ГЛАВА 5
ЗАЩИТА ОТ ШУМА, ИНФРАЗВУКА И ВИБРАЦИЙ

§ 30. НОРМИРОВАНИЕ ШУМА

Для успешного решения проблемы защиты окружающей среды от шума необходимо знать допустимые уровни шума. В соответствии с Санитарными нормами № 3077—84 допустимого шума в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки шум промышленных предприятий, технологических установок, транспортных средств и т. п. не должен превышать уровней, приведенных в табл. 49 с учетом поправок табл. 50.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются *уровни звукового давления* (УЗД) L, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, или *уровни звука* L_A, дБА, а непостоянного — *эквивалентные уровни звука* $L_{A\text{экв}}$, дБА, и *максимальные уровни звука* $L_{A\,\max}$, дБА.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука $L_{A\,\text{экв}}$ непостоянного шума — уровень звука постоянного широкополосного шума, имеющий то же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени. Максимальный уровень звука $L_{A\,\max}$ — уровень звука, соответствующий максимальному показанию шумомера в течение 1% времени измерения.

Величину $L_{A\,\text{экв}}$ измеряют специальными шумомерами или рассчитывают по результатам измерения уровней звука в течение наиболее шумных 1/2 ч. При этом уровни звука непрерывно записывают на ленте самописца или считывают с показаний шумомера через ~5 с. Измеренные уровни разбивают на классы с диапазоном 5 дБА. Каждый класс характеризуется средним значением L_i. Например, к классу $L_i=40$ дБА относят все измеренные уровни от 38 до 42 дБА, к классу 45 дБА — уровни от 43 до 48 дБА и т. д. Эквивалентный уровень звука рассчитывают по формуле

$$L_{A\text{экв}} = 10\lg\left(\frac{1}{100}\sum_{i=1}^{n} t_i 10^{0,1L_i}\right),$$

где L_i — уровень звука класса i, дБА; t_i — относительное время воздействия шума класса L_i, %, от времени измерения.

Таблица 49

Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A\,экв}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A\,max}$, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Палаты больниц и санаториев, операционные больниц	С 7 до 23 ч	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
	С 23 до 7 ч	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев	—	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек	—	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	С 7 до 23 ч	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	С 23 до 7 ч	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий, территории больниц и санаториев	С 7 до 23 ч	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	С 23 до 7 ч	59	48	40	24	30	37	25	23	35	50
Залы кафе, ресторанов, столовых	—	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70
Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания	—	79	70	63	58	55	52	50	49	60	75
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, амбулаторий, диспансеров, домов	С 7 до 23 ч	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70
	С 23 до 7 ч	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A\,экв}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A\,max}$, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек											
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений	—	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Примечания:

1. Эквивалентные и максимальные уровни звука для шума, создаваемого автомобильным, железнодорожным, авиационным транспортом, в 2 м от ограждающих конструкций первого ряда жилых и общественных зданий, обращенных в сторону магистральных улиц, принимается на 10 дБА выше приводимых в табл. 49

2. УЗД в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука шума, создаваемого в помещениях системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции, следует принимать на 5 дБ ниже указанных в табл. 49 или фактических уровней шума, если последние не превышают значения, приведенные в табл. 49 (в этом случае не учитывают поправку для тонального и импульсного шума, см. табл. 50).

Таблица 50

Влияющий фактор	Условия	Поправка Δ, дБ или дБА
Характер шума	Широкополосный шум	0
	Тональный или импульсный (при измерениях стандартным шумомером) шум	—5
Место расположения объекта	Курортный район, места отдыха	—5
	Новый проектируемый жилой район	0
	Район сложившейся застройки	+5

Примечания: 1. Поправки на место расположения объекта следует учитывать только для внешних источников шума. 2. Поправку +5 дБ не следует применять для вновь строящихся зданий в сложившейся застройке.

Возможность обеспечения допустимых уровней шума в значительной степени зависит от выполнения нормативов для различных источников шума. Так, основной для городской застройки шум транспорта, измеренный на расстоянии 7,5 м от осевой линии движения в соответствии с ГОСТ 27436—87 и ОСТ 27.004.022—86, не должен превышать приведенных в табл. 51 уровней звука.

Таблица 51

Типы транспортных средств	Уровень звука, дБА
Легковые и грузопассажирские автомобили	77
Автобусы с полной массой св 3500 кг и двигателем мощностью, кВт.	
менее 150	80
150 и более	83
Автобусы и грузовые автомобили с полной массой, кг:	
не более 2000	78
св 2000, но не более 3500	79
Грузовые автомобили, автопоезда с полной массой св. 3500 кг и с двигателем мощностью, кВт:	
менее 75	81
75 и более, но не менее 150	83
150 и более	84
Мотоциклы, мотороллеры и мопеды с рабочим объемом двигателя, см^3:	
до 80	78
св 80 до 125	80
св. 125 до 175	82
св. 175 до 350	83
св 350 (в том числе мотоциклы с коляской и грузовые мотороллеры)	85

§ 31. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

При разработке средств защиты от шума прежде всего следует выяснить его вид, поскольку необходимое снижение шума можно достигнуть только при правильном выборе этих средств. Различают два вида шумов — *воздушный* и *структурный*. Воздушный шум распространяется в воздухе от источника возникновения до места наблюдения, структурный шум излучается поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок зданий в звуковом диапазоне частот 20 — 20 000 Гц. Рис. 81 иллюстрирует пути проникновения воздушного и структурного шумов в здание при нахождении его источников как снаружи, так и внутри здания. От наружного источника *1* воздушный шум проникает в помещения через закрытые или открытые окна, форточки, а также стены (в меньшей степени); вибрации передаются по грунту или

трубопроводам, идущим к строительным конструкциям, колебания которых вызывает появление структурного шума. От внутреннего источника 2 воздушный шум попадает в помещения через стены и перекрытия, воздуховоды, а также через проемы, щели и т. п.; вибрации передаются основанию, трубопроводам насосных и воздуховодам вентиляторных установок, вызывая возникновения структурного шума.

Необходимость проведения мероприятий по снижению шума, производимого эксплуатируемыми источниками, определяется на основании измерений соответствующих уровней L, $L_{A\,экв}$, $L_{A\,max}$ в сравнении с допустимыми по нормам. Для проектируемых объектов необходимость таких мероприятий может быть определена только на основании акустического расчета, включающего:

1) выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;

2) выбор расчетных точек (РТ) акустического расчета и определение для них допустимых УЗД;

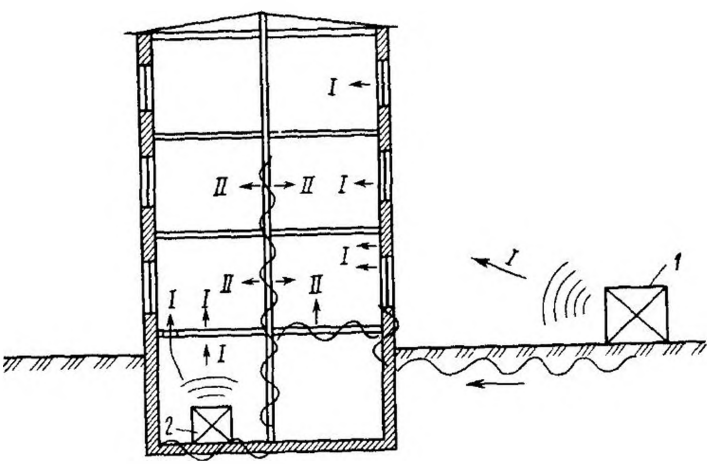

Рис. 81 Пути проникновения шума:
I — воздушный шум, *II* — структурный шум, *1*, *2* — источник шума и вибраций

3) определение ожидаемых УЗД в расчетных точках до осуществления мероприятий по снижению шума;

4) определение требуемого снижения УЗД в расчетных точках;

5) выбор мероприятий для обеспечения требуемого снижения УЗД;

6) расчет и проектирование шумоглушащих, звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций (глушители, экраны, звукопоглощающие облицовки и т. п.).

Источники шума и их шумовые характеристики

В зависимости от физической природы шумы могут быть:

— механического происхождения, возникающие при вибрации поверхностей машин и оборудования, а также при одиночных или периодических ударах в сочленениях деталей или конструкциях в целом;

— аэродинамического происхождения, возникающие вследствие происходящих в газах процессов (вихревые процессы, колебания рабочей среды, вызываемые вращением лопаточных колес, пульсации давления при движении в воздухе тел с большими скоростями; истечение сжатого воздуха, пара или газа и др.);

— электромагнитного происхождения, возникающие вследствие колебаний элементов (ротора, статора, сердечника, трансформатора и др.) электромеханических устройств под действием переменных магнитных полей;

— гидродинамического происхождения, возникающие вследствие происходящих в жидкостях процессов (гидравлические удары, кавитация, турбулентность потока и др.).

В условиях эксплуатации, как правило, несложно определить, какой именно источник вызывает повышенный шум. Если, например, в жилой дом проникает шум от одновременно работающих компрессорной и вентиляторной установок рядом расположенного предприятия, то последовательным выключением этих установок и изменением шума каждой из них можно выявить основной источник шума.

Для выполнения акустического расчета прежде всего необходимо знать основные шумовые характеристики машин: *уровни звуковой мощности* (УЗМ) L_P на стандартных среднегеометрических частотах октавных полос ($L_P = 10 \lg P/P_0$, где P — звуковая мощность источника, Вт; P_0 — исходное значение мощности, равное 10^{-12} Вт) и *показатель направленности излучения шума* G, дБ ($G = 10 \lg \Phi$). Шумовые характеристики, определяемые в соответствии с ГОСТ 12.1.024—81, ГОСТ 12.1.025—81 и др., приводятся заводом-изготовителем в технической документации на стационарные машины и оборудование.

Для таких распространенных источников шума, как вентиляторные, компрессорные, газотурбинные и другие аэрогазодинамические установки, шумовые характеристики могут быть рассчитаны или определены по справочной литературе [8].

Вентиляторные установки. Шум вентиляторов промышленных предприятий обычно распространяется следующими путями (рис. 82): *а* — через воздухозаборное устройство *4* воздуховода всасывания *2* (путь I); *б* — через выбросное устройство *5* воздуховода нагнетания *3* (путь II); *в* — через корпус радиального вентилятора *1* (путь III) и выбросное или воздухозаборное устройства (пути II и I). Возможно также излучение шума открытым вход-

ным или выходным патрубками радиального вентилятора и осевым вентилятором непосредственно в атмосферу. Шум вентиляторных установок часто превышает допустимые уровни в широком

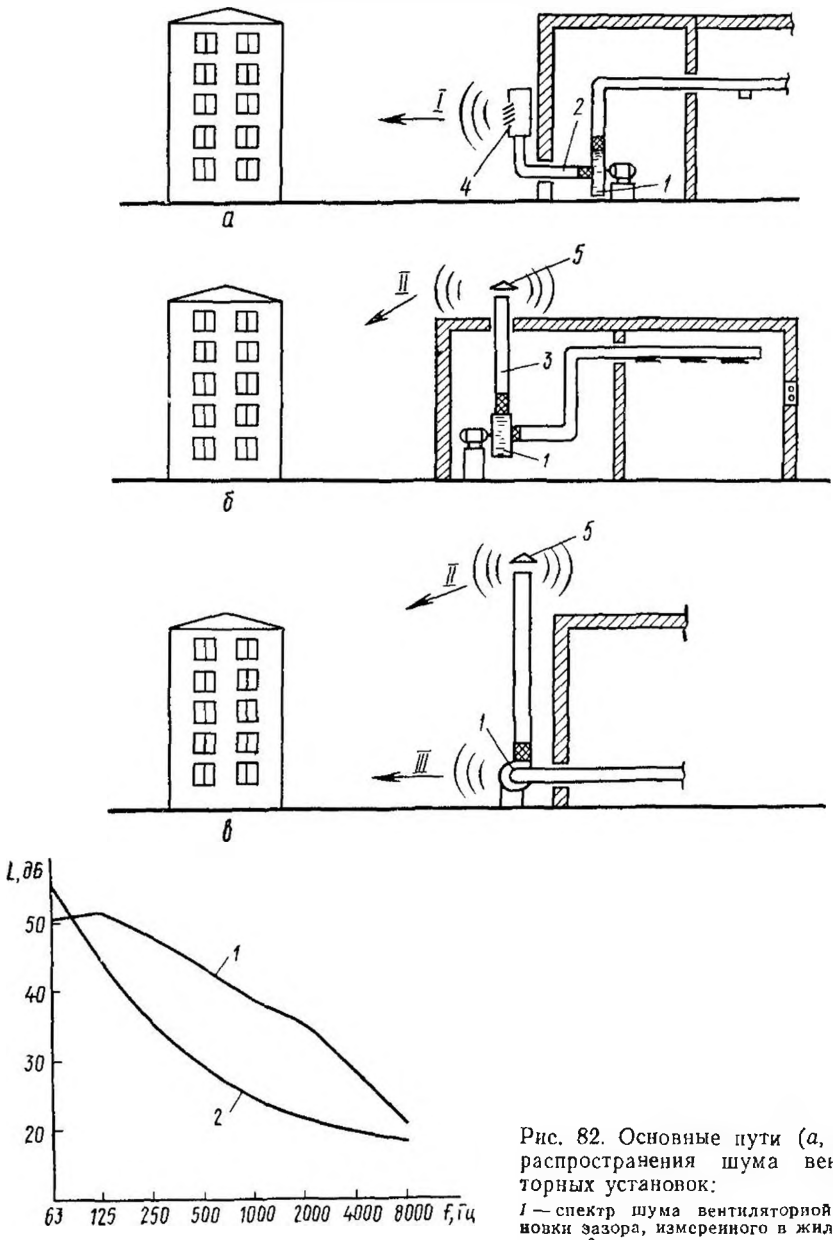

Рис. 82. Основные пути (*а*, *б*, *в*) распространения шума вентиляторных установок:

1 — спектр шума вентиляторной установки зазора, измеренного в жилом доме; *2* — спектр допустимого шума

диапазоне частот (рис. 82, *г*). В каждом из этих случаев октавные УЗМ могут быть рассчитаны по соответствующим формулам. Например, октавные УЗМ шума, излучаемого вентилятором в воздуховод всасывания или нагнетания, определяют по формуле:

$$L_p = \tilde{L} + 20 \lg P_в + 10 \lg Q + \delta - \Delta L_1 + \Delta L_2 - 20, \qquad (19)$$

где $\tilde{L}$ — критерий шумности, дБ, зависящий от типа и конструкции вентилятора, значение которого для сторон всасывания и нагнетания следует принимать по данным [7, 8]; $P_в$ — полное давление, создаваемое вентилятором, Па; Q — объемный расход воздуха вентилятора в м³/с; δ — поправка на режим работы вентилятора, принимаемая в зависимости от его к. п. д., равной от 0 до 4 дБ; ΔL_1 — поправка, учитывающая распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам частот; ΔL_2 — поправка, учитывающая акустическое влияние присоединения воздуховода к вентилятору. Поправки ΔL_1 и ΔL_2 могут быть определены по данным [7].

