

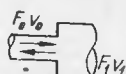


Круглое сечение										
δ , град	0	10	20	30	40	50	60	70	75	
ζ	0,6	0,85	1,7	4	9,4	24	67	215	400	
Прямоугольное сечение										
δ , град	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ζ	0,04	0,3	1,1	3	8	23	60	200	1500	8000

Устройство

Значения ζ Дроссель-клапан много-
створчатый

Колл- чество створок	ζ при δ , град									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
2	0,17	0,4	1,1	2,2	5,5	11,5	30	80	300	7000
3	0,14	0,250	0,8	2	4,5	10	20	40	140	7000
4	0,12	0,22	0,73	1,7	4	8	14	30	110	6000
5	0,15	0,2	0,65	1,5	3	7	13	25	70	5000
6	0,20	0,35	1	2,3	4,8	8,5	16	35	150	—

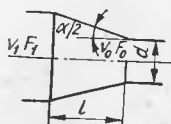
Изменение поперечного
сечения

Внезапное расширение потока

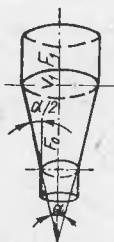
F_0/F_1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
ζ_0	1	0,81	0,64	0,5	0,36	0,25	0,16	0,09	0,04	0

Внезапное сужение

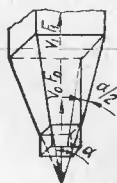
F_0/F_1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
ζ_0	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0

Конфузор в сети [при
прямоугольном сечении
 $d=2ab/(a+b)$]

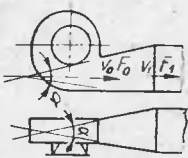
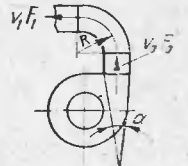
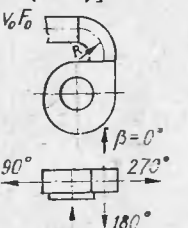
l/d	ζ_0 при α , град			
	10	20	30	40
0,1	0,41	0,34	0,27	0,24
0,15	0,39	0,29	0,22	0,18
0,6	0,29	0,2	0,15	0,13
>0,6	0,1			

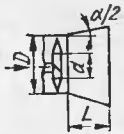
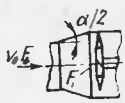
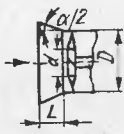
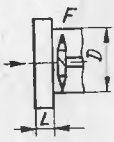
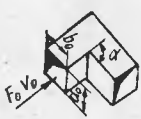
Диффузор конический в
сети

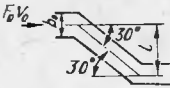
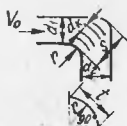
F_0/F_1	ζ_0 при α , град							
	10	12	14	16	20	24	30	40
0,2	0,12	0,14	0,17	0,19	0,25	0,32	0,43	0,61
0,25	0,1	0,12	0,15	0,17	0,22	0,28	0,37	0,49
0,3	0,09	0,11	0,13	0,15	0,2	0,25	0,33	0,42
0,4	0,08	0,09	0,1	0,12	0,15	0,19	0,25	0,35
0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,25
0,6	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,17

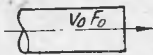
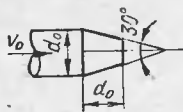
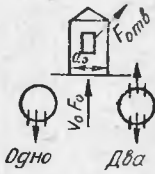
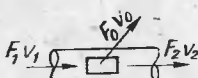
Диффузор пирамидаль-
ный в сети

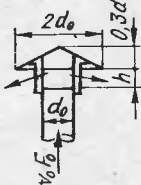
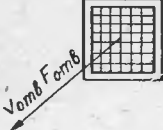
F_0/F_1	ζ_0 при α , град							
	10	12	16	18	20	24	28	40
0,2	0,14	0,17	0,24	0,28	0,31	0,4	0,49	0,69
0,25	0,13	0,16	0,21	0,24	0,27	0,35	0,43	0,61
0,3	0,11	0,13	0,19	0,22	0,24	0,31	0,38	0,53
0,4	0,09	0,1	0,14	0,16	0,18	0,23	0,28	0,4
0,5	0,07	0,08	0,1	0,12	0,13	0,17	0,2	0,28
0,6	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,19

Устройство	Значения ζ								
Диффузор пирамидальный за центробежным вентилятором 	α , град	ζ_0 при F_1/F_0							
		1,5	2	2,5	3	3,5	4		
	10	0,1	0,18	0,18	0,23	0,24	0,25		
	15	0,23	0,33	0,38	0,4	0,42	0,44		
	20	0,31	0,43	0,48	0,53	0,56	0,58		
	25	0,36	0,49	0,55	0,58	0,62	0,64		
	30	0,42	0,53	0,59	0,64	0,67	0,69		
Диффузор пирамидальный с отводом 90° за вентилятором [$R=1,5d$; $\alpha=15^\circ$; $F_0/F_1=0,5$; $d=2ab/(a+b)$] 	$\zeta_0=2$ при любом угле установки устройства								
Отвод прямоугольный 90° за вентилятором Ц14-46, Ц13-50 [$R=d$; $d=2ab/(a+b)$] 	β , град	.	.	.	.	0	90	180	270
	ζ_0	.	.	.	.	0,35	0,3	0,35	0,45
То же, за вентилятором Ц4-70, Ц4-76						$\zeta_0=0,24$			
То же, за вентилятором Ц14-46, Ц13-50 ($R=2d$)						$\zeta_0=0,4$			
То же, за вентилятором Ц4-70, Ц4-76						$\zeta_0=0,43$			
Переход с квадрата на круг равновеликой площади за вентилятором Ц14-46, Ц13-50						$\zeta_0=0,15$			
То же, за вентилятором Ц4-70, Ц4-76						$\zeta_0=0,1$			

Устройство	Значения ζ
То же, перед вентилятором Ц4-70 ($F_k/F_{вх}=2,4$; $\alpha=12^\circ$; $b/a=2,3$)	β , град 0 90 180 270 ζ_0 0,4 0,42 0,5 0,66
Диффузор конический за осевым вентилятором 	$\zeta=0,2$ к скорости в сечении $F=(D^2-d^2)/4$ при $L=(0,7\div 1) D$; $\alpha=20\div 24^\circ$
То же, на входе в осевой вентилятор 	ζ_0 определять как для диффузора конического в сети, принимая $F_0/F_1 \geq 0,5$; $\alpha \leq 10^\circ$
Конус на входе в осевой вентилятор 	$\zeta=0,1$ — к скорости в сечении $F=(D^2-d^2)/4$ при $\alpha=60^\circ$, $L=0,2D$
Уступ на входе в осевой вентилятор 	$\zeta=0,15$ — к скорости в сечении F при $L=(0,1\div 0,3) D$
Колено с острыми кромками 	Изменение направления потока Для квадратного и круглого сечений α , град 20 30 45 60 75 90 110 130 180 ζ 0,13 0,16 0,32 0,56 0,81 1,2 1,9 2,6 3,6 При прямоугольном сечении значение ζ_0 следует умножать на величину c : a/b_0 0,25 0,5 0,75 1 1,5 2 4 6 8 c 1,1 1,07 1,04 1 0,95 0,9 0,78 0,72 0,7

Устройство	Значения
Колено Z-образное 90° 	Для квадратного и круглого сечений l/b_0 0,4 0,6 0,8 1,2 1,4 1,8 2 ζ_0 0,62 0,9 1,61 3,61 4,01 4,22 4,18 l/b_0 2,4 2,8 4 5 6 9 10 15 и более ζ_0 3,65 3,3 3,08 2,92 2,8 2,6 2,45 2,3 При прямоугольном сечении значение ζ_0 следует умножать на величину s , принимаемую для колена с острыми кромками
Колено Z-образное 30° 	$\zeta_0 = 0,16$ при $l/b_0 > 1,5$
Колено П-образное 90° 	Для квадратного сечения b_K/b_0 ζ_0 при l/b_0 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1 1,4 1,6 2 2,4 0,5 7,5 6,9 6,1 5,4 4,7 4,3 4,3 4,4 4,8 5,3 0,73 4,5 3,6 2,9 2,5 2,4 2,3 2,3 2,4 2,7 3,2 1 3,6 2,6 1,8 1,4 1,3 1,2 1,3 1,4 1,6 2,3 2 3,9 2,4 1,5 1 0,8 0,7 0,6 0,6 0,6 0,7 При прямоугольном сечении значение ζ_0 следует умножать на величину s , принимаемую для колена с острыми кромками
Колено 90° с направляющими лопатками $[t = (0,2 \div 0,5) d_1;$ $r = (0,14 \div 0,35) d_1]$ 	r/d_1 0 0,1 0,24 0,3 ζ_0 0,4 0,35 0,2 0,2 $d_K = 0,67 \frac{S}{n+1} \left(1 + \frac{k-1}{n} \right),$ где k — порядковый номер лопатки; $n \approx 1,4 \frac{s}{t}$ — общее число лопаток
Отвод унифицированный из систем общего назначения	$\zeta = 0,23$ при центральном угле $\alpha = 45^\circ$ и 0,35 — при $\alpha = 90^\circ$
Отвод унифицированный из звеньев круглого сечения для систем аспирации	α , град 30 45 60 90 ζ 0,1 0,18 0,21 0,25

Устройство	Значения ζ																																																												
Выход из вентиляционных устройств																																																													
Цилиндрическая труба 	$\zeta_0 = 1,1$																																																												
Цилиндрическая труба с конфузорм 	$\zeta_0 = 4,5$																																																												
Последнее боковое отверстие 	<table><tr><th rowspan="2">Количество отверстий</th><th colspan="6">ζ_0 при $F_{отв}/F_0$</th></tr><tr><th>0,2</th><th>0,3</th><th>0,4</th><th>0,5</th><th>0,6</th><th>0,7</th></tr><tr><td>Одно</td><td>65,7</td><td>30</td><td>16,4</td><td>10,8</td><td>7,3</td><td>5,5</td></tr><tr><td>Два (одно против другого)</td><td>67,7</td><td>33</td><td>17,2</td><td>11,6</td><td>8,45</td><td>6,8</td></tr></table> <table><tr><th rowspan="2">Количество отверстий</th><th colspan="7">ζ_0 при $F_{отв}/F_0$</th></tr><tr><th>0,8</th><th>0,9</th><th>1</th><th>1,2</th><th>1,4</th><th>1,6</th><th>1,8</th></tr><tr><td>Одно</td><td>4,48</td><td>3,67</td><td>3,16</td><td>2,41</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr><tr><td>Два (одно против другого)</td><td>5,86</td><td>5</td><td>4,38</td><td>3,47</td><td>2,9</td><td>2,52</td><td>2,25</td></tr></table>	Количество отверстий	ζ_0 при $F_{отв}/F_0$						0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	Одно	65,7	30	16,4	10,8	7,3	5,5	Два (одно против другого)	67,7	33	17,2	11,6	8,45	6,8	Количество отверстий	ζ_0 при $F_{отв}/F_0$							0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	Одно	4,48	3,67	3,16	2,41	—	—	—	Два (одно против другого)	5,86	5	4,38	3,47	2,9	2,52	2,25		
Количество отверстий	ζ_0 при $F_{отв}/F_0$																																																												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7																																																							
Одно	65,7	30	16,4	10,8	7,3	5,5																																																							
Два (одно против другого)	67,7	33	17,2	11,6	8,45	6,8																																																							
Количество отверстий	ζ_0 при $F_{отв}/F_0$																																																												
	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8																																																						
Одно	4,48	3,67	3,16	2,41	—	—	—																																																						
Два (одно против другого)	5,86	5	4,38	3,47	2,9	2,52	2,25																																																						
Среднее отверстие 	<table><tr><td colspan="10">Выход</td></tr><tr><td>v_0/v_1</td><td>0,4</td><td>0,6</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,4</td><td>1,6</td><td>1,8</td><td>2</td></tr><tr><td>ζ_0</td><td>1,8</td><td>1,7</td><td>1,7</td><td>1,8</td><td>1,9</td><td>2,1</td><td>2,3</td><td>2,6</td><td>3</td></tr><tr><td colspan="10">Прокhod</td></tr><tr><td>v_1/v_2</td><td>0,4</td><td>0,5</td><td>0,6</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,4</td><td>1,6</td><td>2</td></tr><tr><td>ζ_0</td><td>0,06</td><td>0,01</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td><td>-0,03</td></tr></table>	Выход										v_0/v_1	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	ζ_0	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3	Прокhod										v_1/v_2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2	ζ_0	0,06	0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
Выход																																																													
v_0/v_1	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2																																																				
ζ_0	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3																																																				
Прокhod																																																													
v_1/v_2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2																																																				
ζ_0	0,06	0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03																																																				
Дефлектор (серия 1.494-32) 	$\zeta_0 = 0,64$																																																												

Устройство	Значения ζ
Вытяжная шахта с зонтом (серия 1.494-32) 	h/d_0 0,1 0,2 0,3 0,35 0,4 0,5 0,68 0,86 1 ζ_0 4 2,3 1,6 1,4 1,3 1,15 1,1 1 1 Для круглых и квадратных зонтов $\zeta_0 = 1,3$, для прямо- угольных — 1,15
Решетки, сетки, перфорация, отверстия с параллельными направляющими лопатками 	$\zeta_0 = 1,8$

4. Используя номограмму (рис. 9.1), по скоростям и расходам воздуха намечают диаметры воздуховодов и окончательно принимают их после сопоставления с диаметрами унифицированных тройников (табл. 9.6).

5. Рассчитывают действительную скорость воздуха в участках, принимают удельные потери давления на трение Δp_R (см. рис. 9.1), вычисляют $\Delta p_{тр}$ по формуле (9.2). По табл. 3.2, 9.3, 9.4 и рис. 9.2, 9.3 принимают коэффициенты местного сопротивления в участках ζ и вычисляют их сумму: по формулам (9.5), (9.3) и (9.1) определяют динамическое давление p_d , потери давления на местные сопротивления Δp_z и полные потери давления в участках Δp .

6. Для выбора вентилятора следует увеличить общий расход воздуха системы по формуле

$$L_c = k_n L, \quad (9.9)$$

где k_n — коэффициент, который при размещении вентилятора за пределами обслуживаемого помещения, а для систем местных отсосов — независимо от этого принимают для воздуховодов из металла, пластмассы и асбестоцементных труб длиной более 50 м равным 1,1, а из другого материала или при большей длине — 1,15 (СНиП II-33-75).

При этом в расчет длины системы общеобменной вентиляции принимают только часть воздуховодов, прокладываемую вне обслуживаемого помещения, а системы местной вентиляции — воздуховоды от наиболее удаленного участка до вентилятора.

Потерю давления $\Delta p_{ц. макс}$ находят путем обхода всех циклов с попутным расчетом и сравнением потерь давления $\Delta p_{ц}$, Па,

$$\Delta p_{ц} = \sum \Delta p_{у.ц} + p_{д.ц}, \quad (9.10)$$

где $\Delta p_{у.ц}$ — потеря давления в участке, входящем в рассматриваемый цикл, Па; $p_{д.ц}$ — динамическое давление воздуха, Па, выпускаемого из вентиляционного устройства рассматриваемого цикла.

Для аэродинамических характеристик вентиляторов, построенных не по полному, а по статическому давлению (см. рис. 8.7, 8.12) необходимость учета $p_{д.ц}$ отпадает.

При выборе вентилятора принимают коэффициент запаса давления 1,1.

Т а б л и ц а 9.4. Коэффициенты местных сопротивлений некоторых отсосов

Оборудование	Скорость воздуха в отсасывающем патрубке, м/с	Коэффициент местного сопро- тивления ζ
Дробеметная очистная установка:		
камера	18	1
элеватор	16	0,6
сепаратор	16	0,5
Агрегат для закалки:		
воронка	10	0,2
укрытие	9	0,4
Камерная печь сопротивления:		
зонт-козырек	10	0,2
воронка	6	0,1
Шахтная печь сопротивления	7	2,5
Соляная ванна:		
укрытие	16	0,7
бортовой отсос	10	2,6
Бак для закалки в масле и для щелочной промыв- ки	10	0,9
Механическая выбивная решетка	16	2
Стол кислородно-ацетиленовой сварки	7	1
Автомат для сварки:		
в среде углекислого газа	8	23
в среде аргона	10	6
Заточные и плоскошлифовальные станки	14—20	3
Зонты над оборудованием	0,5—1,2	0,2—0,4
Вытяжные шкафы:		
с нижним отсосом	1—6	1,6
с боковым отсосом	—	2,5
с верхним отсосом	—	0,4

Т а б л и ц а 9.5. Абсолютная шероховатость k_s стенок воздуховодов [15]

Характеристика внутренней поверхности воздуховодов	k_s , мм
Цельносварные стальные:	
новые	0,04—0,1
бывшие в эксплуатации	0,15
Из кровельной стали:	
непроолифенные	0,02—0,04
проолифенные	0,1—0,15
одинкованные	0,015—0,18
Алюминиевые технически гладкие	0,015—0,06
Цементные сглаженные	0,3—0,8
Керамиковые, соляноглазурованные каналы	1,4
Бетонные с затиркой	0,3—0,8
Железобетонные	2,5
Шлако- и опилкоалебастровые плиты	1—1,5
Трубы асбестоцементные:	
новые	0,05—0,1
бывшие в эксплуатации	0,6
Каналы с цементной штукатуркой	0,05—0,22
Каналы из шлакобетонных плит	1,5

Таблица 9.6. Диаметры унифицированных тройников круглого сечения, мм [50]

Ствол d_c	Отвод d_o	Проход d_n	Ствол d_c	Отвод d_o	Проход d_n
160	100; 125	125—160	630	250—500	450—630
180	125; 140	140—180	710	280—560	500—710
200	125—160	140—200	800	280—630	560—800
225	125—180	160—225	900	315—710	630—900
250	140—200	180—250	1000	355—710	800—1000
280	140—225	200—280	1120	355—800	900—1120
315	140—250	225—315	1250	400—1000	900—1250
355	140—280	250; 280; 355	1400	400—1120	1000—1400
400	140—280	280; 315; 400	1600	500—1250	1250—1600
450	200—315	315—450	1800	560—1400	1400—1800
500	225—400	355—500	2000	630—1600	1800—2000
560	225—450	400—560			

7. После выбора вентилятора (§ 8.1) устраняют невязки давлений в системе, которые рассматривают как разность между полным давлением вентилятора p_v и потерей давления цикла $\Delta p_{д.ц}$:

$$\Delta p_{д.ц} = p_v - \Delta p_{ц}. \quad (9.11)$$

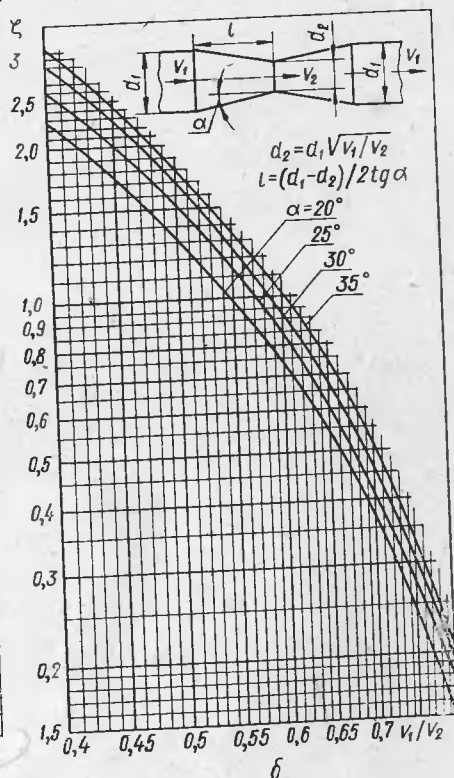
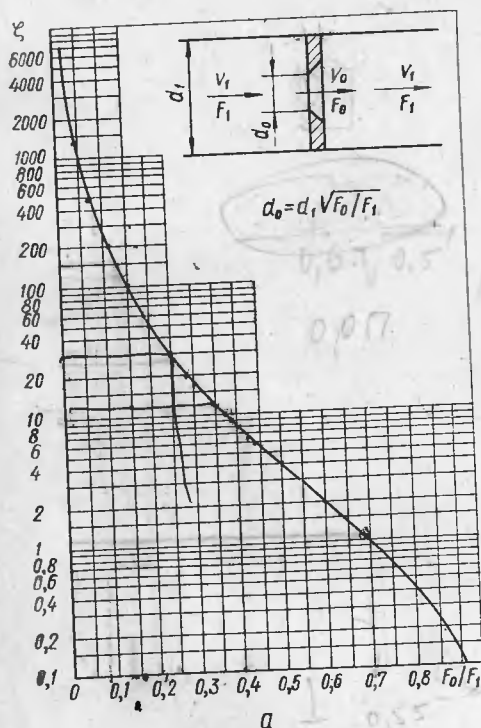


Рис. 9.4. Аэродинамические характеристики диафрагмы в тонкой стенке (а) и конусной диафрагмы (б).

Невязку давлений циклов можно устранить путем перехода концевой участка на меньший диаметр, при котором потеря давления

$$\Delta p'_y = \Delta p_y + \Delta p_{л.ц}. \quad (9.12)$$

Для этого можно воспользоваться также дросселирующей вставкой, длину которой рассчитывают по предложенной ГПИ «Сантехпроект» формуле

$$l_{вст} = (\Delta p_{л.ц} - 0,15 p_{д.в}) / (\Delta p_{Rв} - \Delta p_{Ry}). \quad (9.13)$$

При устранении невязки посредством применения диафрагм (рис. 9.4), коэффициент местного сопротивления диафрагмы рассчитывают по формуле

$$\zeta_0 = \Delta p_{л.ц} / p_{д.у}, \quad (9.14)$$

где $p_{д.у}$ — динамическое давление воздуха в участке системы, Па.

Если невязку устраняют с помощью дроссель-клапана (см. табл. 9.3), то угол

установки его δ находят по коэффициенту местного сопротивления ζ_0 .

Пример. Рассчитать систему местной вытяжной вентиляции (рис. 9.5).

По известным расходам воздуха в участках 1, 2, 4 определяем расходы во всех участках системы (табл. 9.7). Коэффициенты ζ берем из табл. 9.3, 9.4 и рис. 9.1, 9.2.

По отношениям расходов воздуха ориентируем тройники 1 и 2 так, чтобы участки 2 и 4 были боковыми ответвлениями.

Принимаем скорости движения воздуха в участках (в табл. 9.7 эти скорости указаны в скобках). По номограмме (рис. 9.1) намечаем диаметры воздуховодов и уточняем их при выборе тройников по табл. 9.6. Для участка 2, например, диаметр 500 мм заменен на 450 мм.

Рис. 9.5. Приточная система вентиляции общего назначения.

По принятым диаметрам воздуховодов рассчитываем действительные значения скорости.

Принимаем удельные потери давления на трение (рис. 9.1) и определяем потери на трение по всему участку.

Принимаем коэффициенты местных сопротивлений. Для участков 1 и 2, принадлежащих тройнику 1, ζ_n и ζ_0 зависят от отношений: площади прохода к площади ствола тройника $f_n/f_c = 1$, расхода в отводе к расходу в стволе $L_o/L_c = 0,64$, площади отвода к площади ствола $f_o/f_c = 0,65$. Как видно из рис. 9.2, с учетом экстраполяции по L_o/L_c $\zeta_n = 1,5$, $\zeta_0 = 0,3$.

Для участков 3 и 4, входящих в тройник 2, в зависимости от $f_n/f_c = 0,79$, $L_o/L_c = 0,2$ и $f_o/f_c = 0,4$, $\zeta_n = 0,25$, $\zeta_0 = 1,7$.

Необходимый расход воздуха может удовлетворить вентилятор Ц4-70 № 6,3. На входе в вентилятор не требуется переходных устройств, а диффузор за вентилятором принимаем с углом раскрытия 15° , что при $F_1/F_0 = 0,312/0,194 = 1,6$ (табл. 8.24 и 9.3) дает $\zeta = 0,21$.

