

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

ПРОЕКТИ- РОВАНИЕ ПРОМЫШ- ЛЕННОЙ ВЕНТИ- ЛЯЦИИ

справочник

Б. М. ТОРГОВНИКОВ, канд. техн. наук,
В. Е. ТАБАЧНИК, Е. М. ЕФАНОВ, инженер

ПРОЕКТИ- РОВАНИЕ ПРОМЫШ- ЛЕННОЙ ВЕНТИ- ЛЯЦИИ

справочник

38.762.2—02я2
Т60

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, а 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.

Расчитан 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. Грищенко*
Обложка художника *Б. М. Бойко*
Художественный редактор *Н. Г. Аникина*
Технический редактор *О. Г. Шувальченко*
Корректоры *Е. В. Фурман, Л. А. Кондратенко.*

Информ. бланк № 1785

Сдано в набор 17.12.82. Подп. в печ. 06.05.83. БФ 03798. Формат 60×90^{1/16}. 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.

Т 3206000000-040 70.83
М203(04)-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).

Т а б л и ц а 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 и 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 .

Т а б л и ц а 12 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 м² 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 13 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, в постоянных рабочих местах в помещениях с избытками явного тепла	
	незначительными	значительными		незначительными	значительными	незначительными	значительными
Легкая — I Средней тяжести — IIа 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. 12 6 Для районов с повышенной относительной влажностью при расчетах воздухообмена помещений допускается принимать относительную влажность воздуха рабочей зоны в теплый период года на 10% выше

Параметры воздуха рабочей зоны (табл. 11—13) установлены ГОСТ 12.1.005—76 с учетом избытков явного тепла, категории работы и периодов года

Под явным понимают тепло от всех источников, действующее 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 помещение, 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. 11—13, принимают для категорий работ по отдельным производствам (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-

Т а б л и ц а 1.4. Категории работ в отдельных цехах

Цехи	Категория работ
Литейные: плавильное и заливочное отделения отделения машинного литья, стержневое, сушильное	Тяжелая Средней тяжести — IIб
Кузнечно-прессовые	Тяжелая
Термические: печные залы и отделения высокотемпературного цианирования отделения низкотемпературного цианирования, печей, работающих на токах высокой частоты, и вспомогательные помещения	» Средней тяжести — IIб
С избытками влаги	То же
Гальванические и травильные	»
Окрасочные	Средней тяжести — IIа
Сварочные	Средней тяжести — IIб
Изготовление 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

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

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 непосредственного 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	—	—
Изопропиловый	—	—	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	57,6	—	—
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
Паральдегид	5	3	1,3	—	3,5	—
Уксусный альдегид	—	—	3,9	72,6	57	1044
Фуффуrol	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
Метилформиат	—	—	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	54,7	80	1462
Пропиладетат	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
Серовоскис 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	—
Окис углерода	20	4	12,5	145	75	—
Петролейный эфир	—	—	1,1	—	5,9	—
Перекис 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

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

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

$$W = 150 N_{уст}. \quad (1.8)$$

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.

Т а б л и ц а 1.6. Характеристика некоторых взрывоопасных пылей
(ГОСТ 12.1.005—76, [52])

Вещество	Предельно до- пустимая кон- центрация, г/м³	Класс опас- ности	Нижний пре- дел взрывае- мости, г/м³	Вещество	Предельно до- пустимая кон- центрация, г/м³	Класс опас- ности	Нижний пре- дел взрывае- 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
Козеин техниче- ский	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	Сернорудная 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	Цикорий	2	4	45,4
Маисовая 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

Т а б л и ц а 1.7. Зависимость температуры поверхности воды t , °С, от температуры
внутри сосуда $t_{в.с.}$, °С

$t_{в.с.}$, °С	t , °С	$t_{в.с.}$, °С	t , °С	$t_{в.с.}$, °С	t , °С
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.