Для осевых вентиляторов УЗМ шума на всасывании и нагнетании ввиду симметрии потока могут быть приняты одинаковыми. Уровень шума электродвигателя, клиноременного привода и подшипников при их исправном состоянии значительно ниже шума вентилятора и его можно не учитывать.

Значения УЗМ справедливы при условии плавного подвода воздуха к входному патрубку, что обеспечивается наличием плавного коллектора или прямого участка воздуховода длиной не менее трех его гидравлических диаметров $D_г$ ($D_г = 4F/П$, где F и П — соответственно площадь воздуховода, м², и его периметр, м).

При работе радиального вентилятора с открытыми входным или выходным патрубками к излучаемому через них шуму добавляется шум, излучаемый через корпус. Суммарный УЗМ находят по известному правилу сложения уровней.

Для вентиляторов специального назначения, в частности общеобменной вентиляции шахт, рудников, транспортных тоннелей, УЗМ могут быть определены по измерениям, проведенным на моделях этих вентиляторов (для проектируемых машин) или по данным литературы [37] (для эксплуатируемых машин).

Компрессорные станции. При работе стационарных компрессорных станций проникновение шума в окружающую среду происходит через отверстия всасывающих и выхлопных воздуховодов, а в передвижных станциях, кроме того, имеет место еще шум двигателя и корпусной шум. Нужно заметить, что компрессорные станции наряду с вентиляторными установками являются самыми распространенными источниками шума. УЗМ шума, излучаемого в окружающую среду стационарными компрессорами и турбокомпрессорами, определяют по справочной литературе [8].

Шум часто расположенных в жилых застройках передвижных

компрессорных станций (ПКС), в которых имеется большое количество источников, принято характеризовать не уровнем звуковой мощности, а уровнем звука на определенном (1—7 м) расстоянии от станции.

Газовые струи. Интенсивный шум в окружающей среде может создаваться при стендовых испытаниях турбореактивных двигателей (ТРД), при сбросе сжатого воздуха. Источником шума в этих случаях является высокоскоростная выхлопная струя, общий уровень звуковой мощности $L_{P_{общ}}$ которой можно определить по формуле

$$L_{P_{общ}} = 80 \lg v_c + 20 \lg \rho_c + 10 \lg F_c - K, \qquad (20)$$

где v_c — скорость истечения газа (воздуха) из сопла, м/с; ρ_c — плотность струи в выходном сечении сопла; K — величина, зависящая от температуры струи (для ТРД К=44 дБ, для холодных струй К=57 дБ).

Октавные УЗМ шума струи определяют из равенства

$$L_P = L_{P_{общ}} + \Delta L_P. \qquad (21)$$

Здесь ΔL_P — разность между общим УЗМ и рассматриваемой октавной полосой со среднегеометрической частотой f, значение которой находят по графику *1* рис. 83 в зависимости от безразмерного параметра — числа Струхаля $Sh = fd_c/v_c$, где d_c — диаметр сопла, м.

При испытаниях ТРД излучение шума происходит несколькими путями: из выхлопной шахты испытательного бокса (рис. 84),

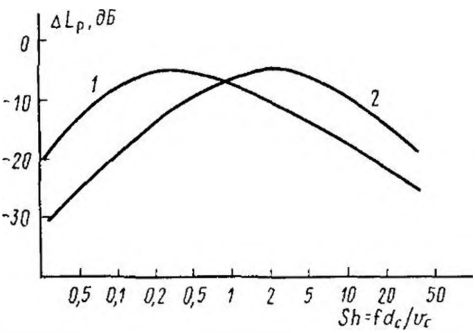

Рис. 83. Относительный спектр звуковой мощности шума:
1 — струи; *2* — излучаемого в бокс

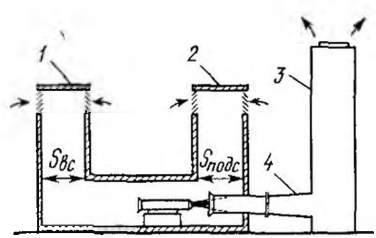

Рис. 84. Схема испытательного бокса

из шахт подноса *2* и всасывания *3*, а также через проводящую трубу *4*. Октавные УЗМ шума, излучаемого в выхлопную шахту, определяют по формуле (21). В шахты подсоса и всасывания поступает часть звуковой энергии, излучаемой в помещение бокса

выхлопной струей Общий УЗМ излучаемого в бокс шума в среднем на 8 дБ меньше общего уровня всей струи, определяемого по формуле (20). Октавные УЗМ шума определяют по формуле (21), используя график 2 (см. рис. 83). Зная УЗМ шума, излучаемого в бокс, можно определить соответствующие уровни для шахт всасывания и подсоса [8].

Необходимо отметить, что при расчете шума ТРД (особенно двухконтурных с большой степенью двухконтурности), проникающего в шахту всасывания, наряду с выхлопной струей нужно учитывать и шум компрессора, используя правило сложения уровней.

Газотурбинные установки (ГТУ). При работе стационарных ГТУ повышенный шум в окружающей среде создается системами всасывания и сброса воздуха через противопомпажные клапаны. Основной источник — это тональный шум осевого компрессора с максимумом излучения в высокочастотной части спектра. Частоты дискретных составляющих (гармоник) равны:

$$f_i = izn/60, \tag{22}$$

где i — номер гармоники ($i=1, 2, 3...$); z — число лопаток рабочего колеса первой ступени компрессора; n — частота вращения ротора, об/мин

Общую звуковую мощность $P_{общ}$, Вт, шума всасывания дозвукового осевого многоступенчатого компрессора определяют, пользуясь выражением

$$P_{общ} = 0{,}5\left(\frac{1-\eta_{ад}}{\eta_{ад}}\right)^2 \frac{m_t H_{ад}^2}{\rho c^3 D^2}, \tag{23}$$

где $\eta_{ад}$ — адиабатический к. п. д. первой ступени компрессора; m_t — массовый расход воздуха через компрессор, кг/с; $H_{ад}$ — адиабатический напор, Дж/кг; D — диаметр первой ступени компрессора, м; ρ — плотность воздуха на входе в компрессор, кг/м^3; c — скорость звука в воздухе, определяемая в зависимости от температуры T°С как $c=20{,}1\sqrt{T}$, м/с.

Общий УЗМ компрессора вычисляют по формуле

$$L_{P_{общ}} = 10\lg(P_{общ}/P_0),$$

где $P_0=10^{-12}$ Вт.

Для определения УЗМ по формуле (22) находят частоты трех первых гармоник f_1, f_2, f_3, а по табл. 52 находят среднегеометрические частоты $^1/_3$-октавных полос, в которых располагаются эти гармоники. Затем, используя график (рис. 85, *а*), определяют уровни звуковой мощности L_P ^{1} для этих полос:

$$L_{P_i} = L_{P_{общ}} - \Delta L_{P_i},$$

где ΔL_{P_i} — разность УЗМ.

Таблица 52

Граничные частоты полос, Гц		Среднегеометрические частоты, полос, Гц	
октавных	1/3-октавных	октавных	1/3-октавных
45—90	45—56	63	50
	56—71		63
	71—90		80
90—180	90—112	125	100
	112—140		125
	140—180		160
180—355	180—224	250	200
	224—280		250
	280—355		315
355—710	350—450	500	400
	450—560		500
	560—710		630
710—1400	710—900	1000	800
	900—1120		1000
	1120—1400		1250
1400—2800	1400—1800	2000	1600
	1800—2240		2000
	2240—2800		2500
2800—5600	2800—3540	4000	3150
	3540—4500		4000
	4500—5600		5000
5600—11 200	5600—7100	8000	6300
	7100—9000		8000
	9000—11 200		10 000

Например, для заданного компрессора с $L_{P\text{общ}}=140$ дБ частоты гармоник равны $f_1=2000$ Гц; $f_2=4000$ Гц; $f_3=6000$ Гц; значения ΔL_{P_l} для этих частот соответственно равны 3, 7 и 11 дБ. Для 1/3-октавных частот, лежащих ниже $f_1=2000$ Гц, а именно 1600, 1250, 1000 Гц и т д, ΔL_{P_l} соответственно равна 17, 18,5 дБ Для частот выше $f_3=6000$ Гц, а именно 8000 и 10 000 Гц, ΔL_{P_l} равна 17 и 18,5 дБ Для частот 2500, 3150 и 5000 Гц, лежащих между частотами f_1, f_2, f_3, $\Delta L_{P_l}=15$ дБ. Построенный на основании этого расчета спектр звуковой мощности компрессора в 1/3-октавных полосах частот приведен на рис 85, *б*, спектр *1*.

Поскольку для дальнейших расчетов используют октавные УЗМ, необходимо 1/3-октавные уровни пересчитать в октавные по правилу сложения уровней. Так, 1/3-октавные уровни на частотах 3150, 4000 и 5000 Гц соответственно равны 125, 133 и 125 дБ, а октавный УЗМ в полосе со среднегеометрической частотой 4000 Гц будет равен 134 дБ. Применительно к нашему примеру октавный спектр УЗМ показан на рис. 85, *б* (спектр *2*). Для частот ниже 500 Гц расчет не производился ввиду значительно меньших (на 30—40 дБ) уровней на этих частотах по сравнению с определяющими общий шум тональными составляющими.

Для ряда эксплуатируемых ГТУ уровни звуковой мощности шума всасывания и шума, излучаемого противопомпажными клапанами, могут быть взяты из справочника [8].

Выбор расчетных точек и определение допустимых уровней шума

При акустических расчетах для источников шума, излучаю-

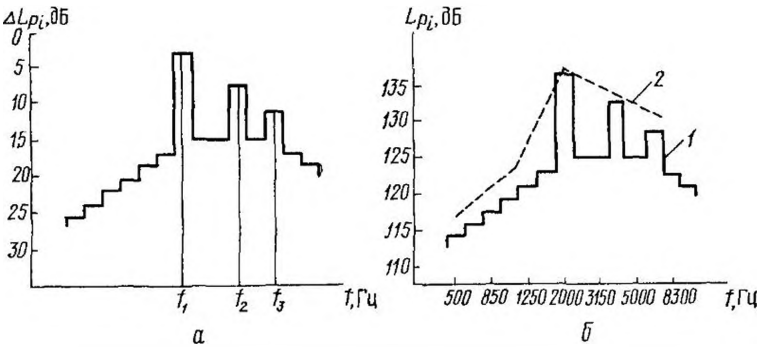

Рис. 85. Спектры звуковой мощности шума всасывания компрессора: *а* — относительный, *б* — в ⅓-октавных и октавных полосах частот

щих его в окружающую среду, РТ выбирают на расстоянии 2 м от плоскости окон ближайших жилых или общественных зданий. На территории жилых микрорайонов, больниц и санаториев, школ, детских садов РТ выбирают на расстоянии 2 м от границ территории на высоте 1,2 м от поверхности земли.

При выполнении акустических расчетов допустимые уровни звукового давления $L_{доп}$ в расчетных точках определяют по формуле

$$L_{доп} = L_н + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i,$$

где $L_н$ — нормативный УЗД, определяемый по табл. 49; $\sum_{i=1}^{n} \Delta_i$ — сумма поправок (см. табл. 50).

Определение ожидаемых уровней звукового давления

До осуществления мероприятий по снижению шума для выбранных РТ при известных источниках шума (ИШ) и их шумовых характеристиках определение ожидаемых уровней звукового давления (УДД) производится в зависимости от их взаимного расположения. Источники шума могут находиться в открытом пространстве на территории предприятия или городской застройки, в помещениях, каналах аэрогазодинамических установок, а расчет-

ные точки — на территориях или помещениях жилых и общественных зданий. Для определения ожидаемых УЗД применяют энергетический метод расчета, при котором рассматривается распространение звуковой энергии от источника до РТ с определением в ней интенсивности звука и соответствующих уровней. Отметим, что уровень интенсивности звука L_I ($L_I = 10\lg(I/I_0)$, где I и I_0 — соответственно интенсивность в данной точке и исходное значение интенсивности, равное $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м²) связан с уровнем звукового давления L зависимостью

$$L_I = L + 10\lg\frac{\rho_0 c_0}{\rho c} = L + \Delta L_a,$$

где $\rho_0 c_0$ — удельное акустическое сопротивление воздуха, равное 410 Н·с/м³ при нормальных атмосферных условиях ($T = 293$ К и $p_{ст} = 1034$ гПа); ρc — то же, при данных условиях (ρ — плотность воздуха, кг/м³; c — скорость звука в нем, м/с); ΔL_a — поправка на атмосферные условия.