Вычисляем потери давления на местные сопротивления и общие в участках. По формуле (9.10) потери давления в циклах равны:

$$\Delta p_{ц1} = \Delta p_1 + \Delta p_3 + \Delta p_5 + \Delta p_{д5} = 72,1 + 49,8 + 150,9 + 45,87 = 318,7 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{ц2} = \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_5 + p_{д5} = 30,36 + 49,8 + 150,9 + 45,87 = 276,9 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_{ц3} = \Delta p_4 + \Delta p_5 + \Delta p_{д5} = 2,4 + 150,9 + 45,87 = 199,2 \text{ Па.}$$

Потеря давления в системе с учетом запаса

$$\Delta p_c = 1,1 \cdot 318,7 = 350,5 \text{ Па.}$$

Согласно выражению (9.9), расход в системе

$$L_c = 1,1 \cdot 9800 = 10780 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Аэродинамическая характеристика сети

$$\Delta p_{Rc} = \Delta p_c / L_c^2 = 350,5 / 10780^2 = 3,0165 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{ч}^2 / \text{м}^6.$$

Таблица 9.7. Расчет воздухопроводов системы местных отсосов (см. рис. 9.5)

Номер участка	Расход воздуха L , м³/ч	Диаметр воздухопровода d , мм	Длина воздухопровода L , мм	Элементы и устройства системы	Скорость движения воздуха v , м/с	Динамическое давление воздуха P_d , Па	Потери давления на трение		Коэффициент местного сопротивления, ζ	Потери давления на местные сопротивления ΔP_z , Па	Общие потери давления на участке $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_z + \Delta P_{tr}$, Па
							удельные ΔP_{tr} , Па/м	по всему участку ΔP_{tr} , Па			
1	5000	560	15	Зонт Дроссель-клапан 3 отвода 90° Тройник, проход Воздуховод	(4) 5,65	19,23			0,17 0,6 1,05 1,5		
2	2800	450	18	Зонт Дроссель-клапан Отвод 90° Тройник, отвод Воздуховод	(6) 4,89	14,41	0,55	8,25	3,32 0,17 0,6 0,35 0,3	63,85	72,1
3	7800	560	26,1	Тройник, проход Воздуховод	(8) 8,81	46,76	1,3	33,9	0,34 0,34	15,9	49,8
4	2000	400	10	Зонт Дроссель-клапан 2 отвода 90° Тройник, отвод Воздуховод	(4,5) 4,41	11,72			0,17 0,6 0,7 -1,7 -0,23		
5	9800	630	12,9	4 отвода 90° Диффузор за вентилятором Вытяжная шахта с зонтом Воздуховод	(10) 8,73	45,87	0,51	5,1	1,4 0,21 1,3 2,91	-2,7	2,4
							1,35	17,4		133,48	150,9

Исходя из этого значения, потери давления при расходах 10, 11 и 12 тыс. м³/ч соответственно равны 301,7, 365 и 434,4 Па. По этим данным строим характеристику сети (рис. 8.4, а) и предварительно выбираем вентилятор А6,3105-1 с вентилятором Ц4-70 № 6,3, работающим с частотой вращения $n_1=950$ об/мин и КПД $\eta_n=0,71$ в режиме $L_1=11\,400$ м³/ч и $p_1=390$ Па, соответствующем точке пересечения характеристики сети с аэродинамической характеристикой вентилятора.

Как видно из табл. 8.1, агрегат А6,3105-1 комплектуют электродвигателем 4А100В6 с частотой вращения $n=930$ об/мин. Так как $n \neq n_1$, то, используя формулы табл. 8.22, находим значения расхода L и давления вентилятора p_v :

$$L = L_1 \frac{n}{n_1} = 11\,400 \frac{930}{950} = 11\,160 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$p_v = p_1 \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 = 390 \left(\frac{930}{950} \right)^2 = 373,8 \text{ Па}.$$

Так как $L > L_c$ и $p_v > \Delta p_c$, принимаем к установке вентилятор А6,3105-1. Вентилятор агрегата 1-го исполнения (табл. 8.1) левого вращения, положения 0°, т. е. Δn^0 с окружной скоростью колеса $v_n = \pi d n / 60 = 3,14 \cdot 0,63 \cdot 930 / 60 = 30,7$ м/с.

Согласно (8.4), расходуемая мощность агрегата

$$N = 373,8 \cdot 11\,160/3600 \cdot 1000 \cdot 0,71 = 1,63 \text{ кВт.}$$

С учетом коэффициента запаса мощности (табл. 8.21)

$$N_p = 1,2 \cdot 1,63 = 1,96 \text{ кВт.}$$

Принимаем двигатель 4A100LB6 с установочной мощностью 2,2 кВт (табл. 8.1).

Размеры вентагрегата и тип виброизоляторов приведены в табл. 8.2, присоединительные устройства даны в табл. 8.24, размещение болтов в фундаментах — в табл. 8.23.

Расчет дросселей-клапанов приведен в табл. 9.8.

Т а б л и ц а 9.8. Расчет дроссель-клапанов вентиляционной системы

Невязка потерь давления в циклах $\Delta p_{\text{д.ц}}$, Па, по формуле (9.11)	Участок с дроссель- клапанами	Коэффициенты местного сопротивления дроссель- клапанов ζ_0 по формуле (9.14)	Угол установки дрос- сель-клапанов (табл. 9.3)
55,1	1	2,87	25
96,9	2	6,72	35
174,6	4	14,9	44

9.3. СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Системы аспирации и пневмотранспорта частиц материалов характеризуются массовой расходной концентрацией, кг/кг,

$$\mu_p = G_m / G_v, \quad (9.15)$$

где G_m — массовый расход транспортируемого пылевидного материала, кг/ч; G_v — расход массы транспортирующего воздуха, кг/ч.

Если $\mu_p < 0,01$, то систему можно рассчитывать по методике, рекомендуемой для систем общего назначения. При $\mu_p \geq 0,01$ методика расчета следующая.

1. Принимают либо рассчитывают минимальные расходы воздуха в местных отсосах (см. табл. 7.28) или скорости движения его в воздуховодах (табл. 9.9).

Скорость трогания, м/с, при которой осевшая частица срывается со стенки,

$$v_{\text{тр}} = 1,3 \sqrt[3]{\rho_m}. \quad (9.16)$$

где ρ_m — плотность материала, кг/м³.

Скорость витания, м/с, для частиц размером менее 100 мкм, при числе Рейнольдса, взятом относительно диаметра частицы d меньше единицы ($Re < 1$),

$$v_s = d^2 \rho_m g / 18 \eta_v, \quad (9.17)$$

где d — диаметр частицы, м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; η_v — динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Транспортирующая скорость $v_{\text{гор}}$ должна быть больше скоростей трогания и витания.

Для деревообрабатывающих цехов рекомендуются [32] следующие скорости:

$$v_s = 0,14 \sqrt{\rho_m / \left(0,02 + \frac{a}{h} \right) \rho_v}, \quad (9.18)$$

$$v_{\text{гор}} = c \left(\frac{4\mu_p}{A} + 0,01\rho_m + B \right), \quad (9.19)$$

где a — коэффициент, учитывающий форму частицы: при кубической форме $a = 1,1$, при параллелепипедной — 0,9; h — толщина частицы, мм; ρ_v — плотность воздуха, кг/м³; c — коэффициент, учитывающий снижение скорости транспортируемого материала в местных сопротивлениях: для внутренних систем $c = 1,1 \div 1,15$, межцеховых с длиной до 30 м — 1,05–1,1, более 30 м — 1; $A = v_m/v_v$ — относительная скорость перемещения частицы (табл. 9.10); v_m, v_v — скорость твердой частицы материала и воздуха, м/с; B — коэффициент, зависящий от вида материала (табл. 9.10).

Таблица 9.9. Расчетные величины для проектирования систем аспирации и пневмотранспорта [7, 32, 52]

Транспортный материал	Плотность ρ , кг/м ³	Скорость движения воздуха в воздуховодах v , м/с		Максимальная массовая концентрация смеси μ , кг/кг	Опытный коэффициент k_p
		вертикальных	горизонтальных		
Земляная и песочная пыль, оборотная (горелая) земля, формовочная земля *	2600	13	15	0,8	0,7
Влажные земля и песок	2800	15	18	—	—
Молотая глина *	2400	14	17	0,8	0,6
Шамот	2200	14	17	0,8	0,6
Мелкая минеральная пыль	—	12	14	—	—
Пыль от матерчатых полировальных кругов	—	10	12	—	—
Угольная пыль *	900	14	15	1	1
Наждачная минеральная пыль *	4000	15,5	19	—	—
Гипс, тонкомолотая известь	1250	10	11	—	—
Шерсть:					
замасленная	—	18	19	—	—
незамасленная	—	19	20	—	—
искусственная	—	17	20	—	—
мериносовая (замасленная и незамасленная)	—	14	15	0,1—0,2	—
лоскут	—	16	18	—	—
разрыхленная и крупные очесы	—	17	18	—	—
Лен (короткое волокно и льняная костра)	—	16	18	—	—
Опилки:					
чугунные *	7300	19	23	0,8	0,85
стальные *	7800	19	23	0,8	—
Шлак подмосковного угля с размером частиц 10—15 мм	1600	20	22	1	0,5

Примечания. 1. Для материалов, отмеченных звездочкой, при перемещении кусков размером до 20 мм скорости должны быть повышены на 25—30%. Коэффициенты μ и k_p , не указанные в таблице, следует принимать по ведомственным нормам.

Таблица 9.10. Значения средней относительной скорости A при устойчивом движении частиц измельченной древесины в горизонтальном участке воздуховода и коэффициента B [32]

Транспортируемый материал	A при $\mu_p \leq 2$	B
Опилки:		
мелкие	0,9	7
крупные	0,85	8
Стружка:		
мелкая	0,85	9
крупная	0,8	10
Сортированная технологическая щепа длиной до 35 мм	0,7	11
Крупная несортированная щепа длиной более 40 мм	0,6	13

Массовую расходную концентрацию μ_p рекомендуется принимать по табл. 7.28. Для секции отбора воздуха универсального коллектора $\mu_p = 0,05$, для секции отбора отходов с транспортера коллектора — 0,15 кг/кг.

Скорость в вертикальном воздуховоде, м/с,

$$v_{\text{вер}} = v_{\text{гор}} + v_s. \quad (9.20)$$

Минимальные диаметры воздуховодов принимают для сухой мелкой зернистой пыли 80 мм, для пыли средней волокнистости (опилки, хлопок, шерсть, стружка) — 100 мм, для крупной стружки — 125, 140 мм и более.

2. Компонуют систему аспирации или пневмотранспорта, руководствуясь рекомендациями гл. 7. Отображают схему системы, рассчитывают расходы воздуха во всех участках, принимают скорости транспортирования во всех участках по формулам (9.19) и (9.20) и ближайшие меньшие диаметры воздуховодов.

3. Принимают удельное сопротивление трения λ/d по табл. 9.11, коэффициенты местных сопротивлений (рис. 9.6—9.8 и табл. 7.28, 9.3, 9.4, 9.12) и рассчитывают потери давления в участках по формуле

$$\Delta p_y = \left(\frac{\lambda l}{d} + \Sigma \zeta \right) \rho_d = \zeta_y p_d. \quad (9.21)$$

4. В неэнтермичных системах и при барометрическом давлении, отличном от нормального, потерю давления на участке определяют по выражению

$$\Delta p_y = r_y G_y^2, \quad (9.22)$$

где

$$r_y = 0,49 \zeta_y T_{\text{сп}}^2 / F^2 B - \quad (9.23)$$

Таблица 9.11. Значения λ/d для металлических воздуховодов систем аспирации [50]

d, мм	λ/d при скорости воздуха, м/с							
	0,1—3	3,1—6	6,1—9	9,1—12	12,1—15	15,1—18	18,1—21	21,1—25
800	0,418	0,318	0,28	0,257	0,245	0,237	0,231	0,225
100	0,316	0,24	0,212	0,198	0,189	0,183	0,178	0,173
110	0,281	0,213	0,188	0,177	0,169	0,164	0,159	0,155
125	0,239	0,181	0,161	0,153	0,146	0,141	0,137	0,133
140	0,208	0,158	0,141	0,133	0,129	0,123	0,12	0,117
160	0,176	0,133	0,121	0,114	0,109	0,106	0,103	0,1
180	0,152	0,115	0,105	0,1	0,096	0,092	0,09	0,087
200	0,133	0,101	0,093	0,088	0,084	0,081	0,079	0,077
225	0,115	0,088	0,081	0,077	0,073	0,071	0,069	0,067
250	0,101	0,078	0,072	0,068	0,065	0,063	0,061	0,059
280	0,088	0,068	0,063	0,059	0,057	0,055	0,054	0,052
315	0,075	0,06	0,055	0,052	0,05	0,048	0,047	0,045
355	0,065	0,052	0,048	0,045	0,043	0,042	0,041	0,039
400	0,056	0,045	0,041	0,039	0,038	0,036	0,035	0,034
450	0,048	0,039	0,036	0,034	0,033	0,032	0,031	0,03
500	0,042	0,035	0,032	0,029	0,029	0,028	0,027	0,026
560	0,037	0,03	0,028	0,026	0,025	0,025	0,024	0,023
630	0,032	0,027	0,024	0,023	0,022	0,021	0,021	0,02
710	0,028	0,023	0,021	0,02	0,019	0,019	0,018	0,018
800	0,024	0,02	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,015
900	0,021	0,018	0,016	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
1000	0,019	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012
1120	0,016	0,014	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,01
1250	0,014	0,012	0,011	0,01	0,01	0,01	0,009	0,009
1400	0,013	0,01	0,01	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008
1600	0,011	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007

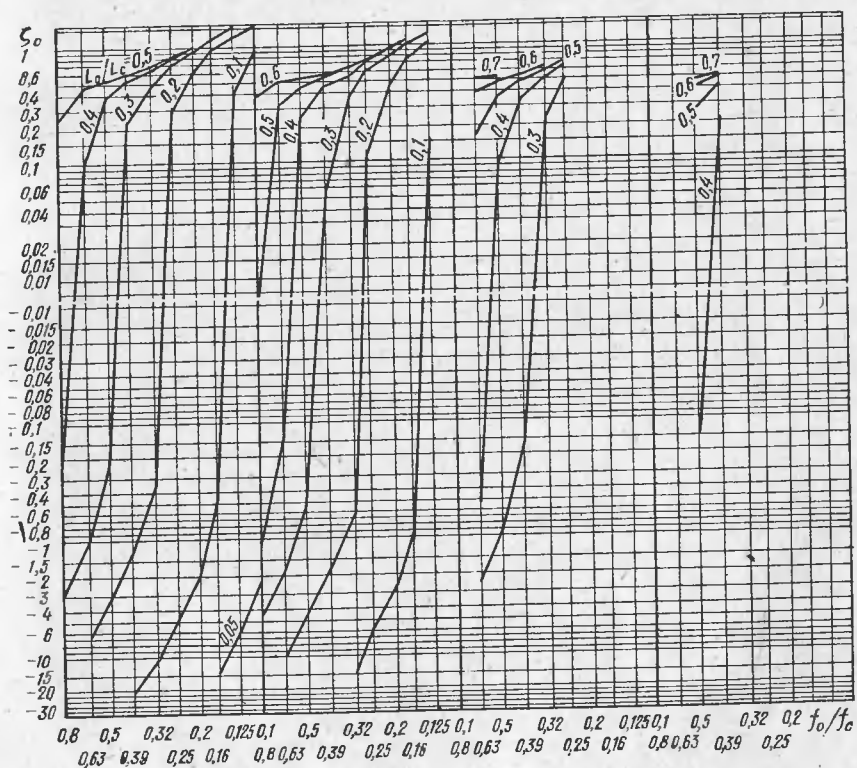
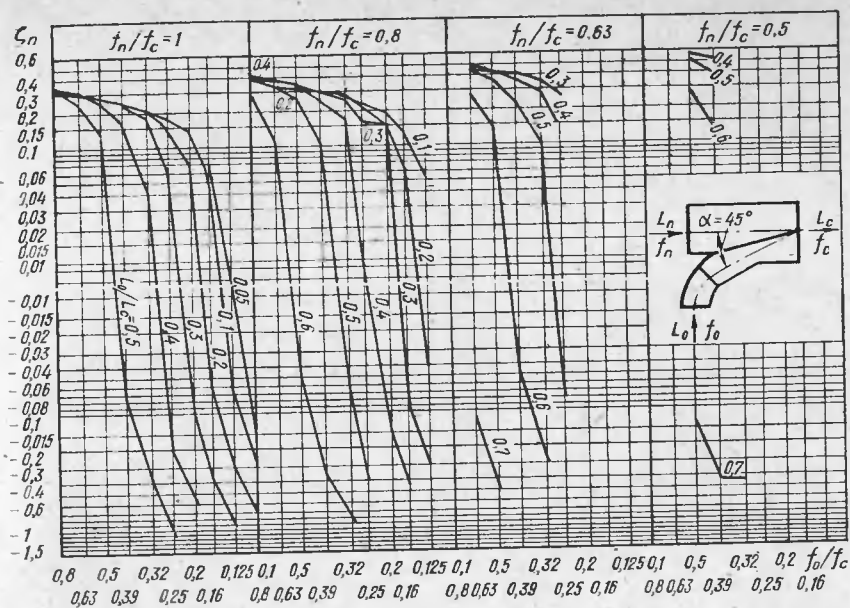


Рис. 9.6. Коэффициенты местного сопротивления нормализованного тройника аспирационной системы с углом отвода 45° .

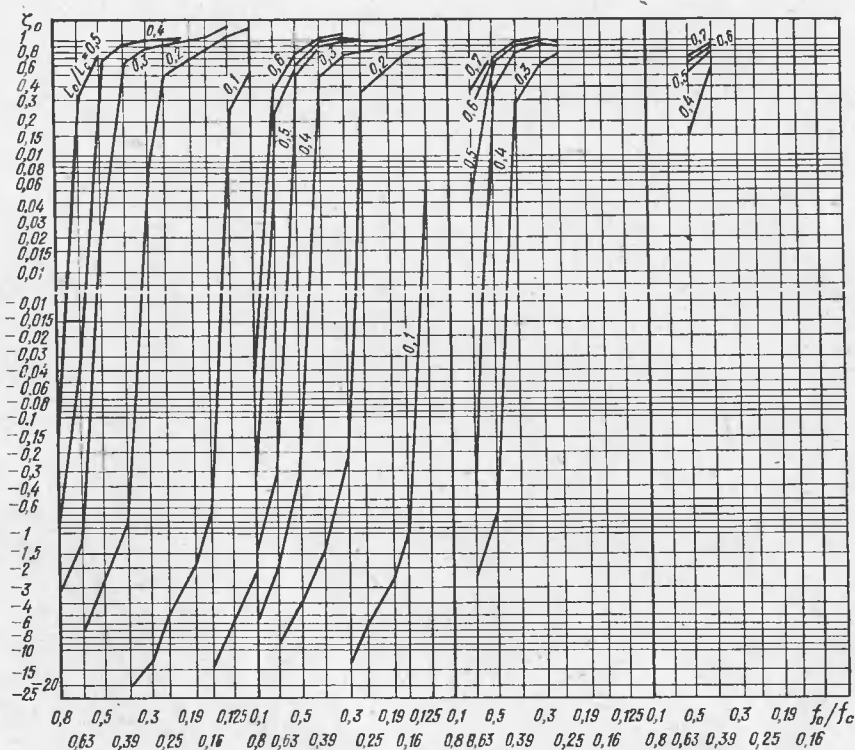
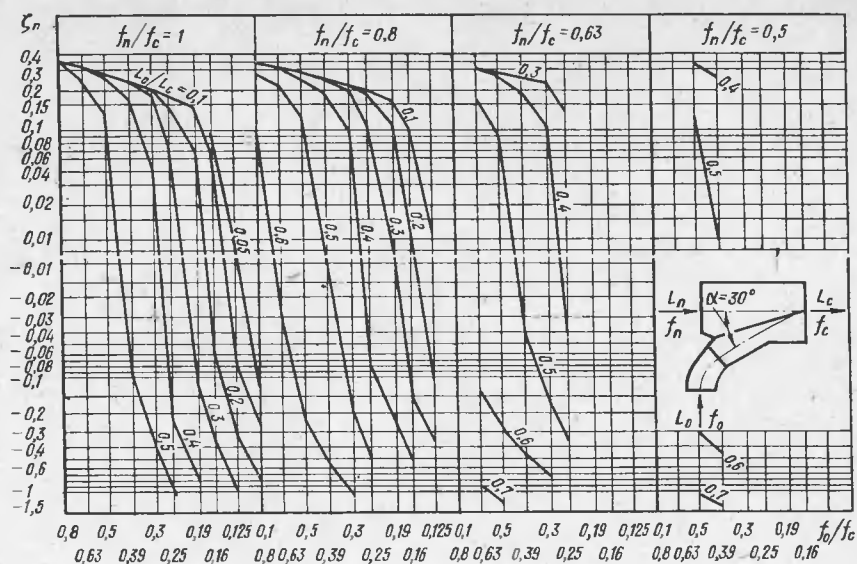


Рис. 9.7. Коэффициенты местного сопротивления нормализованного тройника аспирационной системы с углом отвода 30° .

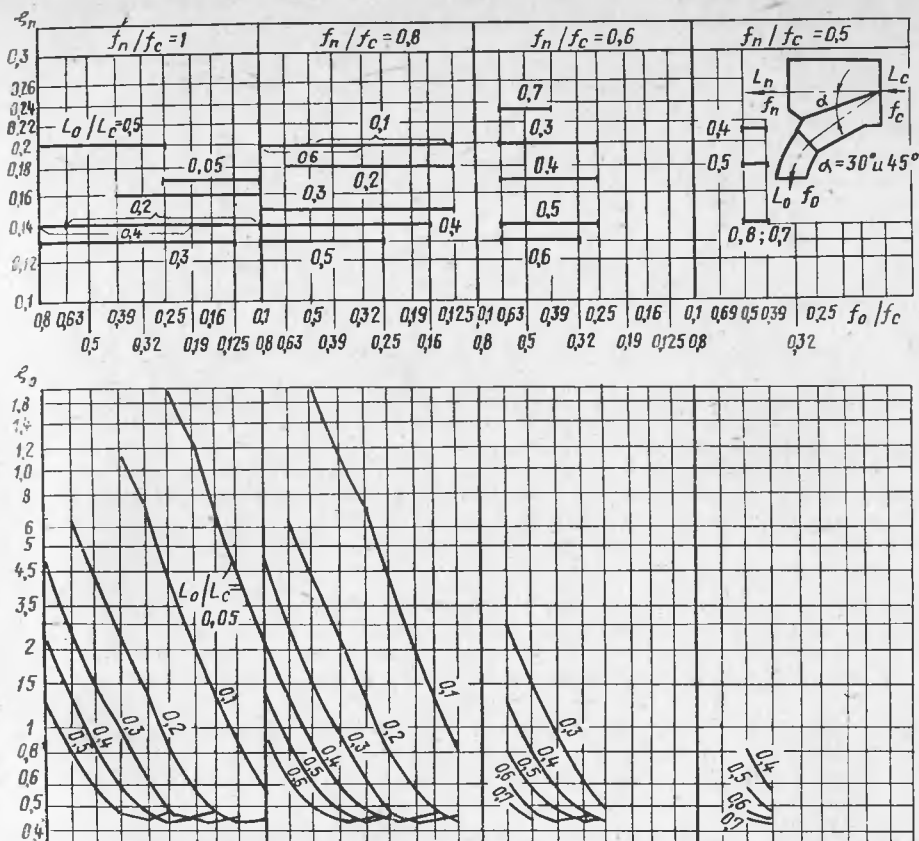


Рис. 9.8. Коэффициенты местного сопротивления нормализованного тройника с углом отвода 30—45°, работающего на нагнетание.

аэродинамическое сопротивление, $\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{кг}^2$; G_y — расход массы газов, $\text{кг}/\text{с}$; $T_{\text{ср}}$ — средняя температура газов в участке, $^{\circ}\text{C}$; F — площадь сечения воздуховода, м^2 ; B — барометрическое давление, Па .

5. Составляют все циклы системы, попутно рассчитывая их потери давления по формуле (9.10). Находят цикл с максимальной потерей давления $\Delta p_{\text{ц, макс}}$ и относительно его вычисляют невязку потерь давления в циклах:

$$\Delta p_{\text{рц}} = \Delta p_{\text{ц, макс}} - \Delta p_{\text{ц}}. \quad (9.24)$$

Циклы составляют, начиная с наиболее удаленного участка, последовательно переходя к участку, близкому к вентилятору.