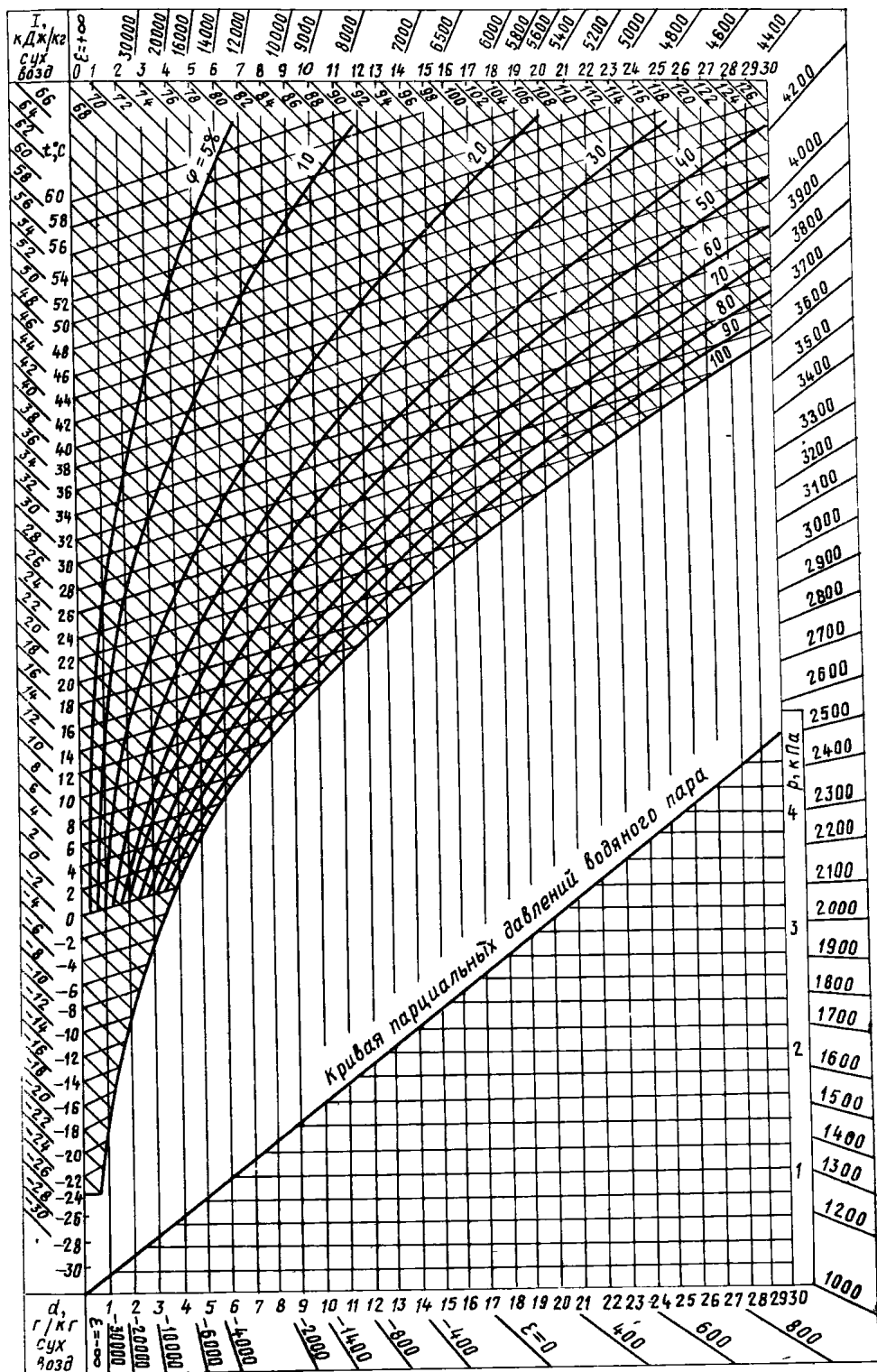


Таблица 1.8. Давление паров p_n , насыщающих воздух при нормальном атмосферном давлении и температуре поверхности воды t

$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$
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, °C										
		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 стеклопластиковыми, 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, характеризующийся 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

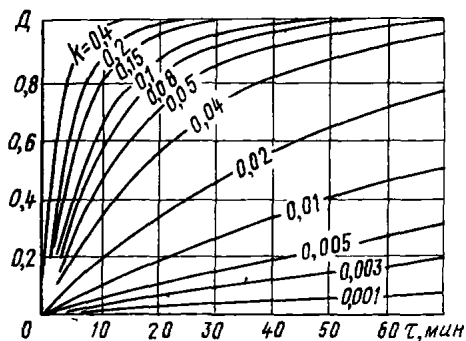


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента D от времени высыхания краски τ .