Если данные атмосферные условия соответствуют нормальным, то

$$L_I = L. \tag{24}$$

В случаях расчетов, проводимых далее, поправкой ΔL_a можно пренебречь ввиду ее малости и считать, что выполняется равенство (24).

Сначала рассмотрим общий случай (рис. 86), когда в окружающую среду, где расположена расчетная точка, происходит излучение шума звуковой мощностью P, Вт. Интенсивность звука I в РТ будет равна:

$$I = \frac{P\Phi}{Sk}. \tag{25}$$

Здесь Φ — фактор направленности излучения шума (его значения для конкретных случаев будут приведены далее); k — коэффициент, в общем виде учитывающий уменьшение интенсивности звука на пути его распространения за счет затухания в воздухе и наличия каких-либо преград; S — площадь, на которую распределяется звуковая энергия, м². В общем случае $S = \Omega r^2$, где Ω — пространственный угол излучения звука, равный 4π для источников и мест излучения шума, расположенных в пространстве, 2π — на поверхности территории или ограждающих конструкций зданий и сооружений и π — в двухгранном углу, образованном конструкциями зданий и поверхностью территории.

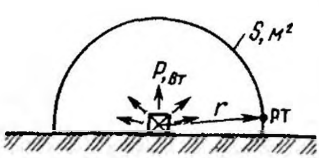

Рис. 86 Расчет шума в открытом пространстве

Разделив левую и правую части уравнения (25) на исходное

значение интенсивности звука I_0 и прологарифмировав их, получим выражение для уровня интенсивности звука, равного с учетом (24) ожидаемому уровню звукового давления в РТ:

$$L = L_P^{изл} + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - 20 \lg r - \Delta L_P^{оп}, \qquad (26)$$

где $L_P^{изл}$ — УЗМ шума, излучаемого в окружающую среду; $\Delta L_P^{оп}$ — снижение УЗМ на пути распространения шума в открытом пространстве. При отсутствии препятствий и небольших (до 50 м) расстояниях ΔL_P равно нулю. При бо́льших расстояниях становится заметным затухание звука в воздухе, особенно на высоких частотах. Это происходит благодаря поглощению энергии в процессе релаксации молекул воздуха, а также ее потерь вследствие теплопроводности и вязкости воздуха. В этих случаях $\Delta L_P^{оп} = (\beta_a r)/1000$, где β_a — затухание звука в атмосфере, принимаемое по следующим данным:

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
β_a, дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Наличие ветра и растительности, характер рельефа земной поверхности и другие факторы влияют на значение $\Delta L_P^{оп}$, увеличивая его или уменьшая. Нужно отметить, что выражение (26) получено для условий свободного распространения звука, т. е. без влияния отражений близко расположенных зданий и сооружений. В реальных условиях, особенно в городской застройке, спад уровня звукового давления происходит медленнее, чем по закону квадрата расстояния, поэтому в случае расположения РТ среди зданий нужно брать не $20 \lg r$, а $15 \lg r$.

Рассмотрим конкретные случаи расчета, наиболее часто встречающиеся на практике. Уровни звукового давления в РТ во всех случаях определяют по общей формуле (26) с подстановкой соответствующих значений $L_P^{изл}$ и Ф.

I. Источник шума (один или несколько) установлен на поверхности земли на определенном расстоянии r от РТ (рис. 87, *а*). Шум от него излучается непосредственно в окружающую среду. В данном случае $L_P^{изл} = L_P$. Величина Ф берется из паспортных характеристик машины, механизма. Для источников шума с равномерным излучением звука Ф = 1. Для осевых и центробежных вентиляторов, открытые всасывающие или выхлопные отверстия которых направлены в сторону РТ, Ф = 2.

II. Шум источника аэродинамического происхождения (вентилятор, компрессор и т. д.) распространяется по каналам (трубопроводам) и излучается в атмосферу через выходные (выхлопные или воздухозаборные) отверстия (рис. 87, *б*). В этом весьма распространенном случае $L_P^{изл} = L_P - \Delta L_{P_к}$ (L_P — УЗМ источника шума, излучаемого в сторону выходного отверстия; $\Delta L_{P_к}$ —

снижение УЗМ при распространении звука по каналам от источника до выходного отверстия). $\Delta L_{P_к}$ определяется последовательно для каждого элемента (прямой участок, канал, поворот, тройник и т. п.) и затем суммируется, т. е. $\Delta L_{P_к} = \sum_{i=1}^{n} \Delta L_{P_{к_i}}$, где $\Delta L_{P_{к_i}}$ — снижение УЗМ в отдельном i-м элементе; n — число этих элементов.

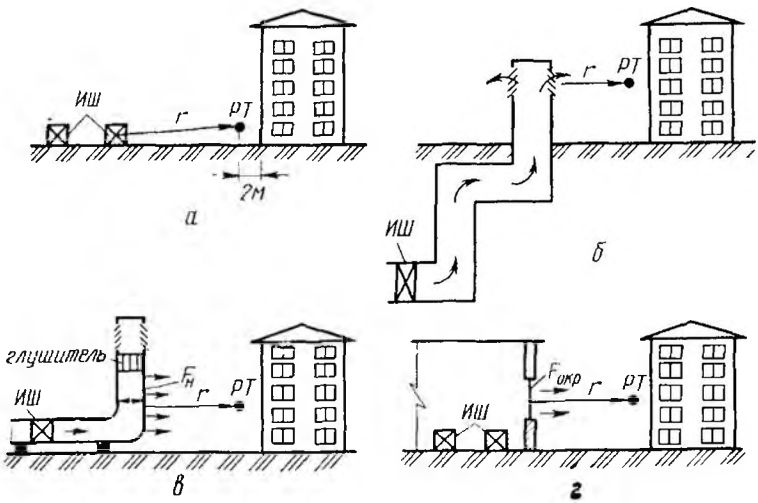

Рис. 87. Расчетные схемы излучения шума в окружающую среду:
а — источник шума расположен в открытом пространстве, *б* — излучение шума из всасывающих или воздухозаборных отверстий аэродинамических установок, *в* — излучение шума через стенки канала аэрогазодинамической установки, *г* — излучение шума через строительные ограждения

Естественное снижение шума в воздуховодах может быть значительным и его необходимо точно определять для каждого элемента. При распространении шума по прямым участкам воздуховодов и каналов происходит затухание звука в результате его поглощения и рассеивания на стенках. Снижение УЗМ на 1 м длины для металлических воздуховодов может быть определено по данным СНиП II-12—77 [7], а для широких (более 2 м) каналов см. [36].

На поворотах воздуховодов значительная часть энергии отражается обратно к источнику шума. Снижение УЗМ в прямоугольных поворотах воздуховодов и каналов может быть определено по графику рис. 88 в зависимости от произведения fd (f — частота звука, Гц; d — ширина поворота, м). В плавных поворотах и в прямоугольных поворотах с направляющими лопатками отраже-

ние звука значительно меньше, поэтому снижение уровней составляет 1—3 дБ.

В результате отражения звука от открытого конца воздуховода (с решеткой или без нее) происходит снижение УЗМ, значение которого определяют по графику рис. 89 в зависимости от параметра $f\sqrt{F}$, Гц·м (F — площадь поперечного сечения воздуховода, м²).

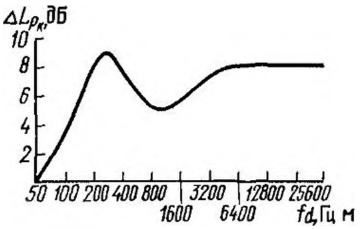

Рис. 88. График для определения снижения шума в прямоугольных поворотах

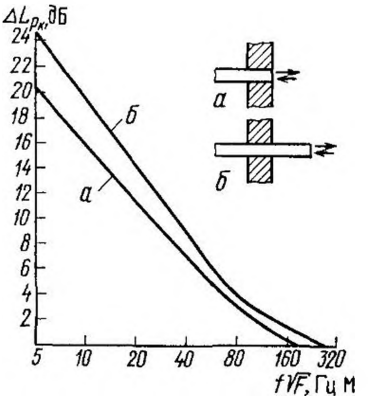

Рис. 89. График для определения снижения шума при отражении от открытого конца (*а* и *б*) воздуховода

Снижение УЗМ вследствие отражения звука при резком изменении поперечного сечения воздуховода (рис. 90, *а, б, в*) определяется в зависимости от частоты и соотношения площадей F_1 и F_2 [7, 36].

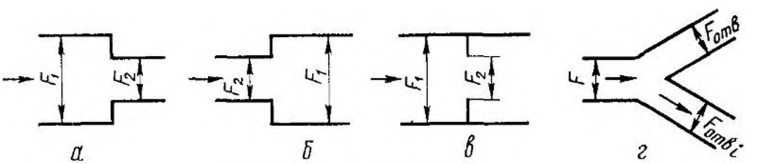

Рис. 90. Элементы каналов:

а, б — сужение и расширение канала, *в* — перегородка с отверстием в канале, *г* — разветвление канала

При плавном переходе воздуховода от одного сечения к другому снижение октавных УЗМ не учитывается. Снижение УЗМ в разветвлениях воздуховодов (рис. 90, *г*) следует определять по формуле

$$\Delta L_{P_к} = 10\lg\left[\frac{\sum F_{отв}}{F_{отв_i}}\,\frac{(m_0+1)^2}{4m_0}\right], \qquad (27)$$

где m_0 — отношение площадей сечений воздуховодов, $m_0 = F/\Sigma F_{отв}$; $F_{отв}$ — площадь поперечного сечения воздуховода рассматриваемого ответвления, м²; F — площадь поперечного сечения воздуховода перед разветвлением, м²; $\Sigma F_{отв}$ — суммарная площадь поперечных сечений воздуховодов всех ответвлений.

Фактор направленности Ф в выражении (26) зависит от ориентации места излучения по отношению к РТ. Значения показателя направленности $G = 10 \lg Ф$ для наиболее распространенных случаев излучения приведены на рис. 91.

III. Шум в РТ попадает через стенки (чаще металлические) канала (см. рис. 87, *в*). Такой путь проникновения шума в окружающую среду часто наблюдается при работе станций испытаний двигателей и в вентиляторных установках. Особенно заметным становится такой шум при установке глушителя перед выхлопным отверстием. В этом случае

$$L_P^{изл} = L_P - \Delta L_P + 10 \lg \frac{F_н}{F} - R_к - 3, \qquad (28)$$

где L_P — уровень звуковой мощности, излучаемой источником шума в канал; ΔL_P — снижение УЗМ в канале от источника до участка, через который излучается шум; $F_н$ — площадь наружной по-

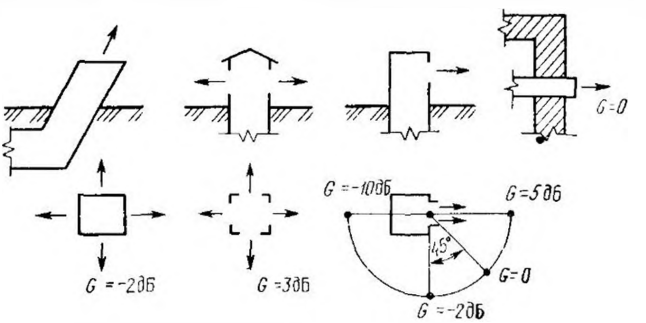

Рис. 91. Значения G для различных случаев излучения шума из воздухозаборных или выбросных устройств аэрогазодинамических установок

верхности стенок канала, м²; F — площадь поперечного сечения канала, м²; R — звукоизоляция стенок канала, дБ. Здесь Ф = 1.

IV. При близком расположении шумного цеха предприятия к жилой застройке шум может попадать в РТ чаще через оконные проемы площадью $S_{ог}$ и звукоизоляцией $R_{ог}$ (см. рис. 87, *г*). В этом случае Ф = 1:

$$L_P^{изл} = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_{P_i}} - 10 \lg B + 10 \lg S_{ог} - R_{ог}, \qquad (29)$$

где L_{P_1} — уровень звуковой мощности i-го источника в помеще-

нии; n — число источников; B — постоянная шумного помещения, определяемая применительно к данному случаю по формуле $B = V\mu/20$ (V — объем помещения, м^3; μ — частотный множитель, значения которого см. [7]).

Часто шум может попадать в РТ от нескольких источников разными путями. Например, на территорию жилой застройки шум может попадать одновременно от производственного оборудования, вентиляторов, компрессоров и т. д., близко расположенного предприятия. В таких случаях УЗД в расчетной точке сначала определяют отдельно для каждого источника по формуле (26), а при одновременном действии всех источников — по правилу сложения уровней:

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1L_i}, \tag{30}$$

где L_i — ожидаемые УЗД, создаваемые одним источником при изолированной работе; n — число источников шума. Здесь уместно напомнить, что при разнице между двумя уровнями выше 10 дБ более низкие уровни в расчет можно не принимать.