6. Конусные диафрагмы (рис. 9.4, б) допускается устанавливать в вертикальных участках воздухопроводов при условии, что транспортируемая пыль сухая, неслипаящаяся и неволокнистая.

Для устранения невязок потерь давления можно воспользоваться также вставкой отрезка воздуховода меньшего диаметра, длина которого определяется по формуле (9.13).

При невозможности воспользоваться конусной диафрагмой и вставкой надо прибегнуть к увеличению расхода. Приращение расхода в рассматриваемом цикле, $\text{кг}/\text{ч}$, рассчитывают по выражению

$$\Delta G_{\text{ц}} = (-r_{\text{к}} G_{\text{к}} + \sqrt{(r_{\text{к}} G_{\text{к}})^2 + r_{\text{к}} \Delta p_{\text{рц}}}) / r_{\text{к}}, \quad (9.25)$$

где $r_{\text{к}}$ и $G_{\text{к}}$ — аэродинамическое сопротивление и расход воздуха в конечном участке.

Таблица 9.12. Значения условного коэффициента местного сопротивления отводов $\zeta_{0, \text{ усл}}$ при угле поворота $\alpha = 90^\circ$ и радиусе закругления $R = 2d$ [32]

Массовая расходная концентрация	Изменение направления потока с горизонтального на вертикальное восходящее			Изменение направления потока с вертикального восходящего на горизонтальное		
	Опилки	Стружка	Щепа	Опилки	Стружка	Щепа
0,5	0,48	0,49	0,49	0,71	0,71	0,67
1	0,6	0,61	0,62	0,95	0,95	0,91
2	0,72	0,74	0,77	1,23	1,22	1,18
3	0,79	0,82	0,85	1,37	1,37	1,32
4	0,83	0,85	0,9	1,45	1,45	1,42
5	0,86	0,89	0,94	1,51	1,52	1,48

Приращение расхода ΔG_c прибавляют к расходам каждого участка цикла. Затем рассчитывают новые потери давления в участках, циклах и решают задачу дальнейшей ликвидации невязки потерь давлений.

7. Потерю давления для выбора вентилатора Δp_v , Па, рекомендуется принимать с учетом потерь давления в сети Δp_c , Па, и в сооружениях очистки газов Δp_o , Па, высоты подъема транспортируемого материала h , м, и 10 % запаса. Для систем пневмотранспорта древесных отходов общая потеря давления [32]

$$\Delta p_v = 1,1 \Delta p_c (1 + k_{\text{пл}p}) + \mu_p \rho_v h g \frac{v_v}{v_m - v_s} + \Delta p_o + p_d, \quad (9.26)$$

где $k_{\text{пл}}$ — коэффициент, принимаемый для межсексовых установок по табл. 9.9 и для систем с ответвлениями к станкам равным 1,4.

Для других систем аспирации и пневмотранспорта

$$\Delta p_v = 1,1 \Delta p_c (1 + k_{\text{пл}p}) + g h v_c + p_d, \quad (9.27)$$

где v_c — объемная концентрация смеси, кг/м³, равная отношению массового расхода транспортируемого материала G_m , кг/ч, к расходу воздуха L , м³/ч.

Сложные вентиляционные системы рассчитывают с использованием ЭВМ [13].

10. РАССЕЙВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

10.1. НОРМАТИВЫ ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Согласно СН 245-71, предельно допустимые выбросы (ПДВ) должны гарантировать уровень загрязнения приземного слоя атмосферы меньший максимально разовой концентрации вредных веществ (табл. 10.1). Содержание пыли в выбрасываемом воздухе, мг/м³, при расходе его L до 15 тыс. и более 15 тыс. м³/ч соответственно должно составлять

$$C \leq (160 - 4L) k; \quad C \leq 100k, \quad (10.1)$$

где коэффициент k принимают в зависимости от ПДК в рабочей зоне:

ПДК, мг/м ³	≤ 2	До 4	До 6	≥ 6
k	0,8	0,6	0,8	1

Если выбрасываемые вредные вещества обладают эффектом суммации, то их ПДК в приземном слое не должна превышать расчетной, определяемой по формуле (1.48).

Рекомендуется [63] значения концентрации одновременно выбрасываемых вредных веществ приводить условно к одному веществу:

$$C_1 + C_2 \frac{\text{ПДК}'_1}{\text{ПДК}'_2} + \dots + C_n \frac{\text{ПДК}'_1}{\text{ПДК}'_n} \leq \text{ПДК}'_1, \quad (10.2)$$

где ПДК' — предельно допустимая концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы, принимаемая по СН 245-71.

Таблица 10.1. ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов (СН 245-71)

Вещество	ПДК, мг/м³	
	максимальная разовая	среднесуточная
Азота двуокись		0,085
Азотная кислота: по HNO_3	0,4	0,15
по водородному иону		0,006
Акролен		0,03
Альфа-нафтохинон		0,005
Амиллацетат		0,1
Аммиак		0,2
Анилин	0,05	0,03
Ацетальдегид		0,01
Ацетон		0,35
Ацетофенон		0,003
Бензин сладцевый (в пересчете на С)		0,05
Бензол	1,5	0,8
Бутилацетат		0,1
Валериановая кислота	0,03	0,01
Ванадия пятиокись	—	0,002
Винилацетат		0,15
Гексахлорциклопексан		0,03
Диинил		0,01
Изопропилбензола гидроперекись		0,007
Капроновая кислота	0,01	0,005
Карбофос	0,015	—
Марганец и его соединения (в пересчете на MnO_2)	—	0,01
Масляная кислота	0,015	0,01
Метилмеркаптан	$9 \cdot 10^{-6}$	—
Монометиланилин		0,04
Мышьяк (неорганические соединения, кроме мышьякового водорода, в пересчете на As)	—	0,003
Нафталин		0,003
Нитробензол		0,008
Пыль нетоксическая	0,5	0,15
Ртуть металлическая	—	0,0003
Сажа (копоть)	0,15	0,05
Свинец и его соединения (кроме тетраэтил-свинца, в пересчете на Pb)	—	0,0007
Свинец сернистый	—	0,0017
Серная кислота: по H_2SO_4	0,3	0,1
по водородному иону	0,006	0,002
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Сероводород		0,008
Сероуглерод	0,03	0,005
Соляная кислота: по HCl		0,2
по водородному иону		0,006
Фенол		0,01
Формальдегид	0,035	0,012
Газообразные фтористые соединения (HF , SiF_4)	0,02	0,005
Фурфурол		0,05
Хлор	0,1	0,03

Вещество	ПДК, мг/м³	
	максимальная разовая	среднесуточная
Хлорофос	0,04	0,02
Хром шестивалентный (в пересчете на CrO₃)	0,0015	
Этилбензол	0,02	
Этилена окись	0,3	0,03
Этиленамин	0,001	

В этой связи рассеивание вредных веществ, обладающих суммацией действия, рассчитывают по условному выбросу $M_{(1)}$, мг/с, всех вредных веществ, приведенному к одному веществу:

$$M_{(1)} = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}'_1}{\text{ПДК}'_2} + \dots + M_n \frac{\text{ПДК}'_1}{\text{ПДК}'_n}, \quad (10.3)$$

где $M_1, M_2, \dots, M_n$ — интенсивности выброса вредных веществ, мг/с.

Для зданий и сооружений с вредными технологическими выбросами СН 245-71 устанавливает санитарно-защитную зону, в которой осуществляется естественное снижение концентрации вредных веществ за счет рассеивания и других процессов. Санитарно-защитная зона должна быть благоустроена и озеленена, причем со стороны жилой территории следует предусмотреть полосу древесно-кустарниковых насаждений шириной не менее 20 м при ширине зоны до 100 м и 50 м — при ширине зоны свыше 100 м.

Для санитарных охранных зон курортов, домов отдыха и зоны отдыха городов с населением более 200 тыс. чел. максимальные концентрации вредных веществ не должны превышать 0,8 ПДК [63].

Нормами предусматривается выброс в атмосферу вредных веществ через открывающиеся проемы окон и фонарей, дефлекторы и шахты при естественной и крышные вентиляторы — при механической вентиляции. Высокие трубы и факельные выбросы рекомендуются применять для веществ взрывоопасных, дурно пахнущих, а также 1-го и 2-го классов опасности. При этом удаляемые газы не должны попадать в зону аэродинамической тени.

Факельный выброс представляет собой конфузор, соединенный с выхлопной трубой диаметром D_0 и длиной, равной 2,5 диаметра основной трубы. Скорость выброса газов v_0 рекомендуется принимать в пределах 15—40 м/с. Высота выброса, м, считая от устья трубы,

$$h = 2,17v_0 D_0. \quad (10.4)$$

Для концентрированных выбросов на крупных промышленных объектах используют унифицированные трубы-башни, разработанные институтом «Укрпроектстальконструкция». Внутренний диаметр выхлопной трубы — 2—3,8 и 4—6 м, высота — 100—180 м.

10.2. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Здание на фоне общей картины обтекания его воздухом и источники выбросов приведены на рис. 10.1 [39, 51].

С наветренной стороны зданий наблюдается подпор. Срыв потока с острых кромок здания вызывает циркуляцию воздуха или аэродинамическую тень. Если здание широкое (рис. 10.1, а, в), т. е. $b > 2,5H_{зд}$, то получаются две циркуляционные зоны: одна, над зданием, наветренная высотой $0,8H_{зд}$ и длиной $2,5H_{зд}$ и другая, за зданием, с максимальной высотой $H_{зд}$ и длиной $4H_{зд}$ у одиночного широкого здания и $X_1 \leq 8H_{зд}$ — у двух последовательно расположенных зданий. Если здание узкое, т. е. $b \leq 2,5H_{зд}$ (рис. 10.1, б, г), то в результате срывов потоков образуется единая циркуляционная зона максимальной высотой $1,8H_{зд}$ и длиной до $8,5H_{зд}$ у одиночного здания и до $12,5H_{зд}$ — у двух последовательно расположенных зданий.

Источники загрязнения воздуха подразделяют на точечные (трубы, шахты, крышные вентиляторы и др.) и линейные (фонари, оконные проемы, транспортные линии и др.), периодически и непрерывно действующие, изотермические и нагретые, низкие, выбросы которых попадают в циркуляционную зону (рис. 10.1, 1, 3, 4, 6) и высокие, выбросы которых не попадают в эту зону (рис. 10.1, 5). По расположению

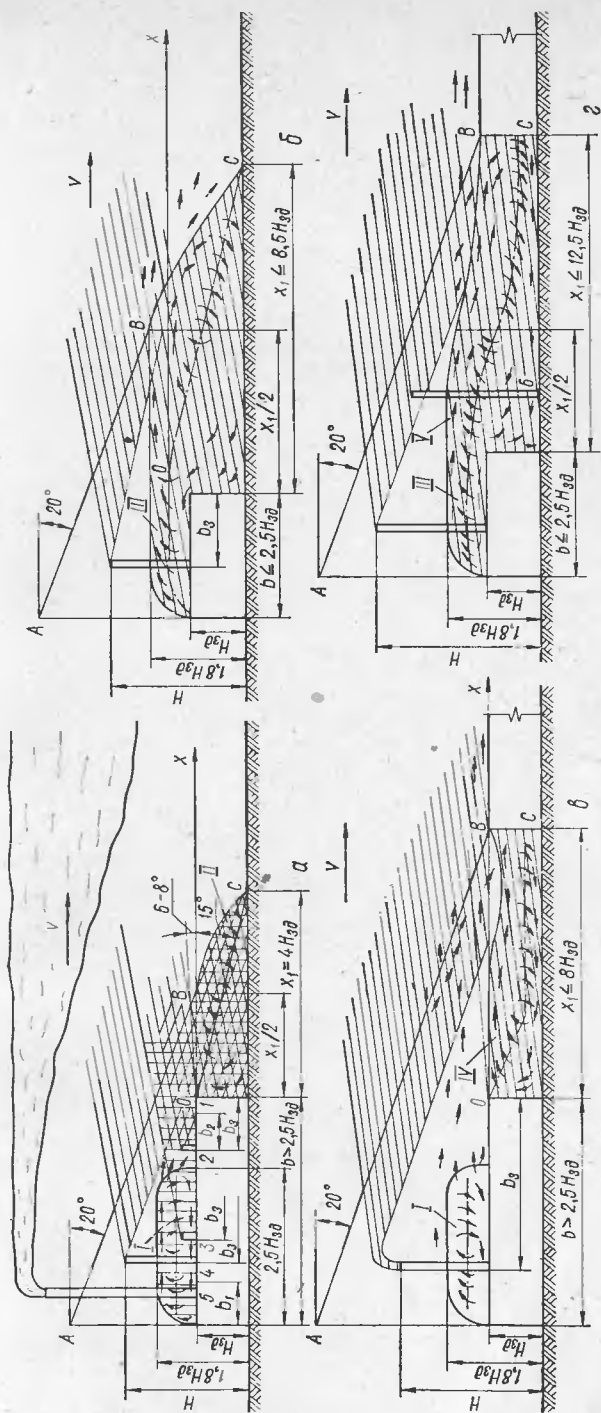


Рис. 10.1. Структура воздушных потоков, обтекающих здания, и распространение выбрасываемых вредных веществ:

a — одиночно стоящее широкое здание; b — одиночно стоящее узкое здание; q — два здания, расположенные по направлению ветра, первое из которых узкое; II — циркуляционная зона; III — наветренная циркуляционная зона; IV — межветренная циркуляционная зона; V — наветренная межкорпусная циркуляционная зона; I — первый источник в наветренной зоне; 2 — первый источник в заветренной зоне; 3 — низкий источник в наветренной зоне; 4 — низкий источник в заветренной зоне; 5 — высокий источник над наветренной зоной; 6 — высокий источник над заветренной зоной; 7 — низкий источник в межкорпусной зоне.

различают источники над первым зданием, выше наветренной циркуляционной зоны (4), в наветренной циркуляционной зоне (3), вне наветренной циркуляционной зоны (2), в заветренной циркуляционной зоне (1) и в междокорпусном пространстве (6). Граница ABC делит источники на высокие и низкие: если устье источника или вертикальная часть факела подняты выше границы, то источник высокий, а если ниже — низкий, который подразделяют на внутренний и внешний, полностью или частично (соответственно) загрязняющий циркуляционную зону. Если последовательно расположено более двух корпусов, то граница ABC строится от каждого корпуса отдельно так, что к первому по направлению движения ветра корпусу подходит 1-я граница. В этом случае понятие низкий и высокий источник становится относительным. Абсолютно высокий источник должен быть выше верхней границы. При расположении устья источника под верхней границей источник будет высоким для всех зданий, кроме последнего, и т. д.

Высота границы низких источников $H_{гр}$, м, для источника в заветренной зоне или на крыше отдельно стоящего широкого здания, единой зоны или отдельно стоящего узкого здания, междокорпусной зоны двух смежных зданий или на крыше первого по потоку здания, а также для удаленного источника перед рассматриваемой междокорпусной зоной соответственно равна:

$$H_{гр} = 0,36b_3 + 1,7H_{зд}; \quad (10.5) \quad H_{гр} = 0,36b_3 + 2,5H_{зд}; \quad (10.6)$$

$$H_{гр} = 0,36(b_3 + x_i) + H_{зд}; \quad (10.7) \quad H_{гр i} = 0,36x_i + H_{зд i}, \quad (10.8)$$

где b_3 — расстояние от источника до заветренной стены здания, м; x_i — длина междокорпусной зоны, м; $H_{зд}$ — высота второго здания, м; $H_{гр i}$ — высота границы i -го здания, м; x_i — расстояние от источника до наветренной стены i -го здания, м; $H_{зд i}$ — высота i -го здания, м.

10.3. ВЫБРОСЫ ИЗ НИЗКИХ ИСТОЧНИКОВ

Высота загрязнения воздуха низкими источниками находится в пределах $H_{гр}$. Ее определяют в соответствии с Руководством по расчету загрязнения воздуха на промышленных площадках [51]. При расчетах направление ветра принимают перпендикулярным к продольной оси здания, а скорость его — 1 м/с.

При расположении воздухозаборных устройств в циркуляционной зоне уровень загрязнения рассчитывают по доминирующему вредному веществу, определяемому в зависимости от показателя P_d , м³/с, который численно равен расходу воздуха, необходимого для снижения концентрации выбрасываемого вещества до 30 % его ПДК: при одиночном источнике вредных веществ разнонаправленного воздействия на человека в районе промышленной площадки

$$P_d = \frac{M}{0,3ПДК} - L; \quad (10.9)$$

то же, однонаправленного действия

$$P_d = \frac{M_1}{0,3ПДК_1} + \frac{M_2}{0,3ПДК_2} + \dots + \frac{M_n}{0,3ПДК_n} - L; \quad (10.10)$$

при функционировании ряда источников одно- и разнонаправленного действия в районе промышленной площадки

$$P_d = mk \left(\frac{M}{0,3ПДК} - L \right); \quad (10.11)$$

то же, что и (10.9), только в районе населенных пунктов

$$P_d = \frac{M_2}{ПДК'} - L; \quad (10.12)$$

то же, что и (10.10), только в районе населенных пунктов

$$P_d = \frac{M_1}{ПДК'_1} + \frac{M_2}{ПДК'_2} + \dots + \frac{M_n}{ПДК'_n} - L, \quad (10.13)$$

где ПДК — предельно допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне, мг/м³, принимаемая по ГОСТ 12.1.005—76; L — количество газовойоздушной смеси, выбрасываемой источником, м³/с.

Доминирующим считается вещество с максимальным значением P_d . Если для

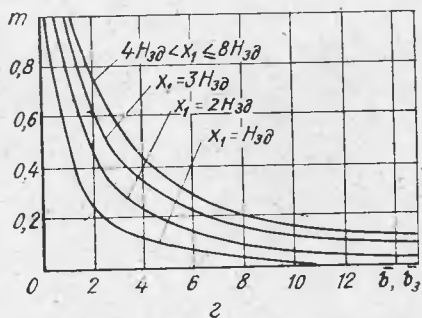
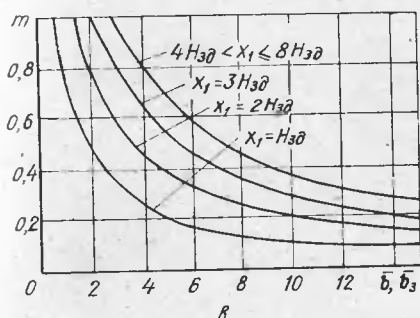
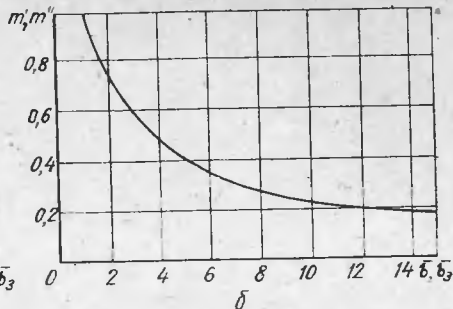
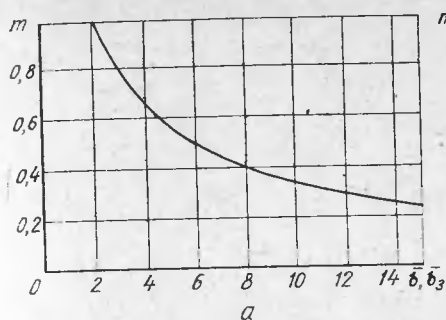


Рис. 10.2. Графики для определения коэффициентов заноса примесей в межкорпусное пространство:

a — отдельно стоящее широкое здание, линейный источник на крыше вне наветренной циркуляционной зоны; линейный и точечный источники в наветренной циркуляционной зоне; *б* — отдельно стоящее широкое здание, точечные и линейные источники в наветренной зоне (m') и вне ее (m''); *в, г* — соответственно линейные и точечные источники — независимо от вида здания и размещения источника ($\bar{b} = b/H_{зд}$; $\bar{b}_3 = b_3/H_{зд}$).

некоторых вредных веществ $P_d \leq 0$, то мероприятия по обеспечению чистоты атмосферы не разрабатывают.

Общая интенсивность выбросов одноименных вредных веществ, поступающих в заветренную циркуляционную зону, [39]

$$M_{\text{общ}} = \Sigma M_{\text{л}} + \Sigma M_{\text{т}} + \Sigma m'_{\text{л}} M'_{\text{л}} + \Sigma m'_{\text{т}} M'_{\text{т}} + \Sigma m''_{\text{л}} M''_{\text{л}} + \Sigma m''_{\text{т}} M''_{\text{т}} + \Sigma k'_h m'''_{\text{л}} M'''_{\text{л}} + \Sigma k'_h m'''_{\text{т}} M'''_{\text{т}}, \quad (10.14)$$

где $M_{\text{л}}$, $M'_{\text{л}}$, $M''_{\text{л}}$, $M'''_{\text{л}}$ — интенсивность выброса вредного вещества, мг/с, линейными источниками, соответственно внутренними и внешними, расположенными на крыше широкого здания, в наветренной циркуляционной зоне и вне циркуляционных зон; $M_{\text{т}}$, $M'_{\text{т}}$, $M''_{\text{т}}$, $M'''_{\text{т}}$ — то же, точечными источниками; $m'_{\text{л}}$, $m'_{\text{т}}$, $m''_{\text{л}}$, $m''_{\text{т}}$, $m'''_{\text{л}}$, $m'''_{\text{т}}$ — коэффициенты заноса примесей (рис. 10.2), причем для всех внутренних источников $m=1$; k'_h , k_h — коэффициенты, учитывающие высоту выброса источников (рис. 10.3).

Если источник находится над крышей вне наветренной или над заветренной зоной широкого здания, то относительная высота выброса

$$\bar{H} = (H - H_{зд}) / (H_{гр} - H_{зд}).$$

Если же источник находится над наветренной зоной широкого здания, то

$$\bar{H} = (H - 1,8H_{зд}) / (H_{гр} - 1,8H_{зд}).$$

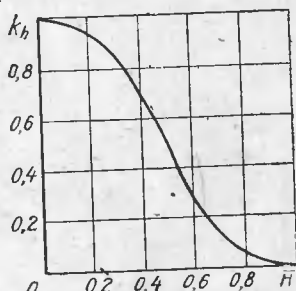


Рис. 10.3. Зависимость коэффициента k_h от параметра $\bar{H}$.