(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°C, 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%, эмалевой 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°C): у легколетучих веществ — на 48 (этиловый эфир) — 37°C (ацетон); у менее летучих с температурой кипения около 80°C (спирт, бензол, этилацетат) — на 20—25°C; у веществ с $t_k=130+140$ °C (хлорбензол, амилловый спирт, амилацетат) — на 6—9°C. Вещества с температурой кипения 200°C (анилин, нитробензол, нафталин) имеют $t_{ж}$ менее нормальной тем-

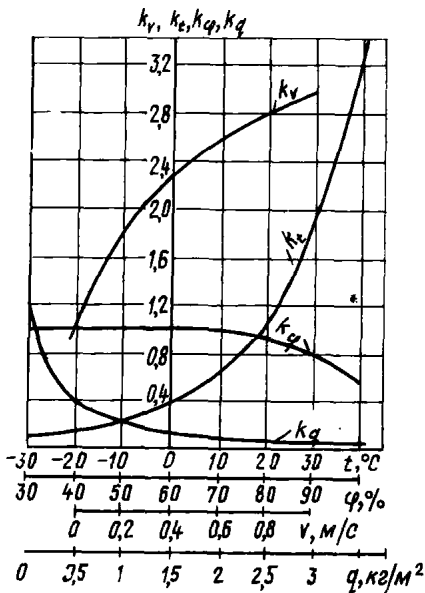


Рис. 1.3. График для определения коэффициентов k_v , k_t , k_φ и k_q .

температуры на 0,4—1,2 °С, 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 $t_{ж}$, °С, определяют по уравнению, учитывающему теплоту испарения вещества r , Дж/кг, удельные теплоемкости воздуха и пара $c_{pв}$ и $c_{pп}$, Дж/(кг·°С), давление паров над

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

1 — метилсиликана, 2 — пропандиена, 3 — хлористого метила, 4 — хлористого этилена, 5 — бутадиена, 6 — хлорэтила, 7 — изопрена, 8 — метилформата, 9 — диэтилового эфира, 10 — пентана, 11 — бромэтила, 12 — хлористого метилена, 13 — сероуглерода, 14 — этилформиата, 15 — хлороформа, 16 — п гексана, 17 — четырёххлористого углерода, 18 — бензола, 19 — трихлорэтилена, 20 — этилацетата, 21 — дихлорэтана, 22 — фторбензола, 23 — гектана, 24 — этилпропионата, 25 — пропилацетата, 26 — толуола, 27 — тетрахлорэтилена, 28 — п октана (V), 29 — п октана (W), 30 — хлорбензола, 31 — бромбензола, 32 — п декана (V), 33 — йодбензола, 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 — п 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]:

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

При пленочном режиме испарения ($Gr \cdot Pr$) < 1, $n=0$ и $Nu' = \text{const}$ в пределах до критического значения ($Gr \times Pr$)_{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 площади F , м²,

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

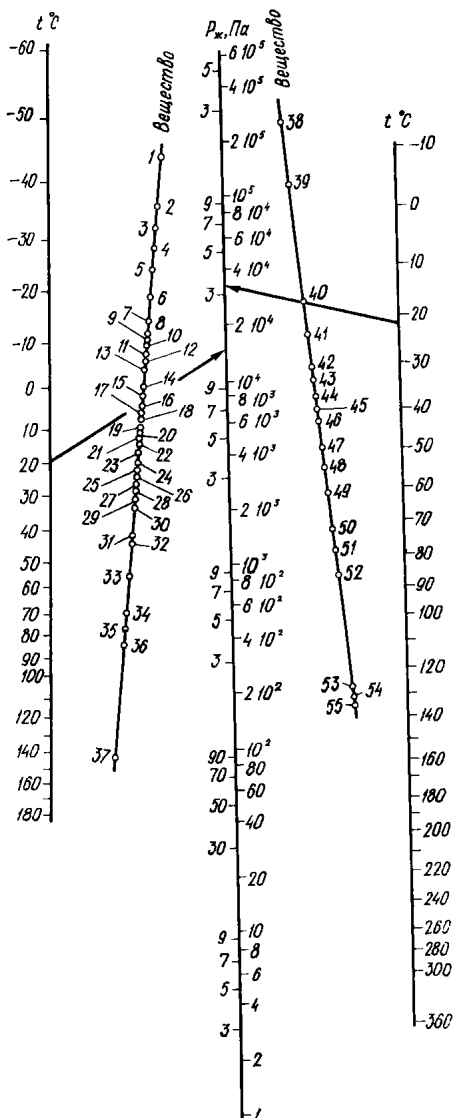


Таблица 1.10. Молекулярная масса M и значения коэффициентов D_0 и m некоторых веществ