Определение требуемого снижения шума

Необходимо различать понятия: требуемое снижение шума в РТ и требуемое снижение шума источника. Во всех случаях расчета или измерений требуемое снижение шума в РТ определяют как разность между ожидаемыми УЗД, рассчитанными по формуле (26) или измеренными L и допустимыми $L_{доп}$ уровнями по нормам

$$\Delta L_{тр} = L - L_{доп}. \tag{31}$$

Значение требуемого снижения шума непосредственно в источнике или на пути его распространения зависит от числа источников шума и требуемого снижения шума в РТ. При действии одного источника его шум должен быть снижен на величину $\Delta L_{тр}$, определяемую по формуле (31), а шум одного из нескольких одинаковых источников, удаленных от РТ на примерно равные расстояния, по формуле

$$\Delta L_{тр} = L_i - L_{доп} + 10 \lg n,$$

где $L_i = L$ [см. формулу (31)].

На практике часто встречаются случаи попадания шума в РТ от разных источников, расположенных от нее на различных расстояниях. Применительно к действующим предприятиям и эксплуатируемому оборудованию требуемое снижение шума каждого источника может быть определено измерением УЗД, создаваемого при одиночной работе (остальные источники отключаются), срав-

нивая его с допустимыми уровнями. При таких измерениях выявляют наиболее шумные источники, шум которых нужно снижать в первую очередь.

Выбор мероприятий по снижению шума

Уровни звукового давления в РТ зависят, как следует из формулы (26), от УЗМ изучаемого шума $L_P^{изл}$, показателя направленности излучения шума G, расстояния от источника шума до РТ, постоянной шумного помещения B, звукоизоляции ограждений R и снижения уровня звуковой мощности $\Delta L_P^{оп}$ на пути распространения шума в открытом пространстве. Исходя из этого для снижения шума могут быть применены соответствующие мероприятия.

А. Уменьшение УЗМ источника шума L_P, что в условиях эксплуатации достигается заменой шумного, устаревшего оборудования, а при проектировании — выбором оборудования с лучшими шумовыми характеристиками, правильным расчетом режима

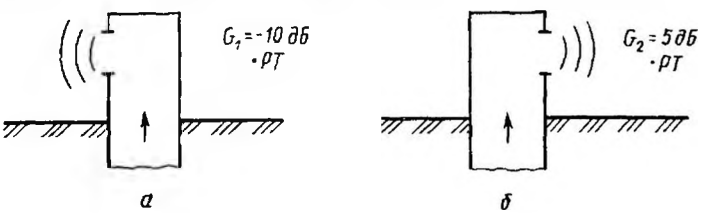

Рис. 92. Правильная (*а*) и неправильная (*б*) ориентация воздухозаборной шахты

его работы и т. д. Например, при подборе вентилятора необходимо стремиться к тому, чтобы его к. п. д. был максимальным; сброс сжатого воздуха, газа или пара должен быть растянут во времени (если позволяют условия эксплуатации оборудования) и т. п.

Б. Правильная ориентация источника шума или места излучения шума по отношению к РТ для снижения показателя направленности G. С этой целью устройства для забора и выброса воздуха и газовоздушной смеси аэродинамических установок следует устанавливать так, чтобы излучение шума шло в противоположную сторону от жилых и общественных зданий. Снижение шума за счет правильной ориентации может быть определено как $\Delta L = G_1 - G_2$, где G_1 и G_2 — показатели направленности излучения шума (рис. 92) соответственно воздухозаборным или выхлопным устройствами при их неправильной и правильной ориентации в сторону РТ. Например, для установки воздухозаборной шахты, снижение УЗД составит $\Delta L = 5 + 10 = 15$ дБ.

В. Размещение источника шума на возможно удаленном от

РТ расстоянии или, наоборот, жилой застройки от предприятия, т. е. за счет проведения комплекса архитектурно-планировочных мероприятий. Например, на расстоянии r_1 от r_2 от источника шума в открытом пространстве находятся расчетные точки РТ1 и РТ2 (рис. 93, *а*). Разность УЗД между точками определяют как

$$\Delta L = 10 \lg \frac{I_1}{I_2} = 10 \lg \frac{P/S_1}{P/S_2} = 10 \lg \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = 20 \lg \frac{r_2}{r_1},$$

где P — звуковая мощность источника шума; I_1 и I_2 — интенсивности звука в РТ.

При удвоении расстояния ($r_2 = 2r_1$) $\Delta L = 6$ дБ. Как отмечалось выше, при распространении шума в жилой застройке спад УЗД несколько замедляется (рис. 93, *б*) из-за отражения звука от стен

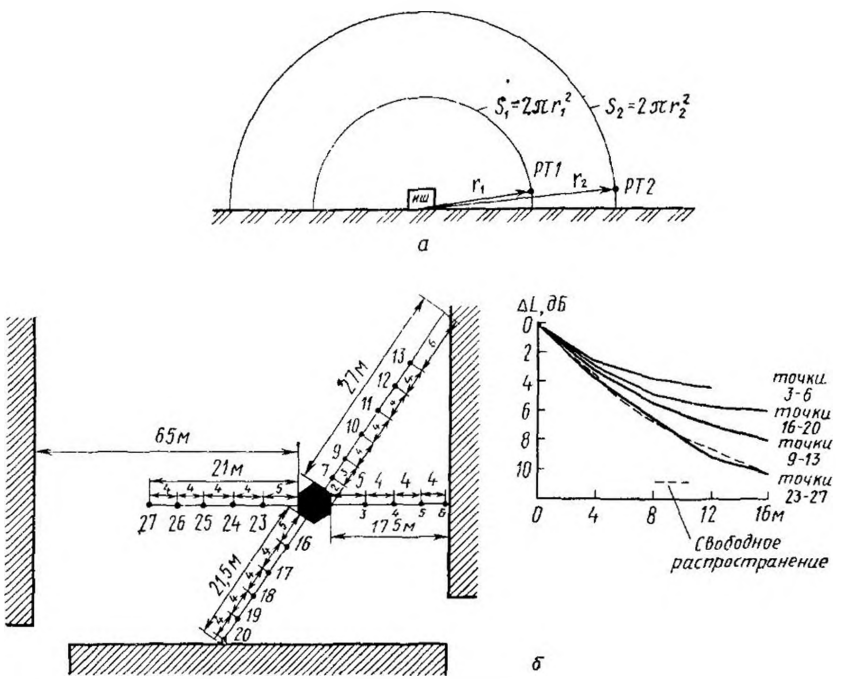

Рис 93. К определению шума в открытом пространстве (*а*) и в жилой застройке (*б*)

зданий, в таких случаях $\Delta L = 15 \lg (r_2/r_1)$. Нужно подчеркнуть, что данное мероприятие по снижению шума может быть реализовано лишь при проектировании объектов.

Г. Использование средств звукопоглощения при выполнении акустической обработки шумных помещений, через окна которых

шум излучается в атмосферу (для увеличения постоянной B этих помещений).

Д. Уменьшение шума на пути его распространения от источника до РТ Это мероприятие связано с увеличением ΔL_p и включает в себя:

а) использование средств звукоизоляции путем применения таких материалов и конструкций для наружных стен, окон, ворот, дверей, трубопроводов и коммуникаций, проходящих через ограждающие конструкции зданий, которые могут обеспечить требуемую звукоизоляцию; устройство специальных боксов и звукоизолирующих кожухов при размещении шумного оборудования; применение экранов, препятствующих распространению звука от оборудования, размещенного на территории промышленного предприятия;

б) использование средств виброизоляции и вибродемпфирования;

в) установка глушителей шума в воздуховодах, каналах и газодинамических трактах, испытательных боксов, компрессоров, вентиляторов и т. д.

Е. Проведение организационно-технических мероприятий, связанных с проведением своевременного ремонта, смазки машин и оборудования и т. п.; ограничением и полным запрещением проведения шумных работ и эксплуатацию наиболее интенсивных источников шума в ночное время.

§ 32. ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ И ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

Понятия *звукопоглощение* и *звукоизоляция* часто отождествляют, хотя между ними есть принципиальное различие, которое необходимо учитывать при решении практических вопросов борьбы с шумом.

Звукоизолирующие конструкции предназначены для уменьшения проникновения шума в изолируемое помещение или на территорию жилой застройки от источника, расположенного в соседнем помещении или открытом пространстве (рис. 94, *а*). Акустический эффект таких конструкций в основном обусловлен отражением звука от их поверхностей, изготовленных из плотных твердых материалов (бетон, кирпич, сталь и т. п.).

Звукопоглощающие материалы и конструкции служат для поглощения звука как в помещении самого источника шума (рис. 94, *б*), так и в изолируемых от шума помещениях (рис. 94, *в*). В последнем случае методы звукопоглощения и звукоизоляции используются совместно. Свойством поглощения звука в большей или меньшей степени обладают все материалы, однако к звукопоглощающим принято относить только те материалы, у которых значение коэффициента поглощения $\alpha > 0{,}3$ ($\alpha = I_{погл}/I_{пад}$, где $I_{погл}$ и $I_{пад}$ — соответственно интенсивности поглощенного и па-

дающего звука, Вт/м²). Звукопоглощающие материалы в отличие от звукоизолирующих — это пористые и рыхлые волокнистые материалы типа ультратонкого стеклянного и базальтового волокна, минеральной ваты и плит на ее основе, капронового волокна, специальных акустических плит и др. Процесс поглощения звука происходит в результате превращения звуковой энергии в тепловую. Падающие на звукопоглощающую конструкцию звуковые волны вызывают колебания воздуха в узких порах материала. Вследствие вязкости воздуха эти колебания сопровождаются трением и

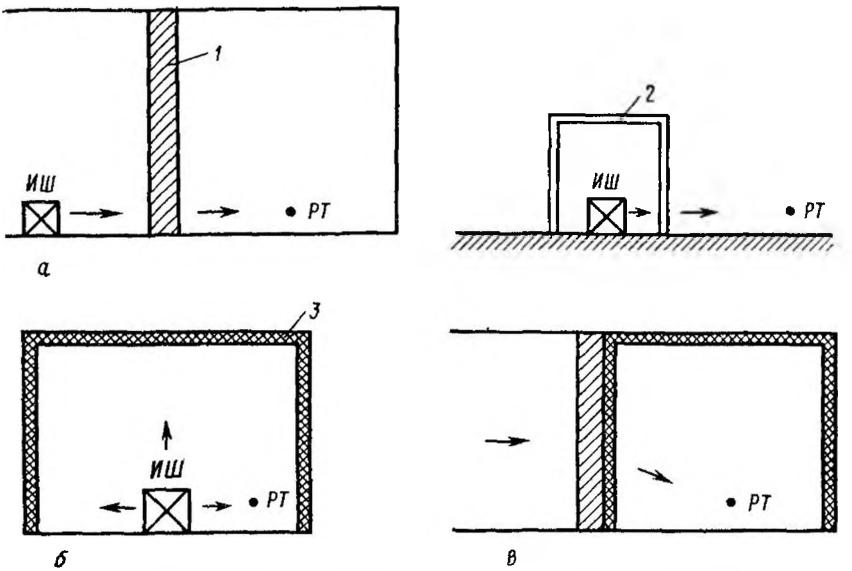

Рис. 94. Средства звукоизоляции и звукопоглощения:
1 — звукоизолирующее ограждение, 2 — звукоизолирующий кожух, 3 — звукопоглощающая облицовка

переходом кинетической энергии в тепловую. Поскольку звуковая энергия в условиях окружающей среды невелика, то температура звукопоглощающего материала даже при полном поглощении звука увеличивается на весьма малую величину.

Для уменьшения шума в изолируемых помещениях метод звукоизоляции более эффективен, чем метод звукопоглощения. С помощью звукоизолирующих конструкций можно обеспечить снижение шума на 20—50 дБ в зависимости от типа конструкции и частоты звука. При установке в этих помещениях звукопоглощающих облицовок стен и потолков снижение шума составляет всего лишь 5—8 дБ. Эффективная защита от шума часто требует совместного использования обоих методов.

Средства звукопоглощения

Эти средства используют при проведении акустической обработки помещений, устанавливая в них звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители для уменьшения интенсивности отраженных звуковых волн. Данный метод чаще используют при необходимости снижения шума в самих производственных помещениях, а также при близком расположении предприятия от жилой застройки (шум проходит через окна цехов). Поэтому снижение шума за счет акустической обработки помещений цехов позволяет одновременно решить две задачи — улучшить условия труда на предприятии и защитить население жилой застройки от действия шума. Этот способ снижения шума используют не только на действующих, но и на проектируемых предприятиях. При этом снижение шума в жилой застройке не превышает 7—12 дБ в области средних и высоких частот, где применение акустической обработки наиболее эффективно.

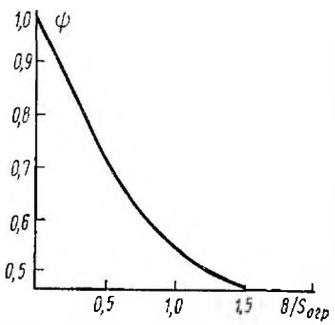

Рис. 95. График для определения коэффициента ψ

Снижение УЗД в жилой застройке, полученного за счет акустической обработки, определяют по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \psi}{B \psi_1}, \qquad (32)$$

где B_1 и B — постоянные помещения соответственно после и до обработки, м²; ψ и ψ_1 — коэффициенты, учитывающие звукопоглощение в помещении, определяемые по графику рис. 95 в зависимости от отношения $B/S_{огр}$ или $B_1/S_{огр}$ ($S_{огр}$ — площадь внутренних поверхностей помещения, м²).