Т а б л и ц а 10.2. Формулы для расчета концентрации вредных веществ, выбрасываемых постоянно действующими точечными источниками [39]

Класс первого по потоку здания	Место расположения устья источника	Место определения концентрации	Формулы	
			Ветер направлен перпендикулярно к продольной оси здания	Направление ветра совпадает с продольной осью здания
Широкое отдельно стоящее (относительно второго здания)	В наветренной зоне	В заветренной зоне при $0 < x \leq 4H_{зд}$	$C = 5,6mMs_1/n_{св}H_{зд}$	$C = 5,6mMs_1/n_{св}H_{зд}$
		Вне заветренной зоны при $x > 4H_{зд}$	$C = 15Ms_1/vl(b+x)$	$C = 15Ms_1/vb(l+x)$
	На крыше вне наветренной зоны при $\bar{H} \leq 0,3$	В заветренной зоне при $0 < x \leq 4H_{зд}$	$C = 1,3mM/n_{св} [0,8/H_{зд}l + 42s_3/(1,4l+x)^2]$	$C = 1,3mM/n_{св} [0,8/H_{зд}b + 42s_3/(1,4b+x)^2]$
		Вне наветренной зоны при $x > 4H_{зд}$	$C = 55mMs_3/[v(1,4l+x)^2 + 55L]$	$C = 55mMs_3/[v(1,4b+x)^2 + 55L]$
	Над крышей вне наветренной зоны при $0,3 < \bar{H} \leq 1$	В заветренной зоне при $0 < x \leq 4H_{зд}$	$C = 1,3mk_hM/n_{св} [0,8H_{зд}l + 20s_3/(1,4l+x)^2]$	$C = 1,3mk_hM/n_{св} [0,8/H_{зд}b + 20s_3/(1,4b+x)^2]$
		Вне заветренной зоны при $x > 4H_{зд}$	$C = 26mk_hM/[v(1,4l+x)^2 + 26L] s_3$	$C = 26mk_hMs_3/[v(1,4b+x)^2 + 26L]$
	В заветренной зоне	В заветренной зоне при $0 < x \leq 4H_{зд}$	$C = 1,3M/n_{св} [0,8/H_{зд}l + 42s_3/(1,4l+x)^2]$	$C = 1,3M/n_{св} [0,8/H_{зд}b + 42s_3/(1,4b+x)^2]$
		Вне заветренной зоны при $x > 4H_{зд}$	$C = 55Ms_3/v(1,4l+x)^2$	$C = 55Ms_3/v(1,4b+x)^2$
	Над заветренной зоной здания	В заветренной зоне при $0 < x \leq 4H_{зд}$	$C = 1,3mk_hM/n_{св} [0,8/H_{зд}l + 20s_3/(1,4l+x)^2]$	$C = 1,3mk_hM/n_{св} [0,8/H_{зд}b + 20s_3/(1,4b+x)^2]$

$$C = 26k_p M S_3 / v (1,4b + x)^2$$

$$C = 14,4mM S_1 / n_e v b x_1$$

$$C = 3,6mM S_1 / n_e v b H_{3д}$$

$$C = 1,3mM / n_e v [2/bx_1 + 42S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 1,3mM / n_e v [0,5/bH_{3д} + 42S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 1,3mk_p M / n_e v [2/bx_1 + 20S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 1,3mk_p M / n_e v [0,5/bH_{3д} + 20S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 1,3M / n_e v [2/bx_1 + 42S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 1,3M / n_e v [0,5/bH_{3д} + 42S_3 / (1,4b + x)^2]$$

$$C = 26k_p M S_3 / v (1,4l + x)^2$$

$$C = 14,4mM S_1 / n_e v l x_1$$

$$C = 3,6mM S_1 / n_e v l H_{3д}$$

$$C = 1,3mM / n_e v [2/lx_1 + 42S_3 / (1,4l + x)^2]$$

$$C = 1,3mM / n_e v [0,5/lH_{3д} + 42S_3 / (1,4l + x)^2]$$

$$C = 1,3mk_p M / n_e v [2/lx_1 + 20S_3 / (1,4l + x)^2]$$

$$C = 1,3mk_p M / n_e v [0,5/lH_{3д} + 20S_3 / (1,4l + x)^2]$$

$$C = 1,3M / n_e v [2/lx_1 + 42S_3 / (1,4l + x)^2]$$

$$C = 1,3M / n_e v [0,5/lH_{3д} + 42S_3 / (1,4l + x)^2]$$

Вне заветренной зоны при $x > 4H_{3д}$

В межкорпусной зоне при $H_{3д} < x_1 \leq 4H_{3д}$

То же, при $4H_{3д} < x_1 \leq 8H_{3д}$

В межкорпусной зоне при $H_{3д} < x_1 \leq 4H_{3д}$

То же, при $4H_{3д} < x_1 \leq 8H_{3д}$

В межкорпусной зоне при $H_{3д} < x_1 \leq 4H_{3д}$

То же, при $4H_{3д} < x_1 \leq 8H_{3д}$

В межкорпусной зоне при $H_{3д} < x_1 \leq 4H_{3д}$

То же, при $4H_{3д} < x_1 \leq 8H_{3д}$

В наветренной зоне первого по потоку здания

На крыше вне наветренной циркуляционной зоны первого здания при $\overline{H} \leq 0,3$

Над крышей первого здания вне наветренной зоны при $0,3 < \overline{H} \leq 1$

В межкорпусной зоне при $\overline{H} \leq 0,3$

Широкое смежное (со вторым)

Формулы

Класс первого по потоку здания	Место расположения устья источника	Место определения концентрации	Ветер направляется перпендикулярно к продольной оси здания	Направление ветра совпадает с продольной осью здания
Узкое отдельно стоящее (относительно второго)	Над междокорпусной зоной при $0,3 < \bar{H} \leq 1$	В междокорпусной зоне при $H_{зд} < x_1 \leq 4H_{зд}$ То же, при $4H_{зд} < x_1 \leq 8H_{зд}$	$C = 1,3k_h M / n_c v [2/lx_1 + 20s_3/(1,4l + x)^2]$ $C = 1,3k_h M / n_c v [0,5/H_{зд} + 20s_3/(1,4l + x)^2]$	$C = 1,3k_h M / n_c v [2/bx_1 + 20s_3/(1,4b + x)^2]$ $C = 1,3k_h M / n_c v [0,5/bH_{зд} + 20s_3/(1,4b + x)^2]$
	В единой зоне	В единой зоне при $0 < x \leq 6H_{зд}$ Вне единой зоны при $x > 6H_{зд}$	$C = 1,3M/n_c v [0,6/H_{зд}l + 42s_1/(1,4l + b + x)^2]$ $C = 55Ms_1/v (1,4l + b + x)^2$	—
	В междокорпусной зоне	В междокорпусной зоне при $H_{зд} < x_1 \leq 6H_{зд}$ То же, при $6H_{зд} < x_1 \leq 10H_{зд}$	$C = 1,3M/v [1,5/x_1l + 42s_1/(1,4l + b + x)^2]$ $C = 1,3/v [0,25/H_{зд} + 42s_1/(1,4l + b + x)^2]$	—
	Над междокорпусной зоной	В междокорпусной зоне при $H_{зд} < x_1 \leq 6H_{зд}$ То же, при $6H_{зд} < x_1 \leq 10H_{зд}$	$C = 1,3k_h M/v [1,5/lx_1 + 20s_1/(1,4l + b + x)^2]$ $C = 1,3k_h M/v [0,25/H_{зд} + 20s_1/(1,4l + b + x)^2]$	—
	В междокорпусной зоне	В междокорпусной зоне при $8H_{зд} < x_1 \leq 10H_{зд}$	$C = 1,3M/n_c v [0,25/H_{зд} + 20s_1/(1,4l + b + x)^2]$	—
Узкое смежное со вторым, не являющееся первым по потоку в группе	В междокорпусной зоне	В междокорпусной зоне при $8H_{зд} < x_1 \leq 10H_{зд}$	$C = 1,3M/n_c v [0,25/H_{зд} + 20s_1/(1,4l + b + x)^2]$	—

При действии точечных источников максимальные концентрации вредных выбросов рассчитывают на оси факела x , в циркуляционной зоне — по ширине струи y , которую, считая от оси x , принимают не более $5H_{зд}$.

В зависимости от значений x , y и b_2 (расстояния от источника до пункта, в котором определяют концентрацию вредных выбросов) по графикам (рис. 10.4) принимают понижающие коэффициенты s_1 , s_2 , s_3 осевых концентраций C_x . С учетом этого концентрацию вредных примесей рекомендуется [39] рассчитывать по уточненным зависимостям (табл. 10.2), в которых l — длина здания, m ; v — расчетная скорость ветра, m/c ; $n_c = 0,6 + 0,08b/H_{зд}$ — коэффициент уменьшения скорости; x_1 — меж-

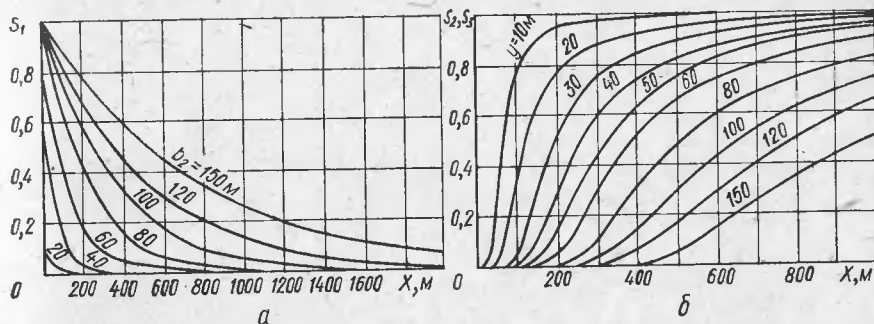


Рис. 10.4. Графики для определения множителей, учитывающих уменьшение концентрации примесей, в зависимости от расстояния от оси факела:

$a - s_1$ при $x = (H - H_{зд})^2 + y^2$; $b - s_2$ при $x = 1,4 l + x$; s_3 при $x = 1,4 l + b + x$.

корпусное расстояние или расстояние от заветренной стены отдельного здания до пункта с искомой концентрацией, m (значения x_1 для первого стоящего широкого здания принимают в пределах от $H_{зд}$ до $4 H_{зд}$ и узкого — от $H_{зд}$ до $6 H_{зд}$).

При действии линейного источника концентрацию вредных веществ в пределах заветренной, единой и межкорпусной циркуляционных зон принимают одинаковой.

Три и более точечных источника с приблизительно равными интенсивностями выбросов и высотами можно рассматривать как линейные при следующих взаимных расстояниях Δy (рис. 10.5):

$$\Delta y \leq 0,28 (b'_3 + b''_3 + A); \quad (10.15)$$

при размещении источников за зданиями

$$\Delta y \leq 0,28 (x' + x'' + A), \quad (10.16)$$

где $A = 4H_{зд}$ — для отдельно стоящего широкого здания; $A = 6H_{зд}$ — для отдельно стоящего узкого здания; $A = 2x_1$ — при расположении источников в межкорпусном пространстве.

Концентрацию вредных веществ в циркуляционных зонах при направлении ветра по нормали к продольной оси здания и действии внешних и внутренних линейных источников можно рассчитать по номограмме [39], представленной на рис. 10.6 (использование ее показано в примере расчета) и построенной по обобщенной зависимости

$$C = 5,6 m M / x_1 l k_p v. \quad (10.17)$$

При действии ветра в направлении продольной оси здания расчеты рекомендуется выполнять по формулам табл. 10.3.

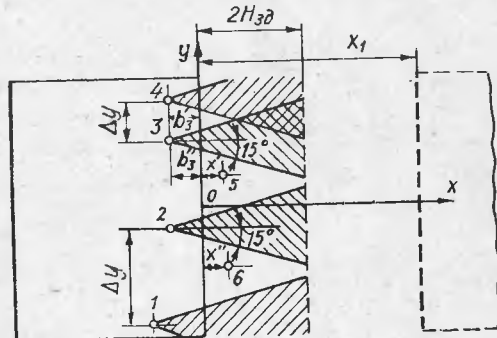


Рис. 10.5. Наложение факелов распространения вредных веществ:

1, 2, 5, 6 — точечные источники; 3, 4 — линейные источники.

Пример. Вдоль наветренной стороны здания высотой 12, шириной 12 и длиной 96 м расположены два источника вредных выбросов (табл. 10.4) с расходом газовой смеси 63 м³/с по длине каждого источника, равной 42 м. Расстояние между источниками — 12 м; межкорпусное расстояние, в котором надо разместить воздухозаборные устройства, — 80 м. Необходимо установить возможность размещения этих устройств.

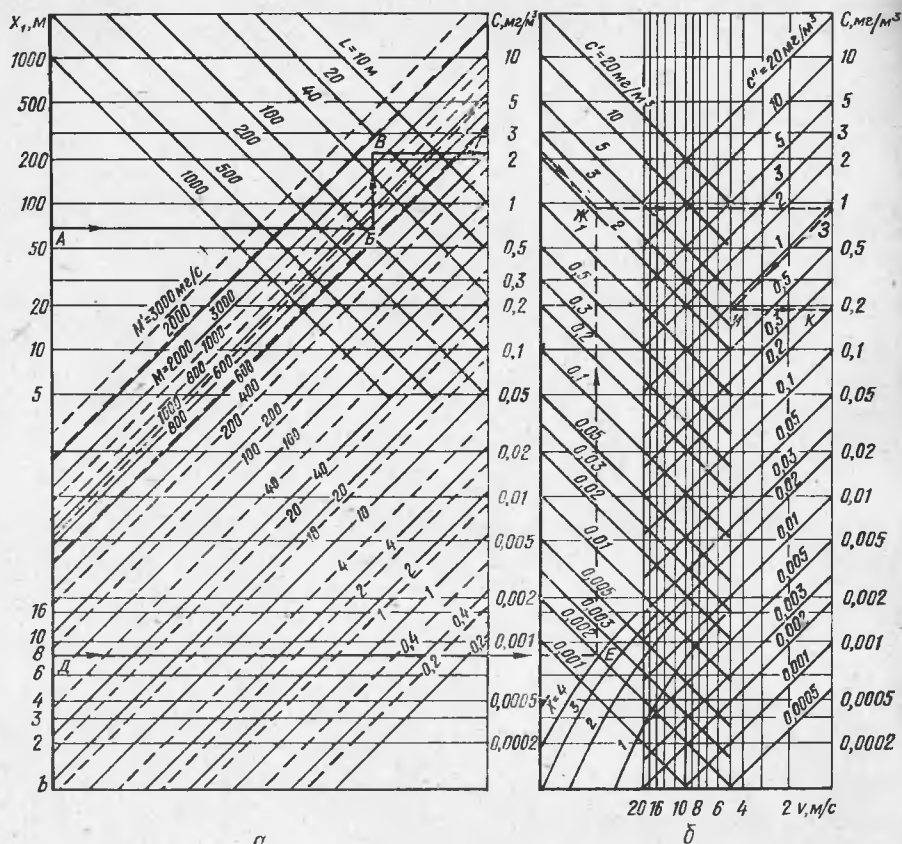


Рис. 10.6. Номограмма для расчета концентраций примесей в воздухе наветренной, единой и межкорпусной циркуляционных зон и за их пределами при действии линейных источников:

а — при $v=1$ м/с и внутренних источниках; б — при $1 < v < 20$ м/с и внешних источниках.

Определяем доминирующее вредное вещество. Рассматриваем отдельно пыль с ПДК 10 мг/м³, диоксидный водород и все остальные вредные вещества как однонаправленного действия. ПДК углеводородов в смеси с сероводородом равна 3 мг/м³. По формуле (10.9) и (10.10)

$$P_1 = \frac{632}{0,3 \cdot 10} - 63 = -147 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$P_2 = \frac{1}{0,3 \cdot 0,3} - 63 = -52 \text{ м}^3/\text{с};$$

Таблица 10.3. Формулы для расчета концентрации вредных веществ при действии линейных источников и направления ветра, совпадающим с продольной осью источников [39]

Класс первого по потоку здания	Место определения концентрации	Формулы
Отдельно стоящее (относительно второго здания) с наветренной зоной на крыше	В заветренной зоне	$C = \frac{1,3M}{vl} \left\{ \frac{10,8}{b} s_1 + (l - 2,5H_{зд}) \times \right.$ $\left. \times m'' \left[\frac{0,8}{H_{зд}b} + \frac{42}{(1,4b + x)^2} s_3 \right] \right\}$
Смежное (со вторым зданием) с наветренной стороны	В межкорпусной зоне при $H_{зд} < x_1 \leq 4H_{зд}$	$C = \frac{1,3M}{vl} \left\{ \frac{28m'H_{зд}}{bx_1} s_1 + m'' (l - \right.$ $- 2,5H_{зд}) \left[\frac{2}{bx_1} + \frac{42}{(1,4b + x)^2} s_3 \right] \right\}$
	То же, при $4H_{зд} < x_1 \leq 8H_{зд}$	$C = \frac{1,3M}{vl} \left\{ \frac{7m'}{b} s_1 + m'' (l - \right.$ $- 2,5H_{зд}) \left[\frac{0,5}{H_{зд}b} + \frac{42}{(1,4b + x)^2} s_3 \right] \right\}$
Смежное (со вторым зданием) с крышей, полностью проветриваемой прямыми потоками воздуха	В межкорпусной зоне при $H_{зд} < x_1 \leq 4H_{зд}$	$C = \frac{1,3mM}{v} \left[\frac{2}{bx_1} + \frac{42}{(1,4b + x)^2} s_3 \right]$
	То же, при $4H_{зд} < x_1 \leq 8H_{зд}$	$C = \frac{1,3mM}{v} \left[\frac{0,5}{H_{зд}b} + \frac{42}{(1,4b + x)^2} s_3 \right]$

Таблица 10.4. Интенсивность выброса вредных веществ одним источником

Вредное вещество	Интенсивность выброса, мг/с	ПДК, мг/м³	Вредное вещество	Интенсивность выброса, мг/с	ПДК, мг/м³
Пыль	$M_1=632$	10	Аммиак	$M_6=74$	20
Цианистый водород	$M_2=1$	0,3	Углеводороды	$M_7=301$	3
Фенол	$M_3=2$	0,3	Сернистый ангидрид	$M_8=51$	10
Оксид углерода	$M_4=73$	20	Двуокись азота	$M_9=87$	5
Сероводород	$M_5=34$	3			

$$P_{3-9} = \frac{73}{0,3 \cdot 20} + \frac{335}{0,3 \cdot 3} + \frac{74}{0,3 \cdot 20} + \frac{51}{0,3 \cdot 10} + \frac{87}{0,3 \cdot 5} +$$

$$+ \frac{2}{0,3 \cdot 0,3} - 63 = 441,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчет производим по сумме интенсивностей $M_3 \div M_9$.
Приводим выбросы $M_3 \div M_9$ к СО по выражению (10.3):

$$M_{(4)} = 73 + 335 \frac{20}{3} + 74 \frac{20}{20} + 51 \frac{20}{10} + 87 \frac{20}{5} + 2 \frac{20}{0,3} = 2963 \text{ мг/с}.$$

Согласно (10.15), $\Delta y = 0,28(12+12+6 \cdot 16) = 33,6$ м, что больше расстояния между источниками. Следовательно, оба источника можно рассматривать как один линейный.

Предельная длина заветренной зоны для узкого здания $x_1 = 6H_{зд}$ и для широкого — $x_1 \leq 4H_{зд}$. Рассматриваемое здание — узкое, так как $b/H_{зд} < 2,5$. Поэтому принимаем $x_1 = 6 \cdot 12 = 72$ м. На номограмме (рис. 10.6) значение x_1 соответствует точке А. Из точки В ведем вертикальную прямую до $M = 2963$ мг/с (точка В), а из точки В — горизонтальную прямую до пересечения с промежуточной осью C_1 (точка Г), на которой отсчитываем концентрацию без поправок $2,2$ мг/м³. Вносим поправку на предельную длину заветренной зоны x_1 и отношение $\bar{b} = b/H_{зд}$. Для линейного источника относительная предельная длина межкорпусного пространства $\bar{x} = 4$. Относительная ширина здания для линейного источника, расположенного в наветренной зоне широкого здания, $\bar{b} = l/H_{зд}$, а вне этой зоны — $\bar{b} = (l - 2,5H_{зд})/2H_{зд}$. В решаемом примере $\bar{b} = 96/12 = 8$. В нижней части шкалы находим $\bar{b} = 8$ (точка Д). Проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой $\bar{x} = 4$ (точка Е), затем вертикальную ЕЖ до пересечения с линией $C' = 2,2$ мг/м³. Проведя горизонтальную прямую ЖЗ, находим искомое значение концентрации вредных веществ в заветренной зоне $0,9$ мг/м³.

Для окиси углерода нормируемая концентрация в приточном воздухе равна $0,3 \cdot 20 = 6$ мг/м³, что значительно больше прогнозируемой — $0,9$ мг/м³. Поэтому в межкорпусной зоне можно организовывать забор приточного воздуха.

При необходимости учета скорости ветра $v > 1$ м/с следует через точку З параллельно линии C'' провести прямую до пересечения с вертикальной линией, соответствующей заданной скорости, и от точки пересечения провести горизонтальную линию до ординаты С. В нашем случае при скорости 5 м/с это будут прямые З — И — К и С = $0,19$ мг/м³.

Используя номограмму (рис. 10.6), можно решать и ряд других задач, например, определения максимально допустимой интенсивности выброса вредного вещества M_0 , минимальных размеров санитарно-защитной зоны, расстояния между зданиями из условий удовлетворения ПДК и выбора мест выброса.

Предельно допустимые выбросы (ПДВ) удобно рассчитывать по формулам табл. 10.5, в которых C_n означает ПДК в рабочей зоне, мг/м³. При действии фонаря [66]

$$M_{0.ф} = 0,19Q^{1/3}H_{зд}^{2/3}C_n l_{ф} / k_{l_{ф}}, \quad (10.18)$$

где Q — количество тепла, выделенного фонарем на 1 м его длины, кВт; $l_{ф}$ — длина фонаря, м; $k_{l_{ф}}$ — коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения $l/H_{зд}$:

$l/H_{зд}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{l_{ф}}$	—	0,9	1	1,15	1,5	1,45	1,65	1,8	2,1	2,2

Если на крыше широкого здания воздухозаборы расположены вне циркуляционной зоны и линейные или точечные источники действуют совместно в наветренной циркуляционной зоне или вне ее, то ПДВ [39]

$$M_0 = (M'_0 n + M''_0) / (n + 1), \quad (10.19)$$

где $n = M_0/M_0''$ — коэффициент пропорциональности.

В аналогичном случае при совместном действии внешних и внутренних линейных или точечных источников и расположения воздухозаборов в заветренной циркуляционной зоне ПДВ доминирующего вредного вещества

$$M_0 = M'_0 n_1 + M''_0 n_2 + M'''_0 / (n_1 + n_2 + 1), \quad (10.20)$$

где n_1, n_2 — коэффициенты пропорциональности, приведенные к эталонному источнику, например, M_0''' , интенсивность которого принимают равной единице.

Согласно СН 245-71, санитарно-защитные зоны рассчитывают по предельно допустимой концентрации C_n' доминирующего вещества в выбросах (табл. 10.6) с учетом фоновой концентрации C_0' . При совместном действии нескольких линейных источников ориентировочный размер санитарно-защитной зоны

$$x = 7,2M_{0.общ} / v(C_n' - C_0'), \quad (10.21)$$

где $M_{0.общ}$ — суммарная интенсивность выделения примесей всеми источниками, мг/с.

Т а б л и ц а 10.5. Формулы для расчета ПДВ доминирующих вредных веществ [39]

Размещение		Вид источника	Формулы
воздухозабора	источника		
На крыше в наветренной зоне широкого или узкого здания	В наветренной зоне	Линейный	$M_0 = 0,08C_{\Pi}H_{зд}vl$
		Точечный	$M_0 = 0,23C_{\Pi}v/[1/H_{зд}l + 42/(1,4l + b_1)^2]$
На крыше широкого здания вне наветренной зоны	В наветренной зоне	Линейный	$M'_0 = 0,05C_{\Pi}b_1vl$
		Точечный	$M'_0 = 0,005C_{\Pi}v(1,4l + b_1)^2$
	Вне наветренной зоны	Линейный	$M''_0 = 0,04C_{\Pi}(b_2vl + 7,2L)$
		Точечный	$M''_0 = 0,005C_{\Pi}(b_2^2v + 55L)$
В заветренной зоне отдельно стоящего широкого здания	В наветренной зоне	Линейный	$M'_0 = 0,11C_{\Pi}H_{зд}vl/m'_л$
		Точечный	$M'_0 = 0,05C_{\Pi}H_{зд}vl/m'_т$
	Вне наветренной зоны на крыше широкого здания	Линейный	$M''_0 = 0,11C_{\Pi}H_{зд}vl/m''_л$
		Точечный	$M''_0 = 0,23C_{\Pi}v/m''_т[0,8/H_{зд}v + 42/(1,4l + x)^2]$
	В наветренной зоне	Линейный	$M'''_0 = 0,11C_{\Pi}H_{зд}vl$
		Точечный	$M'''_0 = 0,23C_{\Pi}v/[0,8/H_{зд}v + 42/(1,4l + x)^2]$
В единой зоне узкого здания	В единой зоне	Линейный	$M_0 = 0,15C_{\Pi}H_{зд}vl$
		Точечный	$M_0 = 0,23C_{\Pi}v/[0,6/H_{зд}l + 42/(1,4l + b + x)^2]$
В межкорпусном пространстве при $H_{зд} < x_1 < 4H_{зд}$ (первое здание широкое)	В наветренной зоне на крыше широкого здания	Линейный	$M'_0 = 0,04C_{\Pi}x_1vl/m'_л$
		Точечный	$M'_0 = 0,02C_{\Pi}x_1vl/m'_т$
	Вне наветренной зоны	Линейный	$M''_0 = 0,04C_{\Pi}x_1vl/m''_л$
		Точечный	$M''_0 = 0,23C_{\Pi}v/m''_т[2/x_1l + 42/(1,4l + x)^2]$
	В межкорпусном пространстве	Линейный	$M'''_0 = 0,04C_{\Pi}x_1vl$
		Точечный	$M'''_0 = 0,23C_{\Pi}v/[2/x_1l + 42/(1,4l + x)^2]$
То же при $H_{зд} < x_1 < 6H_{зд}$ (первое здание узкое)	То же	Линейный	$M_0 = 0,04C_{\Pi}vl/(x_1 + b)$
		Точечный	$M_0 = 0,23C_{\Pi}v/[1,5/x_1l + 42/(1,4l + b + x)^2]$

Таблица 10.6. Формулы для расчета минимального размера санитарно-защитной зоны [39]

Место расположения источников	Формулы	
	Линейный источник	Точечный источник
В наветренной зоне широкого здания	$x = 7,2M_d/vl(C'_n - C'_0) - b$	$x = 15M_T/vl(C'_n - C'_0) - b$
На крыше широкого здания вне наветренной зоны	$x = 1/vl[7,2M_d/(C'_n - C'_0) - 72L] - b_3$	$x = \sqrt{55M_T/v(C_n - C_0) - 55L} - 1,4l$
В заветренной зоне широкого здания	$x = 7,2M_d/vl(C'_n - C'_0)$	$x = \sqrt{55M_T/v(C'_n - C'_0) - 1,4l}$
В единой зоне узкого здания	$x = 7,2M_d/vl(C'_n - C'_0) - b$	$x = \sqrt{55M_T/v(C'_n - C'_0) - (b + 1,4l)}$

Если совместно действуют несколько точечных источников, то размеры санитарно-защитной зоны принимают по максимальной суммарной концентрации примесей на границе зоны, создаваемой всеми источниками и фоном.