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 $(Gr \cdot Pr')$ 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 $M_n > M_b$ (M_n и M_b — 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 $M_n < M_b$, $c=1$, если же $M_n > M_b$, $c=0,55$. Для прямоугольных вытянутых поверхностей значение c надо умножить на 0,9.

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

с вертикальной поверхности

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

с горизонтальной поверхности при $M_n < M_b$

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

с горизонтальной поверхности при $M_n > M_b$

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

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 $M_n < M_b$ — 0,18 и при $M_n > M_b$ — 0,09.

Интенсивность испарения при этих условиях, г/ч, соответственно

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

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

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

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

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

Т а б л и ц а 1.11 Основные критерии подобия

Формула	Обозначения
Критерий Рейнольдса $Re = vl/\nu \quad (1.14)$	v — скорость воздуха (газа), м/с; l — характерный линейный размер, м, например, диаметр воздуховода; ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с
Критерий Фруда $Fr = gl/v^2 \quad (1.15)$	g — ускорение свободного падения, м/с²
Критерий Архимеда $Ar = gl\Delta t/\nu^2 (273 + t_{окр}) \quad (1.16)$	Δt — разность температур в рассматриваемой точке потока и окружающего воздуха $t_{окр}$, °C
Критерий Грасгофа $Gr = gl^3\beta\Delta t/\nu^2 \quad (1.17)$ Для испаряющихся жидкостей $Gr' = gl^3(\rho_0 - \rho_{ж})/\nu^2\rho_{ж} \quad (1.18)$	$\beta = t_{ср}^{-1}$ — коэффициент объемного расширения воздуха, °C⁻¹, $t_{ср}$ — средняя температура поверхности тела и газов, обменивающихся теплом, °C; Δt — разность температур поверхностей тела и газов, °C; ρ_0 и $\rho_{ж}$ — плотности окружающей газовой среды и паров на поверхности жидкости, кг/м³
Критерий Прандтля $Pr = \nu/\alpha = \nu c_p \rho / \lambda \quad (1.19)$ Диффузионный критерий Прандтля $Pr' = \lambda/D \quad (1.20)$	$\alpha = \lambda/c_p \rho$ — коэффициент температуропроводности, м²/с, λ — коэффициент теплопроводности сухого воздуха, Вт/(м·°C); c_p — удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, кДж/(кг·°C); $D = D_0(T/273)^m \cdot 101,325/B$ — коэффициент молекулярной диффузии, м²/с; D_0 — то же, при $t=0$ °C и барометрическом давлении $B=101,325$ кПа (см. табл. 1.10), $T=t+273$; m — показатель степени (см. табл. 1.10)
Критерий Нуссельта $Nu = \alpha l/\lambda = c (Gr \cdot Pr)^n \quad (1.21)$ Диффузионный критерий Нуссельта $Nu' = \beta' l/D = c (Gr \cdot Pr')^n \quad (1.22)$	α — коэффициент теплоотдачи жидкости, Вт/(м²·°C), n — показатель степени, отражающий режим конвекции; $\beta' = G/F(q_{ж} - q_0)$ — массовая скорость испарения, м/с; F — площадь испарения, м²; G — интенсивность испарения, г/с; $q_{ж}$ и q_0 — концентрация паров над источником испарения и в окружающем воздухе, г/м³, c — коэффициент, зависящий от условий эксперимента и режима конвекции
Критерий Пекле $Pe = Pr \cdot Re = vl/\alpha \quad (1.23)$	

Таблица 1.12. Допустимые значения коэффициента негерметичности m [66]

Оборудование	Среда в оборудовании	Длительность испытания на герметичность, ч, при рабочем давлении	$m \cdot 10^2$
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
межцеховые	Токсичная и горючая	24	0,1
	Прочие горючие газы	24	0,2

* 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,

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

где $\eta = 1,5 - 2$ — 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

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