Постоянную помещения B определяют по нормативным материалам [7], а постоянную B_1 — по формуле

$$B_1 = (A_1 + \Delta A)/(1 - \alpha_1). \qquad (33)$$

Здесь A — величина звукопоглощения внутренних ограждающих поверхностей помещения, на которых облицовка не установлена, м², $A_1 = \alpha(S_{огр} - S_{обл})$, где α — средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей помещения площадью $S_{огр}$ до установки облицовки с площадью $S_{обл}$

$$\alpha = \frac{B/S_{огр}}{B/S_{огр} + 1}; \qquad (34)$$

ΔA — добавочное звукопоглощение, вносимое облицовкой, м²:

$$\Delta A = \alpha_{обл} S_{обл}, \qquad (35)$$

где $\alpha_{обл}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции облицовки, значения которого для наиболее распространенных облицовок см. [7, 29]; α_1 — средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей помещения, в котором установлена облицовка, $\alpha_1 = (A_1 + \Delta A)/S_{огр}$.

Выбор конструкции звукопоглощающей облицовки должен производиться не только для получения максимального звукопоглощения в каких-либо полосах частот, но также для обеспечения работоспособности облицовки в конкретных условиях производственного помещения (наличие вибраций, пыли, агрессивных сред и т. п.).

Конструктивно облицовки выполняют (рис. 96) из слоя мягкого звукопоглощающего материала *1* (схема 96, *а*), защитных слоев стеклоткани *2* типа ЭЗ-100 и перфорированного листа *3* с коэффициентом перфорации $k_{перф} \geqslant 0{,}2$ или из акустических плит *4* (схема 96, *б*). Для увеличения звукопоглощения на низких ча-

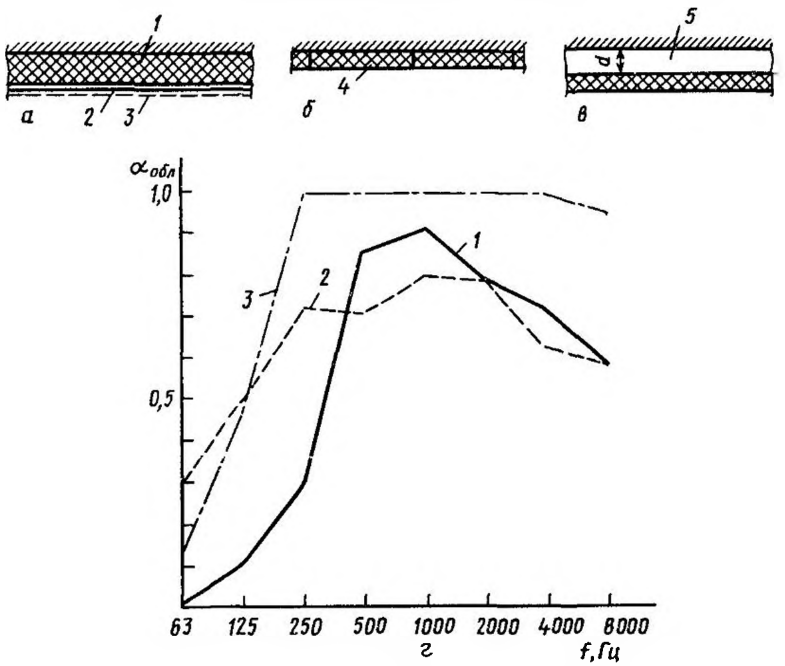

Рис. 96. Конструкции звукопоглощающих облицовок:

1 — плита «Акмигран»; *2* — то же, с воздушным промежутком 200 мм; *3* — маты из супертонкого базальтового волокна толщиной 50 мм

стотах звукопоглощающий материал устанавливается с относом (воздушным промежутком) от строительной конструкции (схема 96, *в*). На рис. 96, *г* приведены частотные зависимости $\alpha_{обл}$ для некоторых конструкций.

Звукопоглощающие облицовки устанавливают на потолке и стенах. При этом снижение шума зависит от площади облицованных поверхностей $S_{обл}$, которая должна составлять не менее половины общей площади $S_{огр}$. На эффективность звукопоглощающих облицовок влияет не только добавочное звукопоглощение ΔA, но и размеры помещения, а также его конфигурация. Облицовка потолка наиболее эффективна при относительно небольшой высоте помещения (до 4—5 м), поскольку потолок в этом случае является одной из основных отражающих поверхностей. Наоборот, в высоких и вытянутых помещениях, где высота больше ширины, облицовка стен дает основной эффект. В помещениях кубической формы облицовывают и стены, и потолок.

Расчет мероприятий по акустической обработке помещений проводят в такой последовательности: 1) определяют требуемое снижение $\Delta L_{тр}$ в октавных полосах частот; 2) выбирают конструкцию звукопоглощающей облицовки с учетом спектра уменьшаемого шума и условий помещения; 3) определяют площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$ и место ее установки.

Возможны два пути определения площади облицовки. а) принимают решение облицевать в помещении определенные поверхности (потолок, стены или их часть) и затем, задаваясь разными площадями $S_{обл}$, определяют возможное снижение шума ΔL по формуле (32) так, чтобы выполнялось условие $\Delta L \geqslant \Delta L_{тр}$; б) определяют требуемую площадь $S_{обл} = \Delta A_{тр}/\alpha_{обл}$, где $\Delta A_{тр}$ — требуемое добавочное звукопоглощение, определяемое по номограмме рис. 97 при известных $\Delta L_{тр}$, α и $S_{огр}$.

Например, необходимо знать площадь облицовки с коэффициентом звукопоглощения $\alpha_{обл} = 0{,}57$ для получения требуемого снижения шума $\Delta L_{тр} = 8$ дБ ($f = 1000$ Гц) в помещении размером $4 \times 20 \times 50$ м ($S_{огр} = 2560$ м², объем помещения 4000 м³). По формуле (34) находят средний коэффициент звукопоглощения $\alpha = 0{,}072$ (постоянная $B = 300$ м²) и по номограмме рис. 97 $\Delta A_{тр} = 650$ м², тогда $S_{обл} = 928$ м². В этом случае наиболее рационально разместить облицовку на потолке помещения. Если в результате расчета требуемая площадь облицовки окажется больше площади, на которой возможно установить облицовку, то $S_{обл}$ нужно принять максимально возможной, а недостающее звукопоглощение следует обеспечить за счет установки штучных звукопоглотителей, количество которых

$$n_{шт} = (\Delta A_{тр} - \alpha_{обл} S_{обл})/A_{шт},$$

где $A_{шт}$ — звукопоглощение одного штучного звукопоглотителя, определяется по СНиП 11-12—77.

В тех случаях, когда применение звукопоглощающей облицовки невозможно, количество штучных звукопоглотителей для получения требуемого добавочного звукопоглощения $n_{шт} = \Delta A_{тр}/A_{шт}$.

Средства звукоизоляции

К этим средствам относят звукоизолирующие ограждения (стены, перегородки и т. п.), звукоизолирующие кожухи и акустические экраны. Есть определенное различие в подходе к устройству

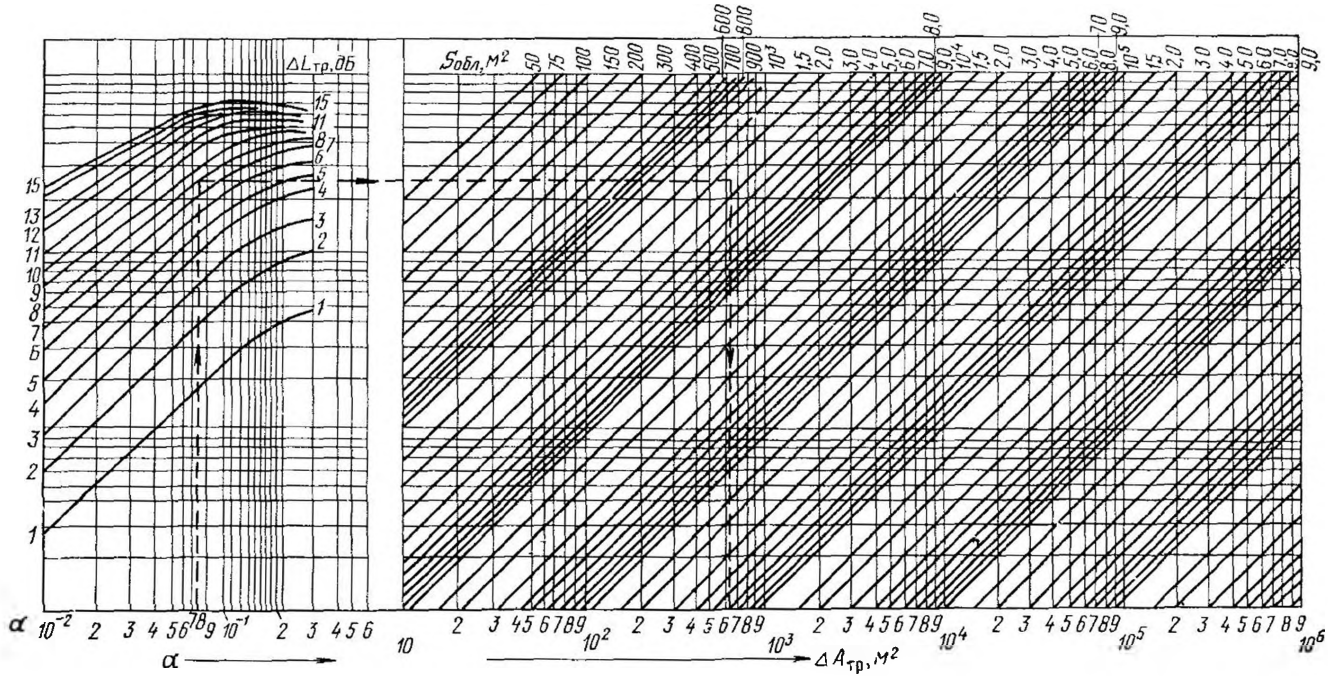

Рис. 97. Номограмма для определения $\Delta A_{тр}$

звукоизолирующих конструкций для проектируемых объектов и уже эксплуатируемых. Так, если в стадии проектирования речь идет только о выборе соответствующей конструкции, обеспечивающей требуемую звукоизоляцию, то для условий эксплуатации возникает, кроме того, необходимость улучшения звукоизолирующих качеств различных ограждений. С этих позиций и будем рассматривать вопросы устройства звукоизолирующих ограждений и конструкции.

Звукоизолирующие ограждения. Поскольку эффект изоляции звука основан на его отражении, для звукоизоляции в воздухе — среде с малым акустическим сопротивлением, необходимо применять ограждения с большим акустическим сопротивлением. Из теории акустики известно, что при нормальном (под углом 90°) падении звука на границу двух сред (рис. 98, *а*) с различными акустическими сопротивлениями Z_1 и Z_2 коэффициент прохождения звука из одной среды в другую $\alpha_{пр}=I_{пр\,с}/I_п$ ($I_{пр\,с}$ и $I_п$ — интенсивности звука, соответственно прошедшего во вторую среду и падающего на ограждение) равен:

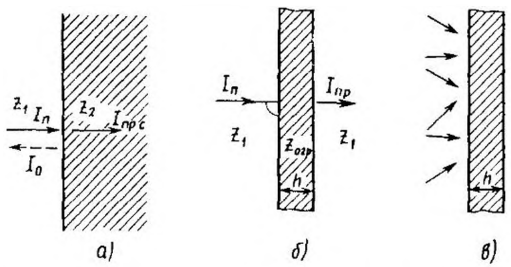

Рис. 98. К определению звукоизоляции ограждений

$$\alpha_{пр}=1-\left|\frac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}\right|^2.$$

Если $Z_2 \gg Z_1$, то $\alpha_{пр}\to 0$, а коэффициент отражения звука $\beta=I_0/I_п$ стремится к единице (I_0 — интенсивность отраженного звука).

При расположении в воздухе массивного звукоизолирующего плоского ограждения бесконечных размеров (рис. 98, *б*) и толщиной h, намного меньшей длины продольной волны $\lambda_п$ в этом ограждении, колебания обеих поверхностей ограждения происходят практически синфазно. Тогда проникновение звука можно рассматривать как результат излучения звука ограждением, колеблющимся под воздействием падающей волны. Ограждение колеблется как жесткое целое, причем основную роль здесь играет его инерционное сопротивление. В этом случае (рис. 98, *г*) сопротивление Z_1 равно удельному акустическому сопротивлению воздуха $Z_1=\rho c$ (при нормальных условиях $Z_1=410$ Н·с/м^3), а сопротивление Z_2 включает в себя: инерционное сопротивление ограждения $Z_{огр}=im\omega$ на единицу его площади ($\omega=2\pi f$); m — поверхностная плотность, т. е. масса в кг одного квадратного метра ограждения, кг/м^2, и сопротивление воздуха за ним:

$$Z_2 = im\omega + \rho c = i2\pi fm + \rho c,$$

отсюда

$$\alpha_{пр} = 1 - |(-i2\pi mf)/(2\rho c + i2\pi mf)|^2.$$

Взяв модуль второго члена и проделав небольшие преобразования, получим

$$\alpha_{пр} = \frac{1}{1 + (\pi fm)^2/\rho c}.$$

В теории звукоизоляции используют понятие звукопроницаемости $\tau = I_{пр}/I_п$ ($I_{пр}$ — интенсивность звука, прошедшего за ограждение). При отсутствии потерь энергии в ограждении $I_{пр} = I_{пр\,с}$ и $\alpha_{пр} = \tau$.