10.4. ВЫБРОСЫ ИЗ ВЫСОКИХ ТРУБ

Расчеты, связанные с загрязнением атмосферы выбросами из высоких источников, производят по формулам табл. 10.7, где A — коэффициент стратификации атмосферы, зависящий от температурного градиента при неблагоприятных метеорологических условиях.

Таблица 10.7. Формулы для расчета рассеивания вредных выбросов из высоких источников [63]

Расчетная величина	Характеристика выбросов	
	Теплые $f < 100$ м/(с ² ·°C); $\Delta t > 0$	Холодные $f > 100$ м/(с ² ·°C); $\Delta t < 0$
Максимальная концентрация выбросов, мг/м ³ , в приземном слое на расстоянии $x_{\text{макс}}$ от источника	$C_{\text{макс}} = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{L\Delta t}}$	$C_{\text{макс}} = \frac{AMFDn}{8LH \sqrt[3]{H}}$
Параметр $v_{\text{макс}}$, м/с	$v_{\text{макс}} = 0,65 \sqrt[3]{L\Delta t/H}$	$v_{\text{макс}} = 1,3wD/H$
ПДВ от одного источника, г/с, обеспечивающий ПДК (C_n) в приземном слое	$M_{\text{мин}} = \frac{C_n H^2 \sqrt[3]{L\Delta t}}{AFmn}$	$M_{\text{мин}} = \frac{8C_n LH \sqrt[3]{H}}{AFDn}$

ческих условиях (для центральной части СССР $A=120$, Севера и Северо-Запада европейской части СССР, Среднего Поволжья, Урала и Украины — 160, Казахстана, Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии, Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии — 200, субтропической зоны Средней Азии — 240); F — коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ (для газов и мелкодисперсных аэрозолей $F=1$, для пыли при эффективности очистки 90 % — 2, 75—90 % — 2,5, менее 75 % — 3);

H — высота выброса над поверхностью земли, м; L — объем газовой воздушной смеси, м³/ч; Δt — разность температур выбрасываемого газа и атмосферного воздуха в наиболее жаркий месяц, °C; m и n — коэффициенты, учитывающие условия выброса факела:

$$m = (0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f})^{-1}. \quad (10.22)$$

где $f = \omega_0 D \cdot 10^3 / H^2 \Delta t$; ω_0 — скорость выхода газовой воздушной смеси, м/с; D — диаметр устья трубы, мм; $n = 3$ при $v_{\max} \leq 0,3$; $n = 3 - \sqrt{(v_{\max} - 0,3)(4,36 - v_{\max})}$ при $0,3 < v_{\max} < 2$; $n = 1$ при $v_{\max} \geq 2$.

Точка с максимальной концентрацией вредных веществ находится на оси факела на расстоянии от источника $x_{\max} = Ha$. При $v_{\max} \leq 2$ безразмерный коэффициент $a = 4,95 v_{\max} (1 + 0,28 \sqrt{f})$, при $v_{\max} < 2$ $a = 7 \sqrt{v_{\max} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f})}$. Для пыли при $F > 2 x_{\max} = \left(\frac{5-F}{4}\right) Ha$.

При опасной скорости ветра на уровне устья трубы $u_{\max}$ концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы достигают максимальных значений. При $v_{\max} \leq 0,5$ $u_{\max} = 0,5 v_{\max}$, при $0,5 < v_{\max} < 2$ $u_{\max} = v_{\max}$, при $v_{\max} > 2$ $u_{\max} = v_{\max} (1 + 0,12 \sqrt{f})$.

Концентрация вредного вещества в данном пункте равна сумме концентраций, образующихся в результате выбросов из всех низких и высоких источников.

11. ОЧИСТКА ВЫБРАСЫВАЕМОГО ВОЗДУХА И ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ

11.1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ

Основные классы и номенклатура пылеуловителей приведены в табл. 11.1 и 11.2. Коэффициент очистки пылеуловителя η_n равен отношению уловленной массы пыли ΔM к поступающей в пылеуловитель M_1 :

$$\eta_n = \Delta M / M_1 = (M_1 - M_2) / M_1. \quad (11.1)$$

где M_2 — масса пыли в уходящем из пылеуловителя газе.

Таблица 11.1. Классификация пылеуловителей по эффективности [33]

Класс пылеуловителя	Минимальные размеры эффективно улавливаемых частиц, мкм	Группа дисперсности пыли	Эффективность, %	Класс пылеуловителя	Минимальные размеры эффективно улавливаемых частиц, мкм	Группа дисперсности пыли	Эффективность, %
I	0,3—0,5	V	80	III	4	III	80—99
II	2	IV	80—99,9	IV	8	II	99—99,9
		IV	45—92			II	95—99,9
		III	92—99,9			I	99,9
				V	20	I	99

Коэффициент проскока пыли

$$k_{\text{пр}} = 1 - \eta_n = M_2 / M_1. \quad (11.2)$$

Эффективность пылеулавливания справедлива только для определенных фракций. Общий коэффициент очистки η_0 для фракций $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$, выраженных в долях по массе при соответствующих фракционных коэффициентах очистки $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$, определяется формулой

$$\eta_0 = \frac{\eta_1 \Phi_1}{100} + \frac{\eta_2 \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_n \Phi_n}{100}. \quad (11.3)$$

Таблица 11.2. Область наиболее целесообразного применения пылеуловителей [33]

Вид пылеуловителей	Тип	Класс	Область применения по группам дисперсности пыли					Максимальная потеря давления, кПа
			I	II	III	IV	V	
Гравитационные Инерционные	Пылеосадочные камеры Циклоны большой производительности (одиночные и групповые) Циклоны высокой эффективности Батарейные циклоны Скрубберы ЦВП и центробежные СИОТ То же, скоростные Струйные ПВМ	V	+	+				0,2
		V	+	+				0,6
		IV		+	+			2
		IV		+	+			2
		IV		+	+			1
		III			+			2
		II			+	+		4,5
		III			+			1,5
		I				+	+	10
		II			+	+		4,5
Промыватели Тканевые	«Вентури»	II			+	+		2
	КМП типа «Вентури»	II			+	+		2
	Пенные	II			+	+		2
	Сетчатые для улавливания волокнистой пыли Матерчатые, рукавные	V	+					1
Электрические	Пластинчатые	I				+	+	2,5
		II			+	+		1,5
		III	+	+	+	+		0,6
		I			+			0,3
		II				+	+	0,6

11.2. СУХАЯ ГРУБАЯ И СРЕДНЯЯ ОЧИСТКА

При грубой очистке улавливают частицы более 60 мкм с эффективностью 90 % и выше. Пылеуловители с такой эффективностью используются в качестве 1-й степени очистки, в результате которой предотвращается быстрый выход из строя горизонтальных воздухопроводов от оседания и слеживания пыли, уменьшается износ вентиляционного оборудования и снижается начальная запыленность газов.

Пылеосадочные камеры применяют в виде коллекторов, рассчитанных на улавливание крупных фракций, выпадающих под действием собственной массы.

Сила аэродинамического сопротивления движению частицы в вязкой среде F , Н, выражается, согласно закону Ньютона, уравнением

$$F = cS \frac{v_r^2 \rho_r}{2}, \quad (11.4)$$

где c — коэффициент сопротивления; S — площадь Минделева сечения частицы, м²; v_r — скорость движения частицы относительно среды, м/с; ρ_r — плотность среды потока, кг/м³.

При обтекании частицы потоком в пределах чисел Рейнольдса, взятых относительно диаметра частицы d_n , $0 < Re < 1$ коэффициент сопротивления $c = 24/Re$. Сила сопротивления определяется законом Стокса

$$p = 3\pi d_n \eta v_r, \quad (11.5)$$

а скорость оседания частицы, т. е. скорость витания,

$$v_s = d_n^2 (\rho_n - \rho_r) g / 18\eta, \quad (11.6)$$

где ρ_n — плотность вещества пылинки, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; η — коэффициент динамической вязкости, Па·с.

При $0,1 < Re < 1000$ коэффициент сопротивления можно вычислить с погрешностью около 4 % по формуле Л. С. Клячко [33]

$$c = 24/Re + 4/\sqrt{Re}. \quad (11.7)$$

Чтобы частица осела на дно камеры, ее длина при условии ламинарного движения потока должна быть

$$l \geq h v_r / v_s, \quad (11.8)$$

где h — высота камеры, м.

Эффективность улавливания пыли пылесодочными камерами составляет 46—75 % при диаметре частиц до 90 мкм.

Инерционные пылеуловители в виде пылевых мешков имеют эффективность 65—85 % при размере частиц более 25 мкм [33]. Потеря давления при этом составляет 150—320 Па.

Инерционные аппараты жалюзийного типа Всесоюзного теплотехнического института при потере давления в аппарате 200—500 Па имеют эффективность очистки при диаметрах частиц 25 и 60 мкм соответственно 86,5 и 97,7 %.

Циклоны используют как для грубой, так и для средней очистки газов от пыли. В циклонах улавливают частицы размером 10 мкм и более с эффективностью не ниже 90 %.

Циклон НИИОГАЗ ЦН-11 утвержден Госстроем СССР в качестве унифицированного пылеуловителя. На производстве используют и другие конструкции циклонов НИИОГАЗ (ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24, СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34), ВНИИОТ, ВЦНИИОТ, СИОТ, которые имеют незначительно отличающуюся эффективность.

Циклоны ЦН-11 и ЦН-15 (табл. 11.3) применяются для неслипающейся пыли в системах аспирации. Максимальная температура газов в циклонах — 400 °С, потеря давления — не более 5 кПа. Для циклонов НИИОГАЗ потеря давления является произведением скоростного давления, взятого по средней условной скорости в цикло-

Таблица 11.3. Циклоны ЦН-11 и ЦН-15 [55]

Циклоны	Рекомендуемая средняя условная скорость в циклоне, м/с	Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к условной скорости	Допустимая начальная запыленность газов, г/м³	Циклоны	Рекомендуемая средняя условная скорость в циклоне, м/с	Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к условной скорости	Допустимая начальная запыленность газов, г/м³
ЦН-11	$\frac{2,2-2,8}{2-2,6}$	$\frac{250}{300}$	250—1000	ЦН-15	2,5—4	$\frac{147}{175; 182}$	250—1000

Примечания. 1. В числителе — данные для одинарных циклонов, в знаменателе — для групповых. 2. Коэффициент $\zeta=175$ — при улиточном отводе газов, $\zeta=182$ — при отводе через общий сборник.

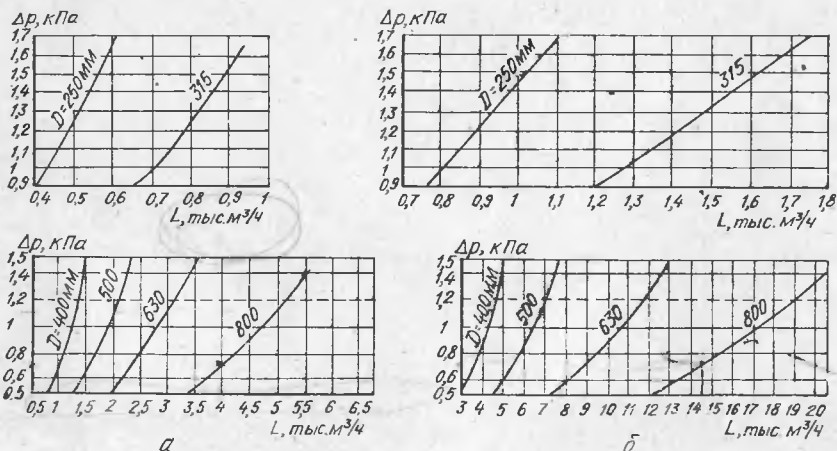


Рис. 11.1. Потери давления в циклонах ЦН-11:

а — в одиночном циклоне; б — в группе из четырех циклов (D — диаметр циклона).

ие, и коэффициента местного сопротивления. Потери давления для ЦН-11 можно принимать также по графикам (рис. 11.1). Эффективность работы циклонов НИИОГАЗ приведена на рис. 11.2. Циклоны устанавливают на постаменте (рис. 11.3, 11.4, табл. 11.4 и 11.5). Для получения необходимой производительности при номинальной эффективности циклоны группируют по 2, 3, 4, 5 и более. Очищенный газ выбрасывается из циклона через улитку или в сборник. Разгружают циклоны в емкости, установленные на автокар, тележку, электрокар.

Циклоны СИОТ (рис. 11.5, табл. 11.6) применяют для очистки воздуха от сухой неволокнистой, неслипающейся пыли. При установке циклона на всасывающей стороне вентилятора газ выходит через раскручиватель с винтовой крышкой, а при установке на стороне нагнетания — через шахту с колпаком или раскручивателем

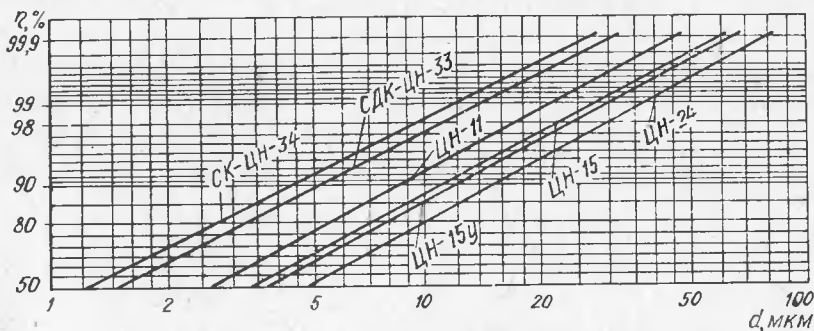


Рис. 11.2. Эффективность улавливания пыли циклонами НИИОГАЗ (d — диаметр частицы).

Таблица 11.4. Установка одиночных циклонов на постаменте (см. рис. 11.3) [55]

Диаметр циклона D , мм	Размеры, мм										Общая масса, кг
	A	B	B ₁	B	Г	H	H ₁	h	h ₁	d	
400	856	240	200	192	104	4665	5045	1500	755	240	1371
500	856	300	250	240	130	5065	5515	1500	755	300	1397
630	1306	378	315	302	164	5885	6420	1800	1055	378	1740
800	1306	480	400	384	208	6565	7210	1800	1055	480	1893

Таблица 11.5. Установка из четырех циклонов на постаменте (см. рис. 11.4) [55]

Диаметр циклона D , мм	Размеры, мм														Общая масса, кг
	A	A ₁	A ₂	B	B ₁	B ₂	B	Г	C	C ₁	H	H ₁	h	d	
400	4640	3060	618	4040	2520	440	192	426	3500	2860	6865	7850	2740	450	5450
500	4640	3060	770	4040	2520	540	240	530	3500	2860	7270	8350	2540	630	5980
630	4640	3060	972	4040	2520	670	302	670	3500	2860	7790	8990	2540	710	6872
800	4840	3260	1230	4440	2920	840	354	846	3700	3260	8570	10230	2540	900	8565

в виде плоского щита. Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости входа воздуха, равен 4,2 для циклона с винтовым раскручивателем и 6 — без него. Максимальное разрежение (давление) — 5 кПа.

Циклоны ВЦНИОТ (рис. 11.6, табл. 11.7) используют для сухой неслипающейся, неволокнистой и абразивной, а также слабослипающейся (сажа, тальк) пыли. Рекомендуемая скорость воздуха во входном патрубке — 14—16 м/с; при этом потери давления равны 1250—1650 Па.

Для улавливания древесной пыли применяют циклоны Гипродревпрома типа Ц (рис. 11.7, табл. 11.8). Их устанавливают со стороны нагнетания вентилятора над бункером при транспортировании отходов автотранспортом, а также над воронками, если используют пневмотранспорт (рис. 11.8). Скорость воздуха во входном патрубке — 16—20 м/с, коэффициент местного сопротивления, отнесенный к этой скорости, — 5,4, эффективность — 98—98,5%.

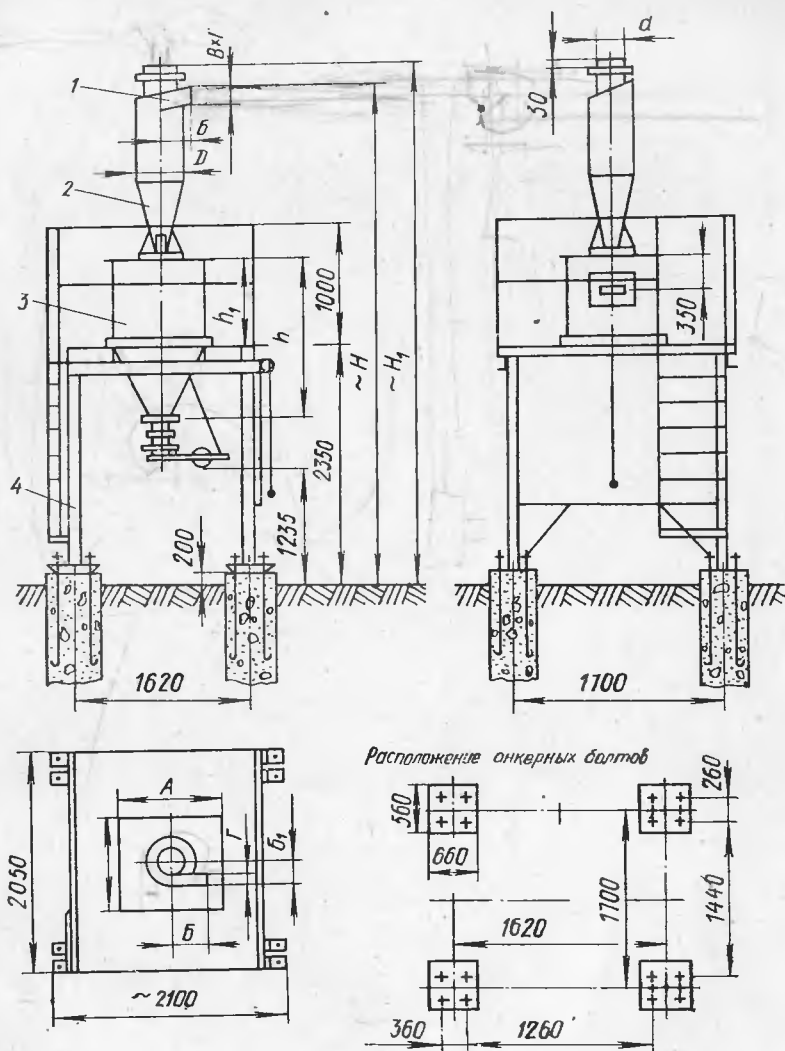


Рис. 11.3. Установка одиночного циклона ЦН-11:

1 — входной патрубок циклона; 2 — корпус; 3 — бункер; 4 — постамент.

Для очистки воздуха не только от стружки и опилок, но и от шлифовальной пыли, применяют циклон Гипродревпрома ЦЦ-38 (рис. 11.9, табл. 11.9). Его можно устанавливать как на нагнетательной, так и на всасывающей части вентилятора. Скорость воздуха во входном патрубке — 12—16 м/с, коэффициент местного сопротивления, взятый по отношению к этой скорости — $7,6D$, где D — диаметр циклона, м.

Кроме одиночных и групповых, для очистки воздуха применяются батарейные циклоны типа БЦ-2 и ПБЦ (рис. 11.10, табл. 11.10). Допускаемая начальная запыленность ПБЦ — 75 г/м³, температура очищаемых газов — до 120 °С, расчетное давление (разрежение) — 40 кПа, коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости в цилиндрическом сечении циклончика диаметром 250 мм — 120, эффективность очистки от угольной пыли средней фракции 30 мкм — более 95 %.

Для очистки газов, отходящих от котлоагрегатов, применяют батарейные циклоны БЦРН и БЦУ.

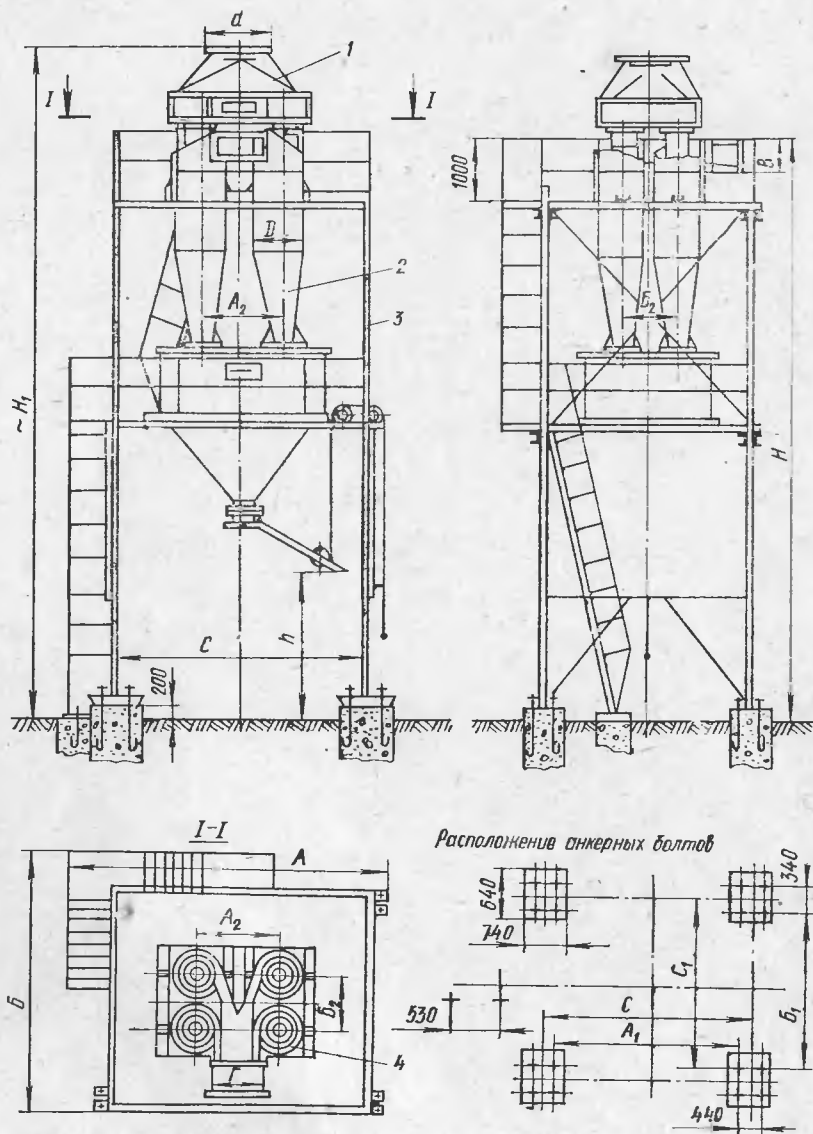


Рис. 11.4. Установка группы из четырех циклонов ЦН-11:

1 — сборник воздуха; 2 — корпус циклона; 3 — постамент; 4 — улитка.

Таблица 11.6. Циклоны СИОТ (см. рис. 11.5) [55]

Номер циклона	Произво- дитель- ность, тыс. м³/ч	Размеры, мм									Масса, кг
		A_1	A_2	A_3	B	H	h	h_3	d	d_1	
1	1,5	703	264	135	675	1720	1360	235	170	68	51
2	3	1045	380	195	970	2455	1960	335	245	98	102
3	4,5	1242	465	240	1184	2995	2400	407	300	120	148
4	6	1428	535	275	1363	3440	2765	460	345	138	195
5	7,5	1593	597	310	1520	3830	3075	525	385	154	244
6	8,5	1698	635	330	1620	4080	3280	555	410	164	275
7	10	1943	690	335	1758	4423	3555	605	445	178	323

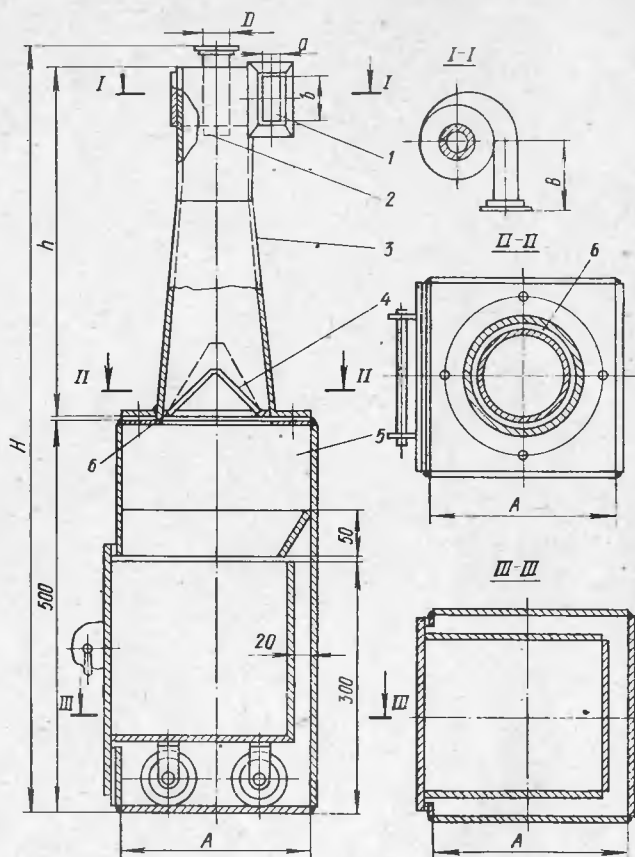
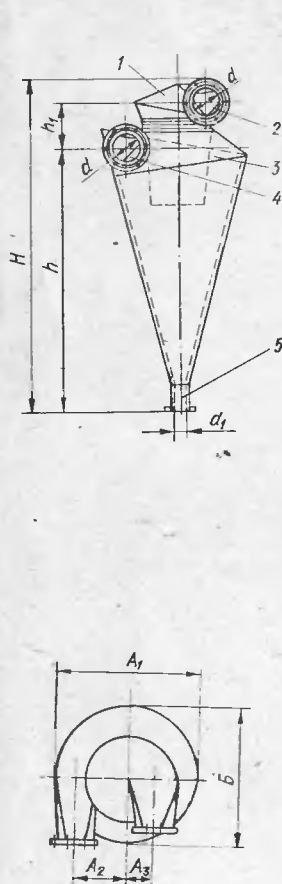


Рис. 11.5. Циклон СИОТ:
1 — раскручиватель; 2 — вы-
ходной патрубок; 3 — крыш-
ка корпуса; 4 — входной па-
трубок; 5 — пылеотводящий
патрубок.

Рис. 11.6. Циклон ВЧНИОТ:

1 — входной патрубок; 2 — выхлопная труба; 3 — корпус; 4 —
внутренний конус; 5 — камера пылесборника; 6 — кольцевая
щель.

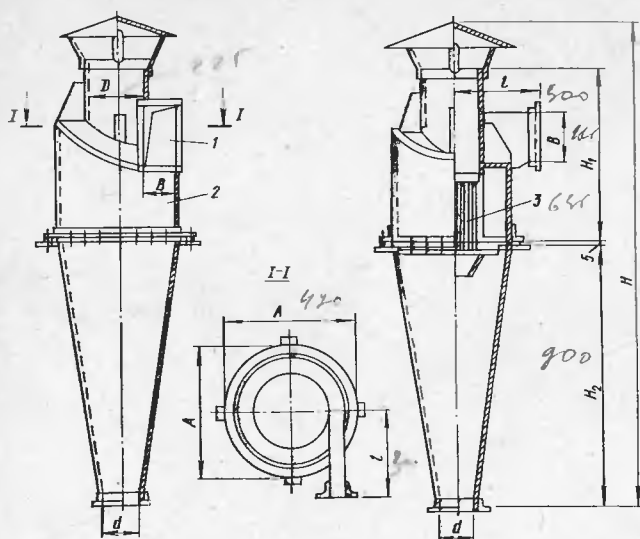


Рис. 11.7. Циклон типа Ц:

1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — сепаратор.

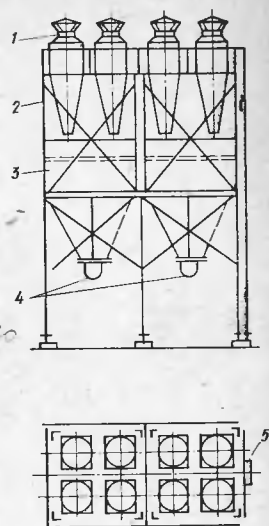


Рис. 11.8. Установка циклонов типа Ц:

1 — циклон; 2 — постамент; 3 — бункер; 4 — затвор; 5 — лестница.

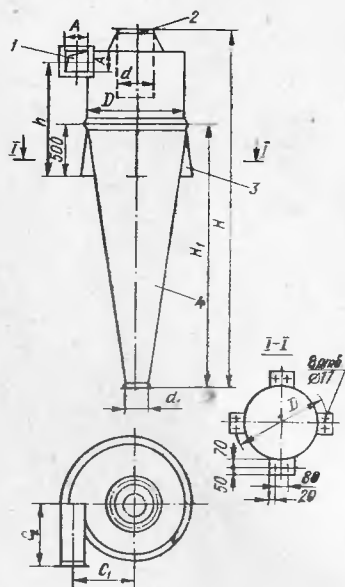


Рис. 11.9. Циклон УЦ-38:

1 — входной патрубок; 2 — выходной патрубок; 3 — опора; 4 — корпус.

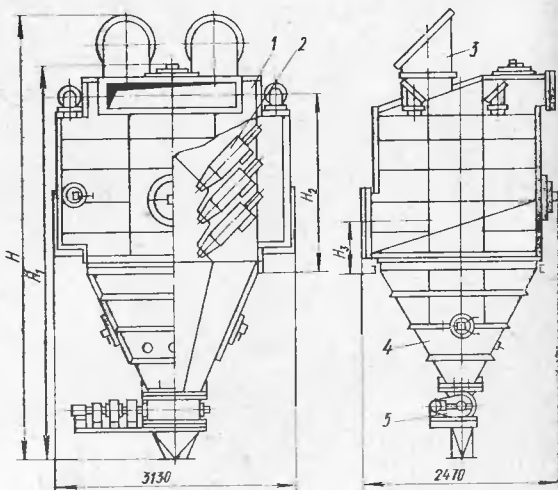


Рис. 11.10. Батарейный циклон типа ПБЦ:

1 — корпус; 2 — циклонный элемент; 3 — предохранительный клапан; 4 — бункер; 5 — лопастной затвор.

Таблица 11.7. Установка циклона ВЦНИИОТ (см. рис. 11.6) [55]

Номер циклона	Производительность, тыс. м³/ч	Размеры, мм						Масса установки, кг	
		D	A	B	H	h	a×b	с бункером	с выдвигным ящиком
1	0,15	50	250	75	1020	500	26×100	17,5	20,6
2	0,31	75	375	112	1280	750	39×150	30,6	35,4
3	0,6	100	500	150	1540	1000	52×200	45,7	54,2
4	0,92	125	625	188	1800	1250	65×250	64,8	73,2
5	1,33	150	750	225	2060	1500	78×300	124,6	97,1
6	2	185	925	278	2424	1850	96×370	169,4	135,9
7	3	228	1138	341	2866	2275	108×455	230,6	191,6
8	4	263	1313	394	3230	2625	136×525	438,7	244,8
9	5	293	1463	439	3542	2925	152×585	528,5	296,1
10	6	323	1613	484	3854	3225	168×645	588,7	351,9
11	7	348	1738	521	4114	3475	181×695	654,1	401,6

Таблица 11.8. Циклоны Гипродревпрома типа Ц (см. рис. 11.7) [55]

Марка циклона*	Производительность, тыс. м³/ч	Площадь сечения входного патрубка, м²	Размеры, мм								Масса, кг
			D	d	H	H ₁	H ₂	l	A	B	
Ц-250	0,5—0,7	0,00845	150	100	1150	425	600	190	340	130	18,2
Ц-300	0,7—1	0,01235	185	110	1380	525	700	225	390	165	26,3
Ц-375	1—1,5	0,01755	225	135	1720	635	900	300	470	185	36
Ц-450	1,5—2,2	0,0259	270	160	2035	765	1050	340	550	225	53,8
Ц-550	2,2—3,2	0,0378	330	200	2505	935	1300	450	650	270	71
Ц-600	2,6—3,25	0,045	355	220	2755	1020	1440	450	730	300	80
Ц-675	3,2—4,5	0,0553	400	250	3053	1130	1600	550	810	325	103,4
Ц-730	3,85—4,8	0,0668	440	270	3345	1240	1750	570	865	365	106,5
Ц-800	4,5—6,6	0,08	480	300	3650	1360	1900	600	970	400	165,6
Ц-870	5,45—6,85	0,0948	520	320	3980	1480	2080	650	1040	435	184,5
Ц-950	6,6—9,5	0,115	575	350	4335	1625	2250	750	1080	490	207,5
Ц-1050	7,95—9,95	0,138	630	390	4815	1785	2520	790	1283	525	247
Ц-1150	9,5—14	0,155	690	420	5255	1950	2750	900	1300	560	322,5
Ц-1235	11—13	0,19	740	460	5635	2100	2960	930	1406	617	333
Ц-1320	12,55—13,7	0,218	790	490	6045	2240	3170	990	1508	660	462,5
Ц-1400	14—20	0,249	840	500	6395	2370	3350	1050	1550	700	460
Ц-1500	15—23	0,277	900	550	6865	2540	3600	1140	1650	750	516
Ц-1600	18,4—23	0,32	960	590	7335	2750	3840	1200	1740	800	573

* Цифры соответствуют внутреннему диаметру $D_{вн}$, мм.

11.3. СУХАЯ ТОНКАЯ ОЧИСТКА

Тонкая очистка запыленного воздуха заключается в улавливании частиц размером 5 мкм с эффективностью не менее 99 %. Ее осуществляют с помощью тканевых фильтров (табл. 11.11) и электрических пылеуловителей. Ткани имеют хорошую стойкость по отношению к растворителям. Фильтры из них нашли применение в системах аспирации. Ткани регенерируют преимущественно автоматически путем встряхивания и обратной продувки.

Рукавные фильтры НИИОГАЗ типа ФРКН-В и ФРКИ (рис. 11.11, табл. 11.12) выполнены из лавсановых рукавов, натянутых на каркас и открытых сверху. Кон-

Таблица 11.9. Циклон Гипродревпрома УЦ-38 (см. рис. 11.9) [55]

Номер циклона*	Производительность, тыс. м³/ч	Объем конуса, м³	Размеры, мм								Масса, кг
			H	H ₁	h	d	d ₁	A	C ₁	C ₂	
9	2,2—2,9	0,64	3400	2500	1090	340	180	225	563	550	163
10	2,7—3,6	0,91	3800	2800	1175	380	200	250	625	600	202
11	3,26—4,35	1,2	4220	3100	1260	420	220	275	688	650	245
12	3,88—5,2	1,57	4550	3350	1300	460	240	300	750	700	280
13	4,58—6,1	2	4980	3650	1390	490	260	325	813	750	331
14	5,3—7	2,48	5300	3900	1425	530	280	350	875	800	380
15	6,05—8,05	3,1	5720	4200	1510	570	300	375	938	850	441
16	6,9—9,2	3,74	6150	4500	1600	610	320	400	1000	900	496
18	8,7—11,6	5,3	6800	5050	1725	680	360	450	1125	950	624
20	10,8—14,4	7,4	7600	5600	1850	760	410	500	1250	1050	745

* Соответствует внутреннему диаметру D_{вн.} дм.

Таблица 11.10. Батарейный циклон типа ПБЦ (см. рис. 11.10) [55, 37]

Марка циклона	Производительность, тыс. м³/ч	Количество		Размеры, мм				Масса, т
		циклонных элементов	взрывных клапанов	H	H ₁	H ₂	H ₃	
ПБЦ-15	12—15	24	1	5270	4650	1755	515	4
ПБЦ-25	25—30	36	2	5760	5140	2215	665	5
ПБЦ-35	35—40	48	2	6400	5820	2850	815	6,1
ПБЦ-50	50—60	96	2	6550	5850	2880	820	12,5

Таблица 11.11. Некоторые свойства фильтровальных тканей [33]

Ткань	Состав ткани	Толщина, мм	Масса 1 м², г	Водопроницаемость, м³/(ч м²) при потере давления 50 Па	Характер поверхности	Максимальная термостойкость, °С
Фильтровальное сукно № 2 (арт. 20)	Шерсть с капроном	1,5	410	180	Гладкая	95
Байка ЧШ (арт. 21)	Шерсть	2,4	480	—	»	95
Ткань нитроновая (арт. 1609)	Нитрон	1,6	430	—	»	130
То же, НЦМ	»	1,7	400	450	Ворсованная	130
Ткань ЦМ (арт. 83)	Шерсть с капроном (30%)	2,4	500	600	Гладкая	95
Ткань лавсановая	Лавсан	1,4	450	240	»	140
		1,2	370	252	»	140
То же, № 5386а	»	2,2	510	360	Ворсованная	140
Стеклоткань 6, аппретированная	Стекловолоконно	0,22	290	162	Гладкая	250

Примечание. Стойкость всех тканей в кислой среде хорошая, в щелочной: нитроновой, ЦМ и стеклоткани — хорошая, остальных — плохая.

струкции обоих типов фильтров аналогичны, но фильтры ФРКН-В изготовлены во взрывобезопасном исполнении. Допустимая начальная запыленность фильтров — 50 г/м^3 , удельная газовая нагрузка — $1,2\text{--}2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Потеря давления в фильтрах — $1\text{--}1,5 \text{ кПа}$, давление продувочного воздуха — $0,3$ и $0,6 \text{ МПа}$, рабочее давление (разрежение) — до 5 кПа .

Характеристика других типов рукавных фильтров представлена в табл. 11.13. Фильтры ГЧ-1БФМ (ФВ) работают в аспирационных системах под разрежением; очистка рукавов осуществляется автоматически посредством периодического встряхивания и обратной продувки. Фильтр ГЧ-2БФМ (ФВВ) используют для очистки воздуха в системах пневмотранспорта при разрежении до 20 кПа . Рукавные фильтры

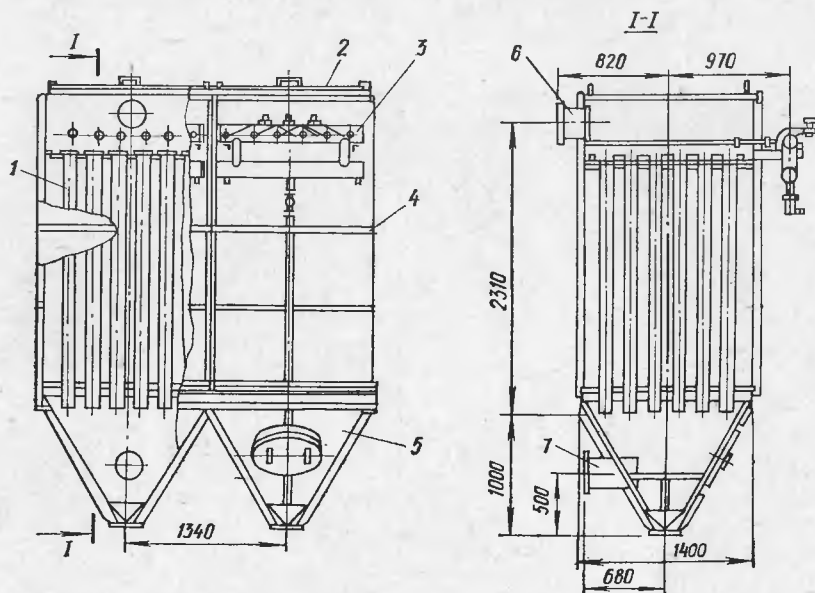


Рис. 11.11. Рукавный фильтр типа ФРКН-В и ФРКИ:

1 — рукав; 2 — крышка; 3 — клапанная секция; 4 — корпус; 5 — бункер для пыли; 6 — выходной патрубок; 7 — входной патрубок.

Таблица 11.12. Рукавные фильтры ФРКИ и ФРКН-В [54, 67]

Наименование показателей	ФРКИ-30, ФРКН-В-30	ФРКИ-60, ФРКН-В-60	ФРКИ-90, ФРКН-В-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Площадь фильтрации, м^2	30	60	90	180	360
Число рукавов (диаметр — 130 мм)	36	72	108	144	288
Высота рукава, м	2	2	2	3	3
Количество электромагнитных клапанов	6	12	18	24	48
Число секций	1	2	3	4	8
Наибольший расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	10,7	20	30	40	80
Габариты, мм:					
длина	1458	2820	4140	5480	5850
ширина	2060	2060	2060	2060	4370
высота	3620	3620	3620	4620	4880
Масса, т	1,3	2,5	3,5	5,5	10,5

Таблица 11.13. Рукавные фильтры ГЧ-1БФМ, ГЧ-2БФМ, РФГ-УМС, ФВК, СМЦ-101 [33]

Марка фильтра	Расход воз- духа, тыс. м ³ /ч	Площадь фильтрации, м ²		Число секций	Рукава			Масса филь- тра, кг	Мощность двигателя, кВт	Габариты, мм		
		общая	рабочая		Количес- тво	Диаметр, мм	Длина, мм			Длина	Ширина	Высота
ГЧ-1БФМ (ФВ)-30 ГЧ-1БФМ(ФВ)-45 ГЧ-1БФМ(ФВ)-60 ГЧ-1БФМ(ФВ)-90	3,6	30	15	2	36	135	2090	1000	1,2	1286	1580	4236
	5,4	45	30	3	54			1365		1822		
	8,1	60	45	4	72			1476		2341		
	13,5	90	75	6	108			2119		3376		
ГЧ-2БФМ(ФВВ)-45 ГЧ-2БФМ(ФВВ)-60 ГЧ-2БФМ(ФВВ)-90	5,4	45	30	3	54			1735	1,4	1950	1580	4370
	8,1	60	45	4	72			2175		2470		
	13,5	90	75	6	108			2935		3500		
РФГ-УМС одинарный	15,1	112	84	4	56	220	3100	6660	1,5	3003	2250	7000
	25,2	168	140	6	84			9327		4503		
	35,3	224	196	8	112			11874		6003		
	45,4	280	252	10	140			14540		7503		
ФВК-30 ФВК-60 ФВК-90	3,6	30	15	2	36	135	2060	1053	1,2	1701	1690	4463
	8,1	60	45	4	72			1682		2801		
	13,5	90	75	6	108			2300		3901		
СМЦ-101 (1) СМЦ-101 (2) СМЦ-101 (3)	7	57	28,5	2	36	200	2540 4800 9300	2360	1,5	3340	1690	5640 9340 13840
	13	108	54					3130				
	25	210	105					4370				

РФГ-УМС работают под разрежением до 2,5 кПа и могут работать также под избыточным давлением до 2 кПа. Фильтры ФВК используются главным образом в пищевой промышленности. Фильтры СМЦ-101 (рис. 11.12) предназначены для очистки газов с температурой до 300 °С от цементной и других технологических пылей. Они работают как под разрежением, так и под давлением. Допустимая начальная запыленность фильтра — до 50 г/м³, потеря давления — 1,9 кПа, продолжительность регенерации одной камеры — 120—180 с.

Кроме фильтра СМЦ-101 для очистки газов от цементной пыли НИИОГАЗ рекомендует унифицированный фильтр ФРГИ (табл. 11.14) с диаметром рукавов 220 мм и длиной 4 м. Эффективная газовая нагрузка фильтра — 0,5—1,1 м³/(м²·мин), потеря давления — 1,4—1,8 кПа.

Электрические пылеуловители [12, 54] являются наиболее универсальными аппаратами, которые могут улавливать частицы размером менее 1 мкм с эффективностью 93 % и более при начальной запыленности газа 50 г/м³ и более, затратах электроэнергии 0,1—0,5 кВт/ч на 1000 м³/ч; потерях давления 100—150 Па и температуре газов 400—450 °С. Их можно использовать при работе на всасывание и нагнетание, а в соответствующем исполнении — в агрессивных средах. Электрофильтры применяют для пылей с достаточным электрическим сопротивлением.

Рис. 11.12. Рукавный фильтр СМЦ-101-А:

1 — механизм встряхивания; 2 — выходной коллектор; 3 — рукав; 4 — клапан; 5 — коллектор продувочного воздуха; 6 — пылевывпускной патрубок; 7 — входной коллектор.

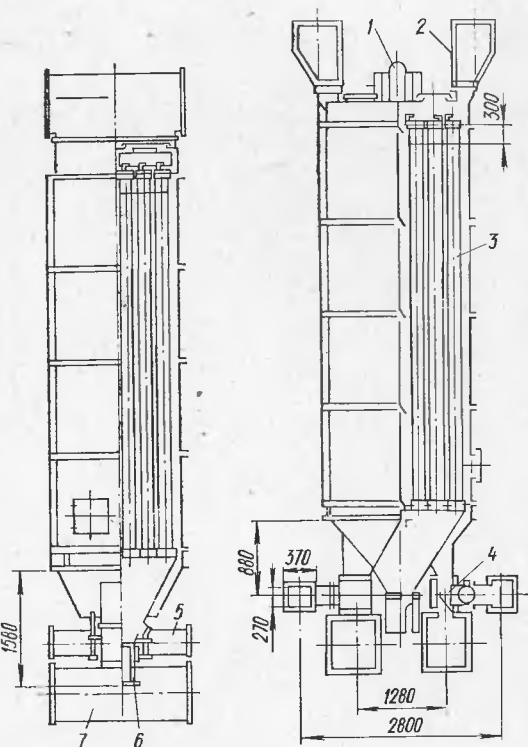


Таблица 11.14. Фильтры типа ФРГИ [54, 67]

Наименование показателей	ФРГИ-520	ФРГИ-780	ФРГИ-1300	ФРГИ-1560	ФРГИ-2080
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	520	780	1300	1560	2080
Количество рукавов	200	300	500	600	800
» секций	4	6	10	12	16
» электромагнитных клапанов	24	36	60	72	96
Количество шлюзовых затворов	4	6	10	12	16
Габариты, мм:					
высота			8400		
ширина			5700		
длина	6240	9240	15240	18240	24240
Масса, т	22	33	55	66	88

Если газовая среда взрывоопасна, то электрофилтры в обычном исполнении применять не рекомендуется. Для этих случаев их выполняют с устройствами автоматического контроля за состоянием среды и управления нагнетателями инертных веществ, аппаратурой отключения электроэнергии и т. д.