Звукоизоляция ограждения R представляет собой выраженную в децибелах величину, обратную τ:

$$R_и = 10 \lg \frac{I_п}{I_{пр}} = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi fm}{\rho c}\right)^2\right]. \quad (36)$$

При условии $fm \gg \rho c$ в выражении (36) можно пренебречь единицей, тогда с учетом постоянной величины $\pi/\rho c$

$$R_н = 20 \lg \frac{\pi mf}{\rho c} = 20 \lg mf - 42{,}5. \quad (37)$$

В реальных условиях звуковые волны падают на ограждение под различными углами (звуковое поле диффузно), и звукоизоляция бесконечного ограждения уменьшается на 5 дБ:

$$R = 20 \lg mf - 47{,}5. \quad (38)$$

Итак, из формулы (38) следует, что R увеличивается с возрастанием массы ограждения, а для одного и того же ограждения зависит только от частоты звука.

Звукоизоляция у ограждений конечных размеров за счет дополнительной передачи звука через закрепленные края оказывается несколько меньше, чем звукоизоляция, определенная по формуле (38). Нужно отметить, что в частотной характеристике какого-либо ограждения есть несколько диапазонов, где звукоизоляция подчиняется определенным зависимостям, в том числе и так называемому «закону массы» (38). Поэтому при проектировании ограждений обычно используют методы расчета, основанные на теоретических и экспериментальных данных по звукоизоляции различных ограждений.

В практических расчетах необходимо прежде всего определить величину требуемой звукоизоляции $R_{тр}$, дБ, равную требуемому снижению шума $\Delta L_{тр}$.

При излучении шума через стенки канала (см. рис. 37, *в*) величину $R_{тр}$ стенок канала определяют по формуле

$$R_{тр} = R_к - L_p + \Delta L_p + 10 \lg (F_п/F) - 20 \lg r - \Delta L_p^{оп} - L_{доп} - 11, \quad (39)$$

где обозначения те же, что и в выражениях (26), (28) и (31). Для эксплуатируемых установок, когда обнаруживается недостаточная звукоизоляция стенок канала, величина добавочной звукоизоляции $\Delta R_{тр}$ равна требуемому снижению шума.

Если шум излучается через строительные ограждения шумного помещения (см. рис. 87, *г*), то требуемую звукоизоляцию при проектировании определяют на основании выражений (26) и (28):

$$R_{тр} = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_P} - 10 \lg B + 10 \lg F_{огр} - 20 \lg r - L_{доп} - 5,$$

а при эксплуатации, когда известен средний уровень звукового давления $L_{ср}$ в шумном помещении:

$$R_{тр} = L_{ср} + 10 \lg F_{огр} - L_{доп} - 11. \quad (40)$$

Повышенный шум в жилой застройке часто связан с недостаточной звукоизоляцией окон и световых проемов. Отметим, что определяемая выражением (40) величина $R_{тр}$ для данного случая

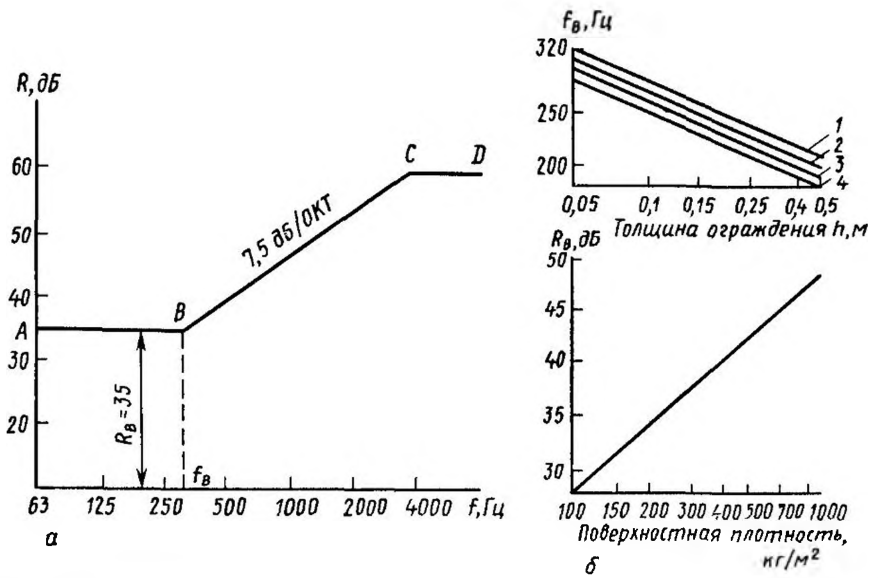

Рис. 99. Частотная характеристика звукоизоляции ограждений из строительных материалов (*а*) и графики для определения координат точки *B* (*б*):
1 — ρ≥1800 кг/м³; *2* — ρ=1600 кг/м³; *3* — ρ=1400 кг/м³, *4* — ρ<1200 кг/м³

равна превышению измеренного УЗД в жилой застройке над допустимым при условии, что это превышение обусловлено только проникновением шума через ограждения помещения.

После определения $R_{тр}$ необходимо запроектировать такую конструкцию, чтобы ее звукоизоляция R в каждой частотной полосе была бы не ниже $R_{тр}$, т. е. $R \geqslant R_{тр}$.

На практике применяют однослойные и многослойные звукоизолирующие конструкции. Последние представляют собой два и более однослойных ограждения из твердых плотных материалов (бетон, газобетон, металл и т. п.) в сочетании со слоями пористых материалов типа минеральной ваты и т. п.

Конструкцию звукоизолирующего ограждения, обеспечивающую $R_{тр}$, выбирают по справочникам или рассчитывают, используя приближенные методики расчета, приводимые далее.

Расчет изоляции плоского однослойного ограждения от воздушного шума состоит в построении частотной характеристики звукоизоляции этого ограждения в зависимости от его материала. Так, для материалов с поверхностной плотностью m от 100 до 1000 кг/м² (бетон, железобетон, кирпич и т. д.) расчет проводят в такой последовательности:

1) определяют среднюю поверхностную плотность ограждения, кг/м², как $m=\rho h$, где ρ — плотность выбранного материала, кг/м³, h — толщина ограждения, м;

2) строят частотную характеристику звукоизоляции, состоящую из трех прямолинейных участков AB, BC, CD (рис. 99, *а*). Координаты точки B находят по графикам рис. 99, *б* в зависимости от толщины h и поверхностной плотности m ограждения. Затем из точки B влево проводят горизонтальный отрезок AB, а вправо от точки B — отрезок BC с наклоном 7,5 дБ на октаву до точки C с ординатой $R_c=60$ дБ. Из точки C вправо проводят горизонтальный отрезок CD. На рис. 99, *а* показана частотная характеристика изоляции воздушного шума бетонной перегородки с $h=0{,}1$ м, $m=220$ кг/м², $\rho=2200$ кг/м³. Значения звукоизоляции на стандартных частотах берут по точкам пересечения линий $ABCD$ соответствующих ординат. Так, для рассмотренного примера звукоизоляция на частоте 125 Гц равна 35 дБ.

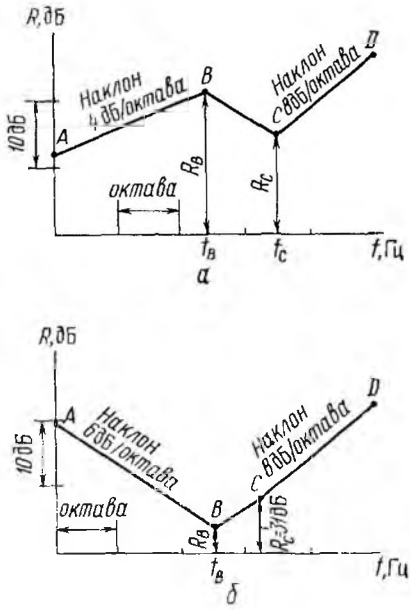

Рис. 100 Графики частотной характеристики звукоизоляции тонких ограждений:

а — плоских; *б* — цилиндрических

Для таких материалов, как металл, стекло и др., частотную характеристику изоляции воздушного шума плоским ограждением также определяют графическим способом (рис. 100, *а*).

Координаты точек B и C линии $ABCD$ находят по табл. 53.

Наклон отрезка *BA* принимают равным 5 дБ на каждую октаву для конструкций из органического и силикатного стекла и 4 дБ — для других материалов. Наклон отрезка *CD* составляет 8 дБ на октаву.

Таблица 53

Материал	f_B	f_C	R_B	R_C
Сталь	$6000/h$	$12\,000/h$	39	31
Алюминиевые сплавы	$6000/h$	$12\,000/h$	32	22
Силикатное стекло	$6000/h$	$12\,000/h$	35	29
Органическое стекло	$17\,000/h$	$34\,000/h$	37	30
Асбоцементные листы	$11\,000/h$	$22\,000/h$	36	30

Примечание. $f_C = 2f_B$.

Для цилиндрической стальной оболочки диаметром *D*, мм, и толщиной *h*, мм, частотная характеристика звукоизоляции имеет вид ломаной линии (рис. 100, *б*). Координаты точек *B* и *C* определяют по формулам:

$$f_B = \frac{1{,}6\ 10^6}{D}; \quad R_B = 74 - 20\lg\frac{D}{h}; \quad f_C = \frac{12\cdot 10^4}{h}; \quad R_C = 31.$$

Отрезки *BA* и *CD* проводятся соответственно с наклоном 6 и 8 дБ на октаву.

При устройстве составных ограждений (перегородки с окнами, дверьми и т. д.) необходимо учитывать, что шум легко проникает через всевозможные неплотности в ограждениях, существенно снижая их звукоизоляцию. Необходимо, чтобы подобные ограждения имели такую звукоизоляцию входящих в них «слабых» элементов, чтобы средняя звукоизоляция составного ограждения была не ниже требуемой, т. е. $R_{ср} \geqslant R_{тр}$.

Величину $R_{ср}$ определяют следующим образом:

$$R_{ср} = 10\lg\left(S_{общ} \Big/ \sum_{i=1}^{n} S_i 10^{-0{,}1R_i}\right),$$

где $S_{общ}$ — общая площадь составного ограждения, м²; *S* — площадь отдельного элемента сплошной части ограждения, м²; R_i — его звукоизоляция, дБ; *n* — количество всех элементов.

Звукоизолирующие кожухи. Одним из распространенных и эффективных способов снижения шума машин и оборудования является установка на них звукоизолирующих кожухов, полностью закрывающих источники шума. Это позволяет значительно уменьшить шум машин, поскольку устраняется свободное (прямое) распространение звуков волн. Конструкции применяемых кожухов

весьма разнообразны. В зависимости от вида машины и условий ее эксплуатации они бывают стационарными, съемными или разборными, могут иметь смотровые окна, открывающиеся дверцы, проемы для ввода различных коммуникаций и т. д. Эффективность звукоизолирующего кожуха зависит не только от звукоизоляции его отдельных элементов, но и от герметичности. При установке кожуха на машину, работа которой должна проходить при определенных температурах, необходимо делать систему обдува. С этой целью в кожухе для прохода воздуха делают отверстия, оборудованные глушителями шума, которые должны обеспечить снижение шума до требуемой звукоизоляции стенок кожуха и не должны иметь большое аэродинамическое сопротивление. Наиболее подходящими для этого являются щелевидные глушители из звукопоглощающего материала толщиной 50 мм, расположенного по обеим сторонам щели. Ширина щели должна быть в пределах 10—20 мм для одностороннего расположения материала и 30—40 мм для двустороннего. Длина глушителя обычно составляет 500—700 мм.

Стенки кожуха изготавливают из листовых несгораемых материалов (сталь, дюралюминий, пластмассы и др.). Внутренняя по-

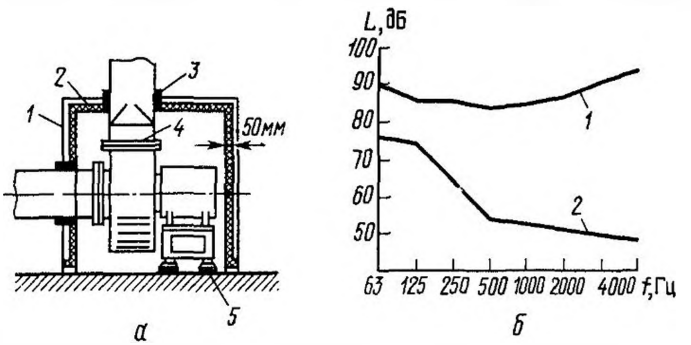

Рис. 101. Звукоизолирующий кожух для радиального вентилятора (*а*) и спектры шума (*б*)

верхность кожуха обязательно должна быть облицована звукопоглощающим материалом толщиной 30 мм для высокочастотного шума и толщиной 100 мм для низкочастотного. Это необходимо для уменьшения плотности звуковой энергии внутри кожуха и, в конечном итоге, для повышения его эффективности. Важно, чтобы кожух непосредственно не соприкасался с изолируемой машиной.

На рис. 101, *а* показана конструкция звукоизолирующего кожуха для радиального вентилятора, состоящего из металлического корпуса *1* толщиной 1,5 мм и слоя звукопоглощающего материала (минеральные плиты) *2* толщиной 50 мм. Для предотвращения проникновения шума в местах прохождения воздуховодов

через кожух сделаны уплотнения из резины *3*, причем сами воздухопроводы подсоединены к вентилятору через гибкие вставки *4*. Вентилятор установлен на виброизоляторы *5*. Установка такого кожуха существенно снижает шум вблизи вентилятора (рис. 101, *б*, кривые *1*, *2* — соответственно, спектры шума до и после установки кожуха). Как показывает опыт, при установке кожуха на вентилятор должны быть приняты меры по звукоизоляции выходящих из кожуха воздуховодов. Возможен также вариант, когда на входе и выходе вентилятора ставится трубчатый глушитель, который одновременно повышает звукоизоляцию и снижает шум, распространяющийся по воздуховодам.