Электрофилтры серии УГ (табл. 11.15) применяются на заводах черной металлургии для очистки газов, отходящих от мартеновских печей, вращающихся обжиговых печей, котлоагрегатов ТЭЦ, в цементной промышленности и других произ-

Т а б л и ц а 11.15. Электрофилтры типа УГ [12, 54]

Типоразмер	Площадь осаждения, м ²	Активная длина поля, м	Активная высота электродов, м	Габариты, м		
				Длина	Высота	Ширина
УГ1-1-10	420	2,51	4,2	9,6	12,3	3
УГ1-3-10	633			14,1		3
УГ1-2-15	633			9,6		4,5
УГ1-3-15	949			14,1		4,5
УГ2-3-26	1685	2,51	7,46	14,1	15,4	4,5
УГ2-4-26	2247			18,6		4,5
УГ2-3-37	2539			14,1		6
УГ2-4-37	3146			18,6		6
УГ2-3-53	3370			14,1		9
УГ2-4-53	4494			18,6		9
УГ2-3-74	4719			14,1		12
УГ2-4-74	6291			18,6		12
УГ3-3-88	9200	3,95	12,16	18,8	21,8	9
УГ3-4-88	12300			24,8		9
УГ3-3-115	12100			18,8		12
УГ3-4-115	16100			24,8		12
УГ3-3-177	18400			18,8		18
УГ3-4-177	24600			24,8		18
УГ3-3-230	24200			18,8		24
УГ3-4-230	32200			24,8		24
УГ3-3-265	27600			18,8		27
УГ3-4-265	36900			24,8		27

Т а б л и ц а 11.16. Электрофилтры типа УВ (см. рис. 11.13) [12, 67]

Наименование показателей	УВ2×10	УВ3×10	УВ2×16	УВ2×24	УВ3×24
Площадь активного сечения, м ²	21,6	32,4	32,4	48	72
Производительность по газу, тыс. м ³ /ч, при скорости в активной зоне 1 м/с	77,5	117	117	173	259
Активная ширина поля, м	4	4	4	5,8	5,8
Площадь осаждения осадительных электродов, м ²	1170	1755	1760	2600	3900
Размеры, мм:					
А	3000	3000	4500	4500	4500
Б	6660	9660	9660	9700	14200
В	5755	5755	5755	8150	8150
Н	20125	20125	20125	21680	21680
Н ₁	3080	3080	3100	4130	4130
Н ₂	1260	1260	1240	1665	1665
Масса, т	68	106	88	128	191

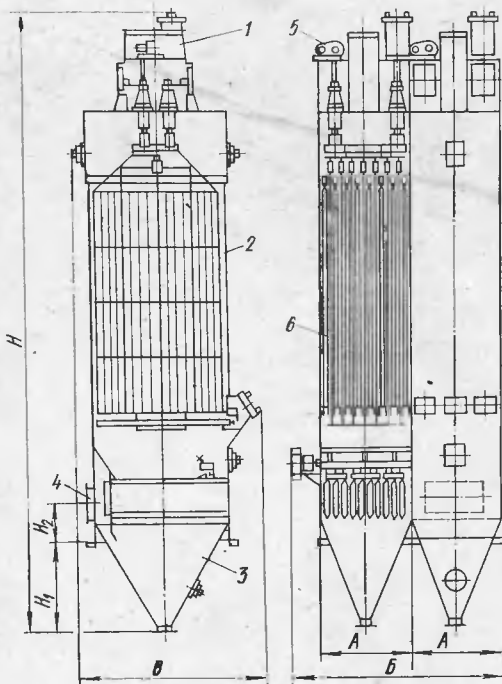
водствах. Фильтры работают при температуре газов до 250°C . Маркируют фильтры в зависимости от высоты электродов (первая цифра), числа электрических полей (средняя цифра) и площади активного сечения (последняя цифра). Разработано 22 типоразмера с площадью активного сечения $10\text{--}265\text{ м}^2$. Шаг между одноименными электродами фильтра — 275 мм. Встряхивание электродов молотковое. Фильтры рассчитаны на работу под разрежением до 4 кПа; потеря давления в аппарате — 150 Па. Удельный расход электроэнергии на 1000 м^3 очищаемых газов — $0,3\text{ кВт}\cdot\text{ч}$; эффективная скорость движения газов в активном сечении — $1,5\text{ м/с}$; максимальная начальная запыленность газа — 50 г/м^3 . Пыль убирают скребковым или шнековым транспортером.

Фильтры УГТ работают в качестве сухих горячих при температуре до 450°C . Кроме фильтров УГ, выпускают электрофильтры типа ЭГ в трех- и четырехпольном исполнении типоразмеров ЭГЗ-3-177, ЭГЗ-4-177, ЭГЗ-3-265, ЭГЗ-4-265 с площадью активного сечения 177 и 265 м^2 .

Унифицированные вертикальные электрические фильтры типа УВ (рис. 11.13, табл. 11.16) используют для очистки газов при температуре до 250°C . Допустимая начальная запыленность — 30 г/м^3 , разрежение в аппарате — до 3,5 кПа, потеря давления — 100—150 Па, активная высота поля — 7,4 м, шаг между одноименными пластинчатыми электродами — 275 мм. Суммарная мощность механизмов встряхивания электродов — 2,2 кВт. Первая цифра в маркировке — количество секций.

Рис. 11.13. Электрофильтр типа УВ:

1 — выходной патрубок; 2 — корпус; 3 — бункер для пыли; 4 — входной патрубок; 5 — механизм встряхивания; 6 — пластинчатые электроды.



Для очистки газа от сажи применяют электрофильтры типа СГ. Их используют также для очистки взрывоопасных газов в нефтегазовой промышленности. Для улавливания сажи и смол из газов при производстве ацетилен применяют электрофильтры типа СПМ-8.

11.4. МОКРАЯ ГРУБАЯ И СРЕДНЯЯ ОЧИСТКА

В качестве первой ступени мокрой очистки газов от пыли применяют орошаемые газоходы, промывные камеры, полые форсуночные скрубберы. Эффективность очистки газов от пыли размером более 15 мкм достигает 90 %. Частицы размером 5 мкм и менее не улавливаются. Попутно с этим скрубберы используют в качестве теплообменников для охлаждения газов. Скорость движения газов в пылеуловителях грубой очистки принимают $2,5\text{ м/с}$, начальная запыленность практически не ограничивается, потеря давления в устройстве — до 500 Па, расход воды — до 1 л/м^3 .

Среднюю очистку газа мокрым способом осуществляют с помощью центробежных скрубберов, пенных аппаратов, циклонов с водяной пленкой, циклонов-промывателей и т. п. Центробежный скруббер типа ЦВТИ [52, 54] применяют для очистки дымовых газов от золы при сжигании твердого топлива с содержанием серы не более 1 % на $4,2\text{ МДж/кг}$. Скруббер может быть использован для очистки

других агрессивных газовых сред от пыли. Температуру газов принимают до 200 °С. Средняя скорость газов в сечении скруббера — 4—5 м/с. Для общепромышленного назначения применяются нефутерованные центробежные скрубберы ВТИ-Промстрой-проект, ВТИ-ПСП.

Пенный аппарат [36] универсален в отношении свойств пыли и тумана. Он применяется для очистки воздуха от трудно смачиваемой апатитовой и нефелиновой пыли [44]; при этом расход воздуха составляет 14 000—17 000 м³/ч, начальная запыленность — до 60 г/м³, общая эффективность очистки — 98—99 %, потеря давления — 300—400 Па, скорость воздуха в поперечном сечении — 2,1—2,3 м/с, расход воды — 0,3 л/м³.

Циклон с водяной пленкой ЦВП [27, 54, 55] применяют для всех видов промышленных пылей, близких по химическим свойствам к песчаной [20, 19]. Расход воды циклона диаметром 1000 мм при обычных скоростях воздуха ($v = 16$ м/с) — 0,1 л/м³ и при повышенных скоростях ($v = 32$ м/с) — 0,5 л/м³. Для других циклонов расход воды определяют пропорционально диаметру. Скорость воздуха во входном отверстии рекомендуется принимать 16—25 м/с при основном исполнении и 32—44 м/с при исполнении для повышенных скоростей. Коэффициенты местного сопротивления, отнесенные к скорости на входе воздуха, составляют при одиночной установке соответственно для основного исполнения и повышенных скоростей 2,3 и 1,5, при двоянной установке — 2,5 и 1,6.

Скоростные промыватели СИОТ [27] рекомендуется применять для различных видов смачиваемой пыли, за исключением цемента, волокнистых и конденсационных аэрозолей. Начальная запыленность, при которой аппарат может действовать самостоятельно, — 5 г/м³. При большей концентрации перед промывателем устанавливают первую ступень очистки. Промыватели рассчитаны на производительность 12,5—250 тыс. м³/ч. Рекомендуемые скорости в сечении входного патрубка — 14—20 м/с. Потеря давления в циклоне-промывателе — 1,1—2 кПа.

11.5. МОКРАЯ ТОНКАЯ ОЧИСТКА

Тонкая очистка газа от пыли может быть осуществлена ротоклоном [31, 33]. Производительность ротоклона Гипротяжмаш — 10—40 тыс. м³/ч. Температура подаваемых на очистку газов — до 280 °С. Максимальная потеря давления в ротоклоне, соответствующая максимальной скорости воздуха 25 м/с, — 1900 Па, расход воды — до 0,5 м³/ч, максимальный объем заливаемой воды — 6,5 м³. Слипшийся на дне шлам удаляют скребковым транспортером в короб или непосредственно в шламоотвод.

Ротоклон «Урал» (рис. 11.14) применяется при очистке газов, отсасываемых от мельниц, дробилок, сушил, сталеплавильных печей, углеобогачительных машин, котлоагрегатов, травильных и цинковальных ванн и др. Расход газа — 10—15 тыс. м³/ч при потере давления 1,6 кПа, если пыль характеризуется дисперсностью больше 5 мкм, и 35 тыс. м³/ч — при потере давления 3—15 кПа, если производят тонкую очистку мелкодисперсной пыли. Расход воды изменяется в пределах 0,001—30 л/м³. Эффективность очистки газа, например, от угольной пыли с фракционным составом 0—5 мкм (60 % массы), 5—10 мкм (10 %) и т. д., достигает 99,7 %, причем начальная запыленность составляет 6—11,3 г/м³. Начальную запыленность рекомендуется принимать до 100 г/м³. Расход газов, потерю давления, скорость газов между перегородками (в пределах 30—200 м/с) и, следовательно, эффективность улавливания аэрозолей регулируют при помощи подвижных перегородок. При эффективном улавливании пыли размером до 1 мкм (газы от электропечей) потеря давления должна быть не ниже 5 кПа. Температура газов допускается 400 °С.

Вентиляционный мокрый пылеуловитель ПВМ (рис. 11.15, табл. 11.17) разработан в двух модификациях: с удалением шлама посредством слива — СА и с уборкой его скребковым агрегатом — КА. Кроме того, ПВМ изготавливают в двух исполнениях: П — с удалением шлама с поверхности воды; Б — с повышенной безопасностью. Расход воды ПВМС — 20 г на 1 т уловленной пыли, а ПВМК — 5—10 г/т. Потерю давления в ПВМ и эффективность улавливания пыли определяют по графикам (рис. 11.16) в зависимости от удельного расхода воздуха и расстояния от кромки перегородки до уровня воды δ , мм.

Коагуляционный мокрый пылеуловитель КМП (рис. 11.17, табл. 11.18) работает по принципу дробления воды турбулентным высокоскоростным газовым потоком в трубе Вентури, захвата каплями воды пылинок, коагуляции их и осаждения во

вспомогательном аппарате, например, центробежном скруббере, циклоне с водяной пленкой и т. д. Эффективность улавливания пыли рассчитывают на основе зависимости эффективности пылеулавливания от затрат энергии в аппарате, выраженных потерями давления в нем [24].

Технические данные КМП: максимальное разрежение — 5 кПа; потеря давления — до 3,5 кПа; начальная запыленность газов — до 30 г/м³; скорость воздуха в горловине трубы Вентури — 40—70 м/с; максимальное давление воды — 100 кПа; расход воды — 0,2—0,6 кг/м³; содержание твердой фазы в воде — до 200 мг/л.

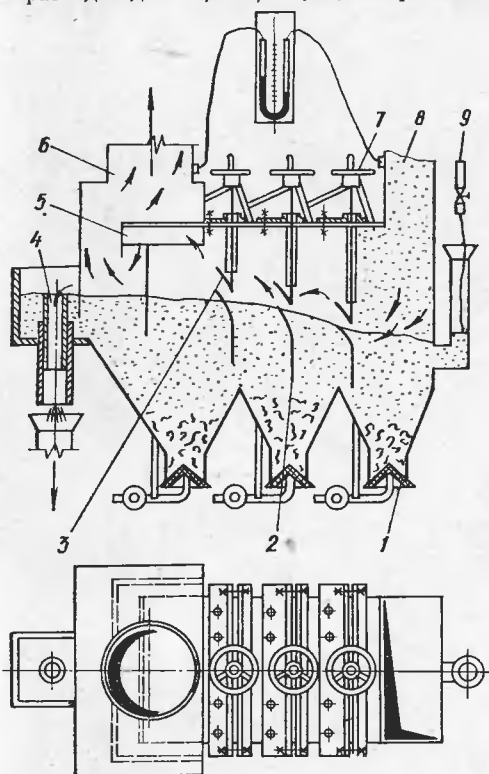


Рис. 11.14. Ротоклон «Урал»:

1 — конусный затвор для удаления шлама; 2 — нижняя неподвижная перегородка; 3 — верхняя подвижная перегородка; 4 — подвижный регулятор уровня жидкости; 5 — боковое газовое окно лабиринтного каплеуловителя; 6 — выход очищенного газа; 7 — винтовой подъемник; 8 — вход загрязненного газа; 9 — подача воды.

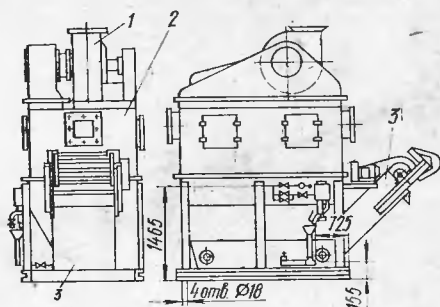


Рис. 11.15. Пылеуловитель типа ПВМ:

1 — вентаграт; 2 — корпус пылеуловителя; 3 — скребковый агрегат.

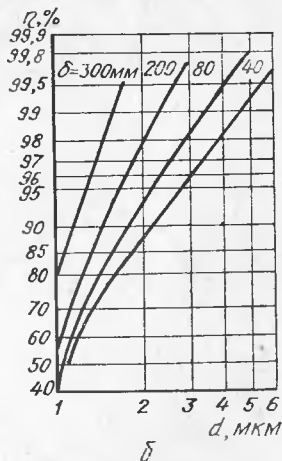
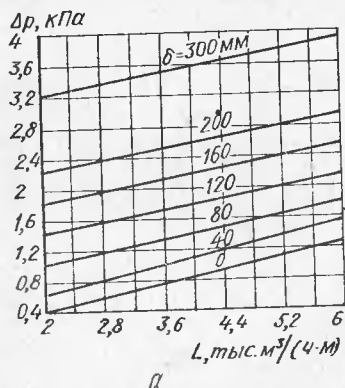


Рис. 11.16. Графики для определения потери давления (а) и эффективности улавливания пыли (б) пылеуловителя ПВМ.

Таблица 11.17. Пылеуловители ПВМ [33]

Пылеуловитель		Производи- тельность, тыс. м³/ч	Длина пыле- улавливаю- щих перего- родок, м	Объем воды в бункере, м³	Вентагрегат		Масса без вентагрегата, т	Габариты, мм		
Марка	Испол- нение				Тип	Номер		ширина	длина	высота
ПВМ3	СА	3	0,8	0,45	Ц14-46	2,5	0,55	1145	1315	3185
ПВМ5	СА	5	1,21	1,2	В-ЦП7-40	5	0,67	1590	1355	3475
	КА			2			1,36	2900	1355	3475
	Б			1,2			0,95	1140	1124	3475
ПВМ10	СА	10	2	1,45	В-ЦП7-40	6	1,23	2388	1500	4005
	КА			2,3			2,2	3770	1500	4005
	П			2,3			1,5	2365	1900	4005
	Б			2,2			1,6	2365	1900	4005
ПВМ20	СА	20	4	2,2	В-ЦП6-45	8	1,65	2350	2290	4330
	КА			3			2,8	3770	2290	4330
	П			2,2			2,35	2217	2810	4330
	Б			2,2			2,42	2300	2810	4330
ПВМ40	СА	40	8	5,5	Ц4-76	10	3,55	4383	2314	4940
	КА			5,8			4,15	5770	2314	4940
	П			5,5			3,4	4320	2900	4950
	Б			9,5			3,5	4520	2900	4950

Эффективность коагуляционных пылеуловителей КЦМП, в том числе с укороченным каплеуловителем [20] — 99,62 и 99,8 % при начальной запыленности газов соответственно 10,34 и 23,6 г/м³, расходах 40 и 50 тыс. м³/ч, потере давления 1,2 и 2,72 кПа и расходе воды 0,72 л/м³.

Для мокрой тонкой очистки воздуха от аэрозолей и тумана служат тканевые фильтры и электрофильтры. Так, очистку воздуха от тумана и брызг смеси хромовой (250 г/л и менее CrO₃) и серной (2,5 г/л и менее H₂SO₄) кислот, образующихся

в процессе отсоса от ваии хромирования в гальванических цехах, производят мокрым тканевым фильтром типа ФВГ-Т. Фильтр (табл. 11.19) разработан в 9 вариантах, отличающихся по форме и расположению камер входа и выхода газа. Кроме этого, каждый вариант имеет два исполнения: правое и левое, в зависимости от стороны обслуживания по ходу газа. Корпус фильтра выполнен из титана марки ВТ1-0.

На рис. 11.18 изображен основной вариант фильтра производительностью 7—10 тыс. м³/ч. Степень очистки фильтров — 95—99%, температура газов — 5—90 °С, потеря давления —

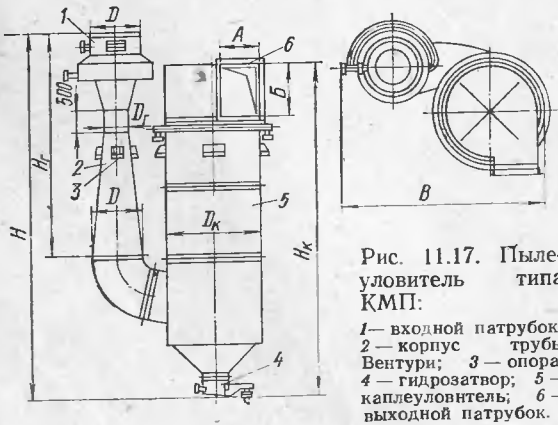


Рис. 11.17. Пылеуловитель типа КМП:
1 — входной патрубок;
2 — корпус трубы Вентури; 3 — опора;
4 — гидрозатвор; 5 — каплеуловитель; 6 — выходной патрубок.

Таблица 11.18. Размеры, мм, пылеуловителя КМП (см. рис. 11.17) [7]

Пылеуловитель	D_r	D_k	D	d_1	H	H_r	H_k	A	B	B
КМП2,5	250	1000	450	25	4312	2570	3933	350	620	2314
КМП3,2	320	1200	560	32	5010	3020	4820	410	750	2790
КМП4,0	400	1500	680	32	5850	3580	5630	530	930	3540
КМП5,0	500	1900	900	40	7416	4500	7064	670	1180	3985
КМП6,3	630	2300	1120	40	8641	5280	7355	810	1430	4620
КМП7,1	710	2700	1250	40	9591	5790	9806	950	1680	5240
КМП8,0	800	3000	1400	40	10506	6425	10860	1250	1860	5720

Таблица 11.19. Фильтры типа ФВГ-Т [14, 33]

Марка фильтра	Производительность, тыс. м³/ч	Площадь фильтрующей поверхности, м²	Габариты без обводн. мм	Масса, кг
ФВГ-Т0,26	2—3,5	0,26	1350×650×600	51—61
ФВГ-Т0,37	3,5—5	0,37	1450×1000×820	55—75
ФВГ-Т0,52	5—7	0,52	1480×660×610	63—80
ФВГ-Т0,74	7—10	0,74	1730×910×820	75—100
ФВГ-Т1,1	10—14	1,1	1900×910×855	90—135
ФВГ-Т1,5	14—20	1,5	2290×910×820	130—180
ФВГ-Т2,2	20—28	2,2	2290×910×950	170×230
ФВГ-Т3,0	28—40	3	2770×1722×1645	210—310
ФВГ-Т4,4	40—60	4,4	3470×1722×1710	280—440

Таблица 11.20. Электрофильтры типа УТ для неагрессивных сред (см. рис. 11.19) [12, 67]

Наименование показателей	УТ-3,5	УТ-5	УТ-6,5	УТ-8	УТ-10	УТ-13
Площадь активного сечения, м²	3,5	5	6,5	8	10	13
Общая активная длина коронирующих электродов, м	231	329	434	542,5	668,5	875,5
Общая площадь осаждения осадительных электродов, м²	188	268	353	441	544	698
Производительность по газу, м³/ч, при условной скорости в активной зоне 1 м/с	12600	18000	23400	29520	36000	48600
Число электродов	66	94	124	155	191	245
Максимальная мощность, кВт, потребляемая на питание электродов:						
коронирующих проволочных	3,2	4,6	6	7,5	9,25	11,85
коронирующих ленточно-зубчатых	5,3	7,6	10	12,5	15,4	19,75
Размеры, мм:						
A	4180	4630	4970	5270	5325	5875
H	12445	12715	13520	13745	14545	15080
D_1	3000	3600	4000	4500	5000	5500
D_2	2100	2400	2550	2700	2750	2850
Масса, кг	24300	32700	40400	49400	61700	71200

150—500 Па, разрежение в аппарате — до 700 Па, фильтрующий материал — войлок марки А. Материал регенерируют периодически — раз в 15—30 сут посредством промывки водой с помощью переносной форсунки при отключенном вентиляторе. Расход воды на промывку — 0,15—0,3 м³ на 1 м² фильтрующей поверхности.

Для очистки доменного газа от пыли применяют электрофильтр типа ДМ с непрерывной промывкой осадительных электродов.

Унифицированные трубчатые электрофильтры (рис. 11.19, табл. 11.20) служат для очистки коксового газа, газов известковых и обжигательных печей и других про-

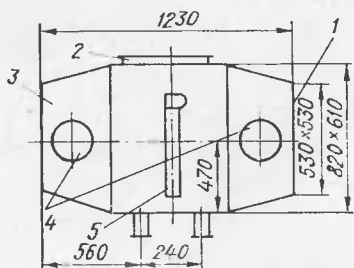


Рис. 11.18. Фильтр типа ФВГ-Т:

1 — вход газа; 2 — монтажный люк;
3 — выход газа; 4 — подвод воды;
5 — слив шлама.

изводств от пыли и капель жидкости. Активная длина поля фильтрования — 3,5 м. Начальная концентрация пыли в газах, поступающих в электрофильтры УТ, не должна превышать 10 г/м³, содержание смолы — 5 г/м³. Расчетное давление в аппарате — 0,04 МПа, разрежение — 0,008 МПа; потеря давления в фильтрах — 150—250 Па.

Мокрые электрофильтры используют также для очистки аэрозолей пластификаторов, образующихся при изготовлении кожезаменителей [33]. Дисперсность капель — 0,5—1 мкм. В установке использован электрофильтр типа ФЭ пропускной способностью 5 тыс. м³/ч. Установка снабжена высоковольтным агрегатом В13/6,5—30. Разработаны 4 типоразмера установок улавливания пластификаторов (УУП) производительностью 5, 10, 20 и 30 тыс. м³/ч. Эффективность очистки воздуха в УУП — 82—93 %, потеря давления — 40—50 Па, энергозатраты — 0,5 кВт·ч на 10 тыс. м³ очищенного воздуха.

11.6. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

Установки ВЦНИИОТ (рис. 11.20, 11.21, табл. 11.21) предназначены для отсоса стружки и пыли от токарных и других станков, механической обработки металла, пластмасс, дерева и т. п. [18]. Для этих же целей служат агрегаты Дербентского завода (рис. 11.22, 11.23, табл. 11.22). При использовании агрегатов для абразивных отрезных станков рекомендуется применять сепаратор, подсоединяемый к фланцу отверстия агрегата. Это предотвращает самовозгорание фильтровальных мешков.