Требуемую эффективность звукоизолирующего кожуха определяют по формуле

$$\Delta L_{\text{кож.тр}} = L - L_{\text{доп}} + 5,$$

где L — рассчитанный по формуле (26) уровень звукового давления в РТ или измеренный уровень; $L_{\text{доп}}$ — допустимый уровень по нормам.

При проектировании необходимо обеспечить фактическое снижение шума кожухом $\Delta L_{\text{кож}}$, которое было бы не меньше требуемой эффективности $\Delta L_{\text{кож тр}}$.

Значения $\Delta L_{\text{кож}}$ для некоторых конструкций кожухов со стенками плоской формы приведены в табл. 54.

Таблица 54

Конструкции	Толщина листа, мм	Размер элемента (между ребрами жесткости)	$\Delta L_{\text{кож}}$ при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стальной лист, покрытие из минераловатных плит ($\rho = 100$ кг/м³) толщиной 70 мм	1,5	1×1	20	30	26	35	39	40	46	48
Дюралюминиевый лист, покрытие из минераловатных плит толщиной 80 мм	2	2×2	20	15	20	28	36	43	50	53

Снижение шума кожухом зависит от звукоизоляции стенок кожуха, его размеров, наличия и качества звукопоглощающей облицовки, источника шума и других факторов:

$$\Delta L_{\text{кож}} = R + 10 \lg \alpha_{\text{обл}} + \Delta R, \qquad (41)$$

где R — звукоизоляция стенок кожуха; $\alpha_{\text{обл}}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки внутренней поверхности

кожуха; ΔR — дополнительная звукоизоляция облицовки, значения которой можно определить по табл. 55 (звукопоглощающий материал — слой супертонкого стеклянного или базальтового волокна толщиной 30—50 мм с $\rho = 20$ кг/м³ или слой полужестких минераловатных плит толщиной 50—80 мм с $\rho = 100$ кг/м³).

Если расчет по формуле (41) показал, что для принятой конструкции кожуха значение $\Delta L_{кож}$ оказалось меньше требуемого $\Delta L_{кож\ тр}$, то необходимо увеличить толщину стенки кожуха, применить для него другой материал или заменить звукопоглощающий материал на более эффективный.

Таблица 55

Размер стенки кожуха a, м	Дополнительная звукоизоляция ΔR, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$a < 1$ м	—	1	2	5	6	8	9	10
$a > 2$ м	1	2	4	8	12	16	20	22

Акустические экраны. Такие звукоизолирующие конструкции устанавливают на территории предприятия для снижения шума, создаваемого открыто установленными источниками в окружающей среде. Применение экранов оправдано только в том случае, если шум экранируемого источника не менее чем на 10 дБ выше уровней, создаваемых другими источниками в застройке.

Акустическая эффективность экрана $\Delta L_{экр}$ — это снижение уровней звукового давления в РТ, расположенной за экраном, которое зависит прежде всего от размеров и формы экрана, расстояния от источника шума и РТ до экрана, частоты звука и др. Экраны могут быть плоской или П-образной формы, гладкими (из металла, пластмассы и т. п.) или (чаще всего) со звукопоглощающей облицовкой толщиной не менее 50 мм со стороны источника шума. Экраны могут быть стационарными и передвижными.

Величину $\Delta L_{экр}$ в условиях открытого пространства рассчитывают на основе оптико-дифракционного представления звукового поля в зоне акустической тени, образующейся за экраном, по формуле

$$\Delta L_{экр} = -10 \lg \left(10^{-0,1 L \Delta L^{I}_{экр}} + 10^{-0,1 \Delta L^{II}_{экр}} + 10^{-0,1 \Delta L^{III}_{экр}}\right), \qquad (42)$$

где $\Delta L^{I}_{экр}$ — акустическая эффективность экрана бесконечной протяженности, определяемая по рис. 102, *а* в зависимости от величины $\delta_1 = a_1 + b_1 + d_1$ и частоты f (рис. 102, *б*); $\Delta L^{II}_{экр}$ и $\Delta L^{III}_{экр}$ — акустические эффективности экрана бесконечной высоты, опреде-

ляемые по рис. 102, *а* в зависимости от $\delta_2 = a_2 + b_2 + d_2$ и $\delta_3 = a_3 + b_3 + d_3$ (a_1, a_2, a_3 — кратчайшие расстояния от источника до верхней и боковых границ экрана; b_1, b_2, b_3 — кратчайшие расстояния от верхней и боковых границ экрана до РТ; d_1, d_2, d_3 — кратчайшие расстояния от РТ до верхней и боковых границ источников шума).

Ширина и высота экрана должны в три и более раз превышать соответствующие размеры источника для того, чтобы зона аку-

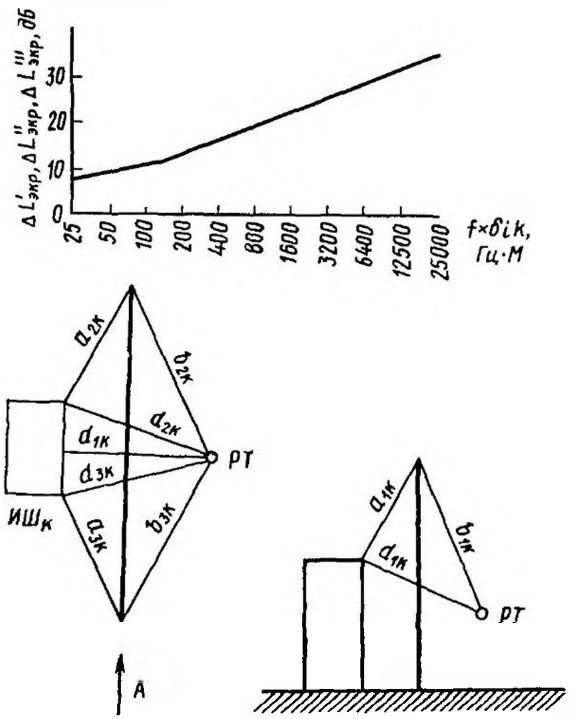

Рис. 102. Акустическая эффективность экрана

стической тени, а следовательно, и $\Delta L_{экр}$ были как можно больше. Поскольку эффективность экранирования тем выше, чем больше высота и ширина экрана по отношению к длине звуковой волны, экраны целесообразно применять для снижения средне- и высокочастотного шума.

§ 33. ГЛУШИТЕЛИ ШУМА

Повышенный шум в окружающей среде часто создается при работе вентиляторных, компрессорных и газотурбинных установок, систем сброса сжатого воздуха, стендов для испытания раз-

личных двигателей и других источников аэродинамического происхождения. Снижение этого шума осуществляется глушителями, установленными в каналах, трубопроводах, воздуховодах.

В зависимости от принципа действия глушители делят на *абсорбционные, реактивные (рефлексные)* и *комбинированные*. Снижение шума в абсорбционных глушителях происходит за счет поглощения звуковой энергии в применяемых для них звукопоглощающих материалах, а в реактивных глушителях — в результате отражения звука обратно к источнику. Комбинированные глушители обладают свойством как поглощать, так и отражать звук. Такое деление условно, поскольку в каждом глушителе звуковая энергия и поглощается, и отражается (только в разных соотношениях).

Выбор типа глушителя зависит от спектра шума источника, требуемого снижения шума, конструкции заглушаемой установки, допустимого аэродинамического сопротивления.

Схемы конструкций глушителей абсорбционного типа приведены на рис. 103. Эти глушители обеспечивают необходимое снижение шума в широком диапазоне частот при небольшом аэродинамическом сопротивлении, поэтому они нашли широкое применение в аэродинамических установках Наиболее простыми из них являются трубчатые глушители (рис 103, *а, б*), в которых каналы *1* круглого, квадратного или прямоугольного сечений, выполненные из перфорированного листового материала с коэффициентом перфорации не менее 0,2, облицованы слоем *2* звукопоглощающего материала типа супертонкого стеклянного или базальтового волокна ($\rho=25$ кг/м^3), минераловатных плит ($\rho=100$ кг/м^3). Для предотвращения выдувания звукопоглощающий материал защищают слоем стеклоткани типа ЭЗ-100. Трубчатые глушители, как правило, применяют в каналах с поперечными размерами до 500—600 мм. Такое ограничение по размерам связано с необходимостью выполнения трубчатого глушителя минимальной длины (не более 1—2 м) для обеспечения требуемого снижения шума. Дело в том, что снижение шума $\Delta L_{гл}$ абсорбционным глушителем прямо пропорционально его длине l, коэффициенту звукопоглощения α применяемого материала, периметру П облицовочной части поперечного сечения глушителя и обратно пропорционально площади S поперечного сечения, т. е. $\Delta L_{гл} \sim l\alpha П/S$. Поэтому для широких каналов (1—6 м) при существенном снижении шума (на 15—70 дБ) длина трубчатого глушителя оказывается слишком большой. Например, для снижения УЗД на 20 дБ в октавной полосе с $f=500$ Гц в каналах диаметром 125 мм и 2500 мм требуется установка трубчатого глушителя длиной соответственно 0,5 и $\sim$10 м. Естественно, что во втором случае глушитель столь большой длины оказывается неприемлемым.

Для сокращения габаритов глушителей и увеличения затухания шума на единицу длины широкого канала применяют пла-

стинчатые глушители (рис. 103, *в*), представляющие собой набор параллельно установленных звукопоглощающих пластин *3*. Пластины обычно выполняются в виде щитов с наружными перфорированными стенками, внутри которых находится слой мягкого зву-

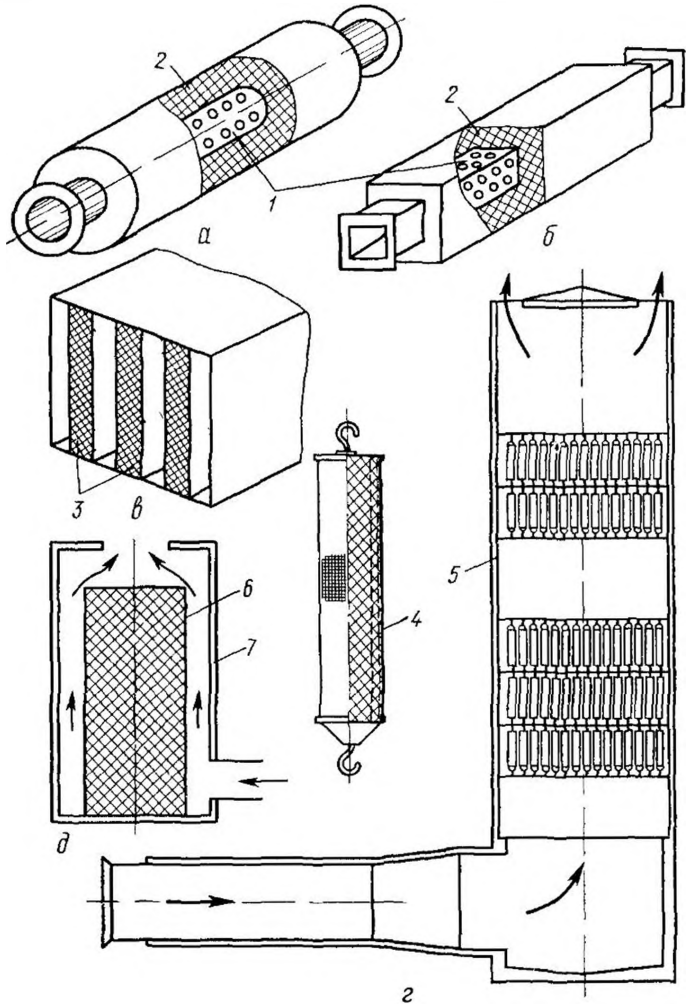

Рис. 103. Глушители абсорбционного типа

копоглощающего материала с защитной оболочкой из стеклоткани, а также в виде пластин-перегородок, выполненных из твердых звукопоглощающих материалов.

Поскольку выбор звукопоглощающего материала для абсорбционных глушителей шума зависит от условий эксплуатации (тем-

пература, влажность, запыленность и т. д.), в крупных вентиляторных установках шахт, рудников и тоннелей широко применяют глушители из звукопоглощающих бетонных блоков, сохраняющих свою эффективность в условиях запыленного и влажного воздуха.

Снижение шума пластинчатым глушителем зависит от толщины пластин и расстояния между ними — чем ниже частота заглушаемого звука, тем толще должны быть пластины Поэтому для снижения высокочастотного шума применяют пластины толщиной 50—100 мм, а для средне- и низкочастотного шума — толщиной 200—600 мм. Уменьшение расстояния между пластинами увеличивает затухание на единицу длины глушителя, поскольку межпластинчатые каналы становятся меньше, но одновременно возрастает гидравлическое сопротивление глушителя. Это обстоятельство особенно важно учитывать для аэродинамических установок с небольшим возможным противодавлением, выбирая такую конструкцию глушителя, которая бы не влияла на рабочие характеристики заглушаемой установки.

Отметим, что при проектировании глушителей любого типа необходимо внимательно относиться к определению величины их гидравлического сопротивления.

Глушители шума с цилиндрическими звукопоглотителями бывают двух типов. В одном типе глушителей (рис. 103, *г*) звукопоглощающими элементами являются цилиндры *4* диаметром 0,2 м и длиной 1 м из перфорированного металла или сетки, заполненные керамзитовой крошкой. Цилиндры устанавливают равномерно по сечению шахты *5* в несколько рядов по высоте. Такие глушители чаще применяют для снижения шума выхлопа в боксах испытаний ТРД.