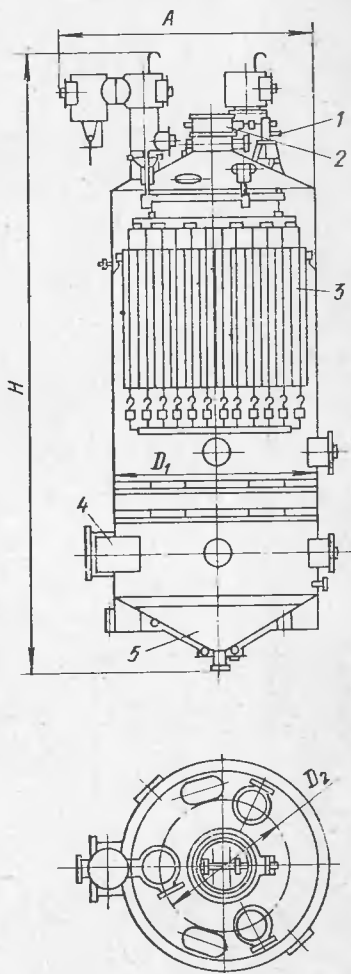


Рис. 11.19. Электрофильтр типа УТ:

1 — узел периодической промывки;
2 — выходной патрубок; 3 — электроды; 4 — входной патрубок; 5 — бункер.

Таблица 11.21. Индивидуальные пылеуловители ВЦНИИОТ [18]

Наименование показателей	ВЦНИИОТ-ВНИИ „Тракторсельхозмаш“	ВЦНИИОТ-500	ВЦНИИОТ-900
Производительность, м³/ч	300	500	900
Полное разрежение, кПа	2,46	3,33	3,33
Мощность электродвигателя, кВт	0,6	1,7	1,7
Диаметр ротора вентилятора, мм	300	400	400
Частота вращения ротора вентилятора, об/мин	3500	2850	2850
Площадь фильтрующей поверхности, м²	0,6	1,9	2,2
Удельная воздушная нагрузка на ткань, м³/(м²·ч)	500	260	410
Уровень шума, дБ, при частоте 1000 Гц	60	66	65
Габариты, мм:			
длина	630	700	800
ширина	416	700	716
высота	1200	1400	1665

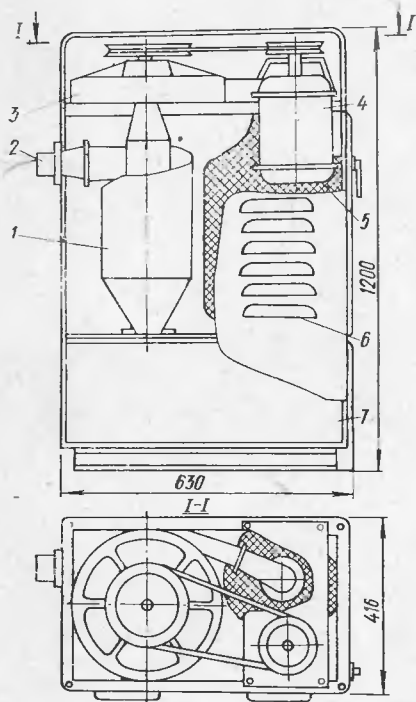


Рис. 11.20. Схема пылеулавливающего агрегата ВЦНИИОТ-ВНИИ «Тракторсельхозмаш»:

1 — циклон; 2 — входной патрубок; 3 — вентилятор; 4 — электродвигатель; 5 — матерчатый фильтр; 6 — жалюзи; 7 — бункер.

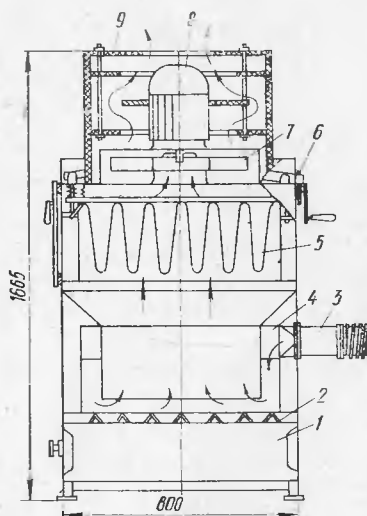


Рис. 11.21. Индивидуальный обеспыливающий агрегат ВЦНИИОТ-900:

1 — бункер; 2 — отбойные полосы; 3 — входной патрубок; 4 — циклон; 5 — каскадный фильтр; 6 — встряхивающий механизм; 7 — вентилятор; 8 — электродвигатель; 9 — шумоглушитель.

Таблица 11.22. Агрегаты Дербентского завода шлифовальных станков

Наименование показателей	ПА2-12	ПА3-12	АЭ2-12	АЭ3-12
Производительность, м ³ /ч	650	850	750	950
Диаметр входного отверстия, мм	125	160	125	160
Диаметр колеса вентилятора, мм	360	400	360	400
Общая площадь фильтровальной поверхности, м ²	2,2	3	0,9	1,05
Мощность приводного электродвигателя, кВт	1,5	2,2	1,5	2,2
Частота вращения электродвигателя, об/мин	2860	2840	2860	2840
Габариты, мм:				
длина	480	540	480	540
ширина	480	540	480	540
высота	1850	2000	1560	1560
Масса, кг	160	200	220	250

11.7. ВЫБОР ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Установки для очистки пыли выбрасываемого воздуха и газов выбирают при известных источниках выделения аэрозолей, расходах воздуха и газов, их температуре и влажности. Кроме этого, необходимо иметь еще такие данные, как эффективность пылеулавливания, физико-химические свойства аэрозолей, их химический состав, дисперсность, гигроскопичность, слеживаемость, слипаемость, схватываемость, абразивность, взрываемость, возгораемость, электроактивность, плотность, угол естественного откоса [54], токсичность и др.

Для многих выбросов целесообразно применять двухступенчатую схему очистки. В качестве первой ступени рационально использовать дешевые аппараты: пылевые камеры, циклоны и др., улавливающие крупные частицы. Выбор аппаратов второй ступени очистки зависит от температуры газов, физико-химических свойств аэрозолей, эффективности улавливания и способа удаления пыли из аппаратов, стоимости очистки и др.

Сухая очистка газов предпочтительнее мокрой, так как размещение пылеуловителей не зависит от температуры воздуха в месте их установки и нет необходимости в системе шламоудаления, отстойников и др. Однако применение тканевых фильтров ограничено температурами газов и требует тщательного ухода в процессе эксплуатации. Применение электрофильтров требует несколько больших капитальных затрат и специальной предварительной подготовки газов. Вместе с тем электрические фильтры целесообразно использовать для тех пылей, для которых они показывают высокую эффективность. Этот фактор, дополненный надежностью работы и малыми эксплуатационными расходами, оправдывает значительные капиталовложения.

То же касается и мокрых пылеуловителей типа КМП. Выбор пылеуловителя должен сопровождаться расчетом запыленности выбрасываемого воздуха. Для этого находят парциальные коэффициенты проскока $k_{пр}$ и умножают их на соответствующие массы каждой фракции $M_{ф}$. Сумма этих произведений выражает количество пыли, мг/м³, выбрасываемой в атмосферу после очистки:

$$M_{в} = \sum k_{пр} M_{ф}.$$

Экономическое сравнение вариантов очистки производят по приведенным затратам, руб.:

$$\mathcal{E} = (C_1 - EK_1) - (C_2 - EK_2),$$

где $\mathcal{E}$ — годовой экономический эффект, руб.; C_1, C_2 — годовые эксплуатационные расходы, соответственно базового и оцениваемого объекта, руб.; $E=0,15$ — коэффициент эффективности капиталовложений; K_1, K_2 — капитальные затраты или сумма основных и оборотных фондов базового и оцениваемого объектов, руб.

В отдельных случаях показателем может быть срок окупаемости капиталовложений.

$$T = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2).$$

Если этот показатель меньше нормативного (7 лет), то оцениваемый объект принять выгодно.

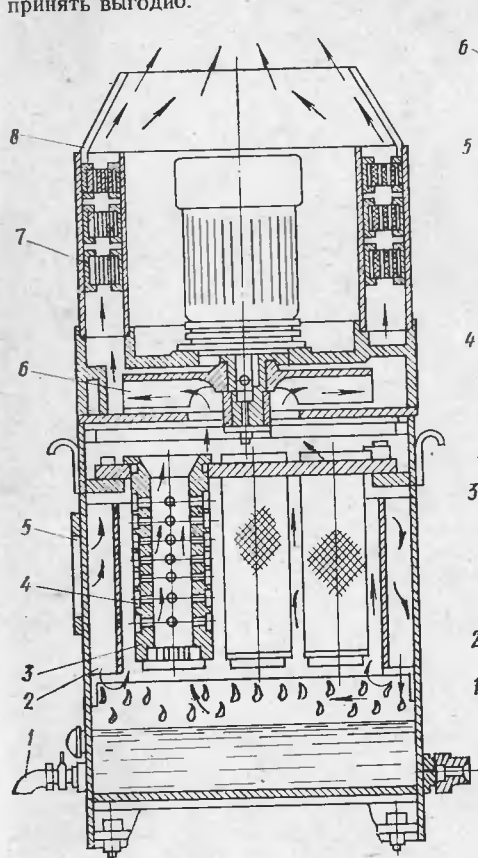


Рис. 11.22. Индивидуальный обеспыливающий агрегат типа АЭ212:

1 — кран для выпуска жидкости; 2 — воздуховод; 3 — фильтр; 4 — медная сетка; 5 — всасывающее отверстие; 6 — вентилятор; 7 — цилиндр с кольцами из поролона; 8 — конусный насадок.

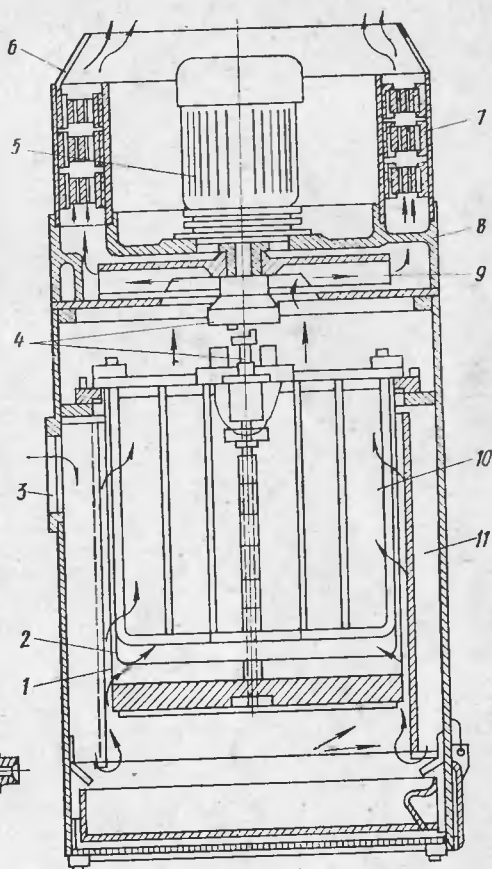


Рис. 11.23. Агрегат для отсоса аэрозолей ПА2-12:

1 — наружные фильтровальные мешки; 2 — внутренние фильтровальные мешки; 3 — подводное отверстие; 4 — приводной вал; 5 — электродвигатель; 6 — конусный насадок; 7 — глушитель шума; 8 — корпус вентилятора; 9 — рабочее колесо; 10 — тяга; 11 — фильтровальная камера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батурин В. В. Основы промышленной вентиляции.— М.: Профиздат, 1965.— 608 с.
2. Богословский В. Н. Тепловой режим здания.— М.: Стройиздат, 1979.— 248 с.
3. Брамлей М. Ф., Щеглов В. П. Проектирование отопления и вентиляции производственных зданий.— М.: Стройиздат, 1965.— 260 с.
4. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов /Гримитлин И. М., Тимофеева О. Н., Эльтерман В. М. и др.— М.: Машиностроение, 1978.— 272 с.
5. Вентиляция и отопление цехов судостроительных заводов /Гримитлин И. М., Тимофеева О. Н., Эльтерман В. М., Эльянов Л. С.— Л. Судостроение, 1978.— 240 с.
6. Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика /Под ред. И. Г. Старовойтова.— М.: Стройиздат, 1976, ч. 1.— 430 с.
7. Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика /Под ред. И. Г. Старовойтова.— М.: Стройиздат, 1977, ч. 2.— 502 с.
8. Временные рекомендации по подбору вентиляторов для вентиляционных систем взрывоопасных производств. Сер. АЗ—785.— М.: Сантехпроект, 1978.— 82 с.
9. Временные рекомендации по расчету компенсационного воздушноструйного укрытия литейного конвейера.— М.: ЦНИИпромзданий, 1978.— 10 с.
10. Временные указания по проектированию отопления и вентиляции основных цехов и отделений заводов огнеупорной промышленности.— Л.: ВНИИогнеупоров, 1968.— 64 с.
11. Временные указания по расчету объемов аспирируемого воздуха от укрытий мест перегрузки при транспортировании пылящих материалов. Сер. АЗ—611.— М.: Сантехпроект, 1973.— 32 с.
12. Газоочистное оборудование. Электрофильтры: Каталог.— М.: ЦИНТИ Химнефтемаш. 1981, 24 с.
13. Гицбург Э. Я. Расчет отопительно-вентиляционных систем с помощью ЭВМ.— М.: Стройиздат, 1979.— 184 с.
14. Елинский И. И. Вентиляция и отопление гальванических и травильных цехов машиностроительных заводов.— М.: Машиностроение, 1982.— 136 с.
15. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.— М.: Машиностроение, 1975.— 560 с.
16. Инструкция по строительному проектированию литейных заводов и литейных цехов машиностроительной промышленности (СН 472—75).— М.: Стройиздат, 1975.— 40 с.
17. Калининский М. П. Вентиляционные установки.— М.: Высш. школа, 1979.— 224 с.
18. Коптев Л. В. Индивидуальные обеспыливающие агрегаты ВЦНИИОТ.— Водоснабжение и сан. техника, 1978, № 8, с. 11—13.
19. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов.— Л.: Химия, 1974.— 280 с.
20. Коузов П. А., Мыльников С. И. Расчет эффективности пылеулавливания в циклонах с водяной пленкой.— В кн.: Труды института охраны труда. М., 1972, вып. 77, с. 6—12.
21. Лях Г. Д., Смола В. И. Кондиционирование воздуха в кабинах транспортных средств и кранов.— М.: Металлургия, 1982.— 128 с.
22. Максимов Г. А. Отопление и вентиляция.— М.: Высш. школа, 1968.— 464 с.
23. Максимов В. В., Дерюгин В. В. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления.— Л.: Стройиздат, 1972.— 28 с.
24. Мамкин П. П., Коузов П. А. Разработка, расчет и применение мокрых коагуляционных пылеуловителей КМП.— В кн.: Борьба с силикозом. М.: Наука, 1977.

25. Мамкин П. П. Применение и расчет эффективности очистки новых коагуляционных пылеуловителей КЦМП.—Сб. тр. Ленинградского Промстройпроекта.—Л., 1980, с. 80—90.
26. Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов: Методические указания по проектированию.—Л.: ВНИИОТ, 1980.—40 с.
27. Методические рекомендации по расчету мокрых пылеуловителей (АЗ—679).—М.: Госстрой СССР, 1976.—68 с.
28. Молчанов Б. С. Проектирование промышленной вентиляции.—Л.: Стройиздат, 1970.—240 с.
29. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие / Журавлев Б. А., Загильский Г. Я., Овчинников П. А. и др.; Под ред. Б. А. Журавлева.—М.: Стройиздат, 1980.—448 с.
30. Нейков О. Д., Логачев И. Н. Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков.—М.: Металлургия, 1981.—192 с.
31. О ротоклоне «Урал» / Рычков В. П., Юрлов А. М., Утюмов А. Ю. и др.—Водоснабжение и сан. техника, 1977, № 5, с. 24—25.
32. Отопление и вентиляция / Богословский В. Н., Новожилов В. И., Симаков Б. Д., Титов В. П.—М.: Стройиздат, 1976, ч. 2.—439 с.
33. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха.—М.: Стройиздат, 1982.—496 с.
34. Пирумов А. И., Леонтьев В. В., Нергизян Э. И. Централизация обработки воздуха и воздухоподогрева крупных производственных корпусов и совершенствование архитектурно-строительных решений.—Труды ЦНИИпромзданий.—М., 1980, с. 5—34.
35. Писаренко В. Л., Рогинский М. Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве.—М.: Машиностроение, 1981.—122 с.
36. Позин М. Е., Мухленов И. П., Тарат Э. Я. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы.—Л.: Госхимиздат, 1959.—124 с.
37. Потапов О. П., Кропн Л. Д. Батарейные циклоны.—М.: Энергия, 1977.—152 с.
38. Правила и нормы техники безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии для окрасочных цехов.—М.: Машиностроение, 1977.—74 с.
39. Проветривание промышленных площадок и прилегающих к ним территорий / Никитин В. С., Максимова Н. Г., Самсонов В. Т., Плотнова Л. В.—М.: Стройиздат, 1980.—200 с.
40. Рекомендации по выбору и расчету систем воздухоподогрева. Сер. АЗ—669.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1979.—68 с.
41. Рекомендации по выбору схем организации воздухообмена в термостатных помещениях с учетом требований авторегулирования. Сер. АЗ—663.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1974.—6 с.
42. Рекомендации по проектированию отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха предприятий машиностроительной промышленности. Цехи прецизионного станкостроения. Сер. АЗ—558.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1972.—16 с.
43. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции заготовительных и сборочно-сварочных цехов. Сер. АЗ—499И.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1972.—28 с.
44. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции машиностроительных заводов. Литейные цехи производства чугуна, стали и медных сплавов (латуни и бронзы). Сер. АЗ—489.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1970.—79 с.
45. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции окрасочных цехов и участков. Сер. АЗ—202.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1980.—20 с.
46. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Аккумуляторные и зарядные станции.—М.: ЦИПромвентиляция, 1973.—14 с.
47. Руководство по подбору пылевых вентиляторов. Сер. АЗ—824.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1980.—36 с.
48. Руководство по подбору центробежных вентиляторов (вентиляторных агрегатов) Ц4-70 и Ц4-76 (стальных) с электродвигателями серий А2, АО2, 4А для санитарно-технических систем. Сер. АЗ—156И.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1975.—92 с.
49. Руководство по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Гальванические и травильные цехи. Сер. АЗ—782.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1978.—24 с.
50. Руководство по расчету воздухопроводов из унифицированных деталей. Сер. АЗ—804.—М.: ГПИ Сантехпроект, 1979.—204 с.
51. Руководство по расчету загрязнения воздуха на промышленных площадках.—М.: Стройиздат, 1977.—74 с.

52. Рысин С. А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справочник.— М.: Машиностроение, 1964.— 704 с.
53. Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов № 1009—3—73.— М.: Минздрав СССР, 1974.— 34 с.
54. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А. А. Русанова.— М.: Энергия, 1975.— 296 с.
55. Строительный каталог. Ч. 10, разд. 1, подразд. 91. Пылеулавливатели и фильтры. Циклоны.— М.: ГПИ Сантехпроект, 1979.— 114 с.
56. Теплотехнический справочник.— М.: Энергия, 1975, т. 1.— 744 с.
57. Указания по проектированию зарядных станций и стартерных аккумуляторных батарей.— М.: Тяжпромэлектропроект. Сб. № 7, 1974, с. 3—5; Сб. № 11, 1976, с. 18.
58. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Кузнечно-прессовые цехи. Сер. АЗ—191и.— М.: ГПИ Сантехпроект, 1966.— 12 с.
59. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Механические цехи холодной обработки металлов (стали). Сер. АЗ—385и.— М.: ГПИ Сантехпроект, 1967.— 12 с.
60. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Термические цехи. Сер. АЗ—194и.— М.: ГПИ Сантехпроект, 1966.— 18 с.
61. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий металлургической промышленности. Обогащительные фабрики. РМ—631—04/67.— Л.: Промстройпроект, 1967.— 108 с.
62. Указания по расчету двусторонних воздушных завес у наружных ворот и технологических проемов производственных зданий. Сер. АЗ—374.— М.: ГПИ Сантехпроект, 1969.— 26 с.
63. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (СН 369—74).— М.: Стройиздат, 1975.— 42 с.
64. Фиалковская Т. А. Вентиляция при окраске изделий.— М.: Машиностроение, 1977.— 182 с.
65. Халецкий И. М. Вентиляция и отопление заводов черной металлургии: Справочник.— М.: Металлургия, 1981.— 240 с.
66. Эльтерман В. И. Вентиляция химических производств.— М.: Химия, 1980.— 284 с.
67. Юдашкин М. Я., Карлов М. П. Механическое оборудование установок очистки газов.— М.: Металлургия, 1976.— 246 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Санитарно-гигиенические условия воздушной среды помещений	
1.1. Метеорологические параметры воздуха	4
1.2. Нормы запыленности и загазованности воздуха	5
1.3. Поступление влаги	6
1.4. Выделение вредных веществ	11
2. Тепловой баланс помещений	
2.1. Расчет ограждающих конструкций	18
2.2. Теплопотери	23
2.3. Теплопоступления	27
2.4. Баланс тепла	38
3. Расчет воздухораспределителей	
3.1. Общая характеристика приточных струй	39
3.2. Подбор воздухораспределителей	41
3.3. Расчетные зависимости	53
3.4. Методика расчета	61
4. Местная приточная вентиляция	
4.1. Воздушные завесы	63
4.2. Воздушные души	67
4.3. Вентиляция кабин крановщиков	71
5. Местная вытяжная вентиляция	
5.1. Движение воздуха у всасывающих отверстий	74
5.2. Полностью укрытые отсосы	74
5.3. Полуоткрытые отсосы	76
5.4. Полностью открытые отсосы	78
6. Общеобменная вентиляция и отопление помещений	
6.1. Организация и расчет воздухообмена	87
6.2. Воздушное отопление	90
7. Вентиляция и отопление отдельных цехов	
7.1. Цехи с избытками тепла	94
7.2. Цехи с избытками влаги	108
7.3. Гальванические и травильные цехи	109
7.4. Окрасочные цехи	111
7.5. Сварочные цехи	116
7.6. Помещения для технического обслуживания транспортных средств	125
7.7. Производства, связанные с переработкой и транспортированием сыпучих материалов	127
7.8. Деревообрабатывающие цехи	134
7.9. Механические цехи	137
7.10. Крупные блокированные корпуса	139
8. Вентиляционное и отопительное оборудование	
8.1. Вентиляторные агрегаты	141
8.2. Устройства воздушного отопления	166

8.3. Воздушные фильтры	17
8.4. Размещение и компоновка вентиляционных установок	18
9. Аэродинамический расчет вентиляционных систем	
9.1. Воздуховоды	18
9.2. Вентиляционные системы общего назначения	18
9.3. Системы аспирации и пневмотранспорта	20
10. Рассеивание вредных выбросов	
10.1. Нормативы выброса вредных веществ в атмосферу	21
10.2. Источники загрязнения	21
10.3. Выбросы из низких источников	21
10.4. Выбросы из высоких труб	22
11. Очистка выбрасываемого воздуха и газов от пыли	
11.1. Эффективность очистки	22
11.2. Сухая грубая и средняя очистка	23
11.3. Сухая тонкая очистка	23
11.4. Мокрая грубая и средняя очистка	24
11.5. Мокрая тонкая очистка	24
11.6. Индивидуальные пылеулавливающие агрегаты	24
11.7. Выбор пылеуловителей	25
Список литературы	25

Торговников Б. М. и др.

Т60 Проектирование промышленной вентиляции: Справочник
Б. М. Торговников, В. Е. Табачник, Е. М. Ефанов.— К.: Бу-
вельник, 1983.— 256 с., ил.— Библиогр.: с. 252—254.

В справочнике освещены основные вопросы решения вытяжной и приточной вентиляции в промышленных зданиях с вредными выделениями паров, пыли, газов, а так-
же с избыточным тепловыделением. Дана методика аэродинамического расчета сис-
тем вентиляции общепромышленного назначения, систем пневмотранспорта и аспира-
ции. Приведены рекомендации по подбору оборудования для вентиляции и отопления помещений. Изложены реком-
мендации по охране воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами. Нормативные материалы приведены по состоянию на 30 марта 1983 г. Рассчитан на ин-
женерно-технических работников проектных и эксплуатационных организаций.

Т 3206000000—040
М203(04)—83 70.83

38.762.2—02я2