В глушителях другого типа (рис. 103, *д*) звукопоглощающим элементом служит один большой перфорированный цилиндр *6* диаметром 1,5—2 м и высотой 6—8 м, заполненный керамзитовым гравием и установленный в железобетонном корпусе *7*. Такие глушители применяют в основном для снижения шума небольших аэродинамических труб, обеспечивая уменьшение шума 25—30 дБ в широком диапазоне частот.

В последние годы были разработаны цилиндрические глушители для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Глушитель (рис. 104, *а*) состоит из корпуса, выполненного из тонколистовой перфорированной стали, и торцевых звуконепроницаемых крышек. Внутренний объем глушителя заполнен волокнистым звукопоглощающим материалом, защищенным от выдувания акустически прозрачной стеклотканью. Глушители требуемой длины, определяемые акустическим расчетом, могут быть выполнены в виде одной или нескольких секций каждая длиной ~ 1 м. Диаметры $D_{гл}$ глушителей составляют от 140 до 560 мм. Снижение шума глушителями (рис. 104, *б*) зависит от их диаметра и соотношения диаметров воздуховода $D_в$ и глушителя $D_{гл}$. Глушители

устанавливают (рис. 105) внутри трубчатых глушителей или непосредственно в воздуховодах.

Необходимую площадь свободного сечения абсорбционного глушителя $F_{св}$ определяют из соотношения $F_{сп} \geqslant Q/v_{доп}$, где Q — объемный расход воздуха или газовоздушной смеси, м³/с; $v_{доп}$ — их допустимая скорость в глушителе, м/с.

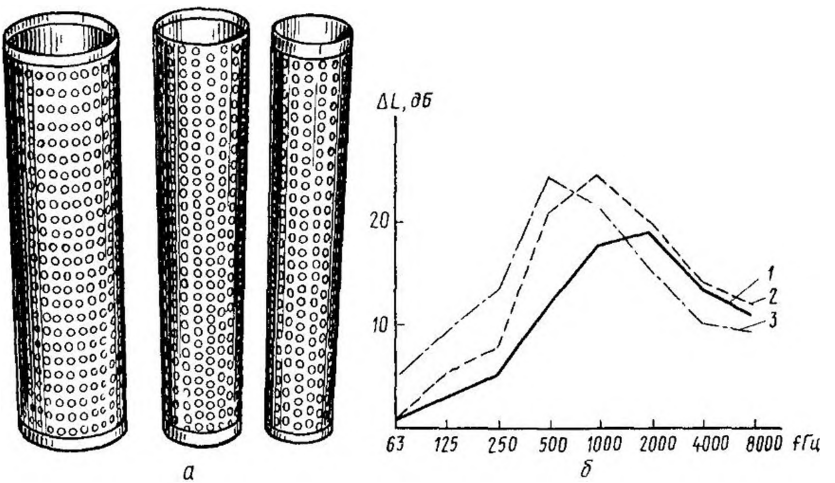

Рис 104 Цилиндрические глушители для систем вентиляции и кондиционирования воздуха:

а — общий вид, *б* — снижение шума глушителями с диаметром, мм 140 (*1*), 250 (*2*) и 560 (*3*)

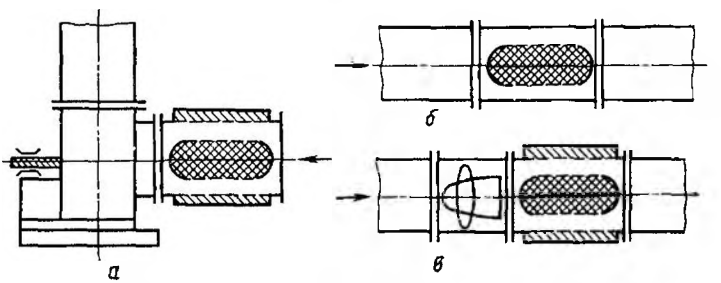

Рис. 105. Схемы установок цилиндрических глушителей:

а — для снижения шума радиальных вентиляторов (в комбинации с трубчатыми), *б* — то же, осевых вентиляторов, *в* — в магистральных воздуховодах

Снижение шума $\Delta L_{гл}$ за счет установки глушителя должно быть не меньше $\Delta L_{тр}$ во всех частотных полосах. Выбор конструкции глушителя с необходимой эффективностью $\Delta L_{гл}$ производится по экспериментальным данным, приведенным в нормативно-спра-

вочной литературе [7, 8]. В частности, эффективность трубчатых глушителей круглой формы (или равновеликих им по площади свободного поперечного сечения глушителей квадратной и прямоугольной формы) при скорости потока до 10 м/с и толщине облицовки 50 мм может быть определена по табл. 56. Значения $\Delta L_{гл}$

Таблица 56

Внутренний диаметр глушителя, мм	Количество секций, шт (длина секций глушителя 1 м)	Снижение УЗД, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
115	1	22	21	37	30	39	37	40	41
	3	31	38	60	70	75	75	75	70
	5	41	55	60	70	75	75	75	70
194	1	17	15	26	31	37	33	29	23
	3	24	29	60	57	75	75	68	58
	5	30	41	60	70	75	75	75	70
285	1	13	13	16	15	19	25	20	15
	3	18	24	42	37	47	57	40	25
	5	23	34	60	60	75	75	60	35
375	1	11	9	15	13	20	22	17	13
	3	14	18	39	32	46	47	30	19
	5	17	26	60	52	72	73	43	25
440	1	10	10	14	11	19	19	13	10
	3	12	17	35	25	40	39	18	12
	5	14	24	55	39	60	59	23	14

для конструкций ряда пластинчатых глушителей приведены в табл. 57.

Глушители реактивного типа применяют в основном для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими, свойственными для двигателей внутреннего сгорания, поршневых компрессоров и других источников. Их устанавливают в трубопро-

Таблица 57

Звукопоглощающая конструкция	Толщина пластины, мм	Расстояние между пластинами, мм	Относительное свободное сечение глушителя, %	Длина глушителя, м	Снижение УЗД, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Супертонкое базальтовое или стеклянное волокно ($\rho=20$ кг/м^3) в оболочке из стеклоткани и перфорированного лис-	100	50	33	1	5	13	20	25	38	45	36	17
				2	10	25	36	44	67	75	63	44
				3	15	38	53	63	75	75	75	70

Звукопоглощающая конструкция	Толщина пластины, мм	Расстояние между пластинами, мм	Относительное свободное сечение глушителя, %	Длина глушителя, м	Снижение УДЗ, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
та (перфорация не менее 25%)												
То же	100	100	50	1	2	2	13	20	29	31	25	15
				2	4	10	21	34	49	53	39	20
				3	6	14	28	50	69	73	54	25
»	200	100	33	1	4	10	16	21	27	31	28	21
				2	8	18	28	34	45	52	45	32
				3	13	26	39	48	62	73	63	42
»	200	200	50	1	3	9	13	16	18	19	17	13
				2	5	14	19	23	27	28	23	16
				3	7	20	26	31	36	36	30	19
»	400	200	33	1	6	9	12	16	20	22	17	12
				2	11	15	18	24	30	34	24	14
				3	17	21	24	32	41	46	31	17
Полужесткие минераловатные плиты ($\rho=100$ кг/м^3) в оболочке из стеклоткани и перфорированного листа (перфорация не менее 25%)	100	100	50	1	2	4	12	22	29	27	22	17
				2	3	8	22	37	49	44	34	24
				3	5	12	28	52	69	61	46	31
То же	200	200	50	1	1	4	13	20	25	23	14	12
				2	2	7	20	32	40	36	18	13
				3	3	10	27	44	55	49	22	15

водах сравнительно небольших размеров, когда длина волны заглушаемого звука значительно больше поперечных размеров трубопровода. Наиболее распространенные конструкции реактивных глушителей показаны на рис. 106. Камерный глушитель (рис. 106, *а*) представляет собой внезапное расширение участка трубопровода. Величину заглушения в однокамерном глушителе определяют, используя графики рис. 106, *б*, по соотношениям $m=F_2/F_1$ (F_2 — площадь поперечного сечения камеры, F_1 — площадь трубопровода) и $kl_к$ ($k=2\pi f/c$ — волновое число, м$^{-1}$; f и c — частота и скорость звука, $kl_к$ — длина камеры глушителя). Максимальное заглушение обеспечивается на частоте, при которой четверть длины волны равна длине камеры l_k, причем максимумы повторяются при нечетных числах четвертей волны $n\lambda/4$, где $n=1, 3, 5...$

Резонансные глушители — это ответвленные (рис. 107, *в*) и концентричные (рис. 107, *г*) объемы с жесткими стенками, сообщающиеся с трубопроводом через отверстия. Собственную частоту

резонатора $f_р$, которая должна быть равна основной частоте заглушаемого шума, определяют по формуле

$$f_р = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{V}},$$

где $K = F/(l + 0{,}8d)$ — проводимость горловины (отверстия), соединяющего трубопровод с резонансной камерой объема V, м³; d, l и F_0 — соответственно диаметр, длина и площадь поперечного сечения горловины или отверстий.

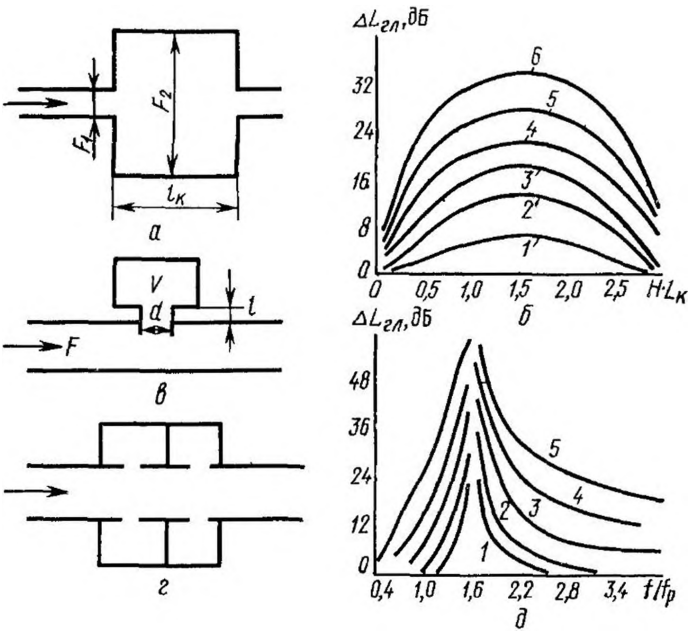

Рис. 106. Схемы глушителей реактивного типа:

а — камерный глушитель; *б* — графики для расчета заглушения камерными глушителями при F_2/F_1, равном: 4 *(1)*, 9 *(2)*, 16 *(3)*, 25 *(4)*, 49 *(5)* и 100 *(6)*; *в* — резонатор с боковым расположением, *г* — концентричные резонаторы; *д* — графики расчета заглушения одиночными резонаторами при $V\sqrt{KV/2F}$, равном: 0,1 *(1)*; 1 *(2)*; 10 *(3)*, 100 *(4)* и 1000 *(5)*

Снижение шума однокамерным резонатором может быть определено (рис. 106, *г*) в зависимости от параметра $\sqrt{KV/2F}$, где F — площадь трубопровода, м². Для расширения частотного диапазона заглушения делают многокамерные резонаторы, причем каждую камеру рассчитывают на свою резонансную частоту.

В целях обеспечения эффективности снижения шума двигателей внутреннего сгорания для них делают глушители в виде на-

бора различных шумоглушащих элементов реактивного типа, что обеспечивает широкополосность работы таких глушителей.

На практике используют комбинированные глушители, работающие одновременно и как абсорбционные, и как реактивные, например камерные глушители с облицованной звукопоглощающим материалом внутренней поверхностью (рис. 107, *а*). Если размер камеры глушителя больше длины звуковой волны максимума заглушаемого звука, то $\Delta L_{гл} = 10 \lg \frac{\alpha_{обл} F_к}{F}$, где $\alpha_{обл}$ — коэффициент звукопоглощения материала, наносимого на внутреннюю поверхность камеры площадью $F_к$; F — площадь подводящего канала.

Экранные глушители (рис. 107, *б*) устанавливают на выходе из канала в атмосферу или на входе в канал. На низких частотах экран практически не оказывает действия на излучаемый шум.

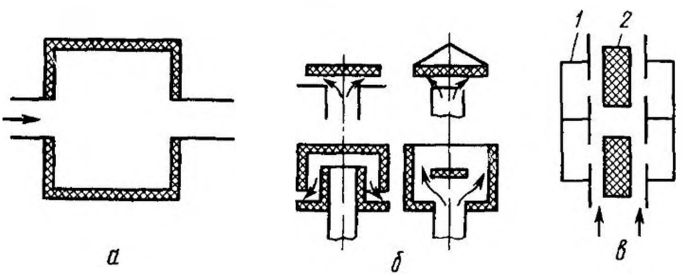

Рис. 107. Схемы комбинированных глушителей:
а — камерные глушители со звукопоглощающей облицовкой; *б* — экранные глушители, *в* — глушитель для стенда испытания дизелей, *1* — резонаторы, *2* — цилиндрические глушители

На высоких частотах эффективность его установки составляет 10—25 дБ, причем максимальный эффект наблюдается в осевом направлении. Большое значение имеет диаметр экрана и его расстояние до канала. Чем ближе экран и чем больше его диаметр, тем эффективней установка. Обычно диаметр экрана в 2 раза больше диаметра канала. При выборе расстояния экрана от конца канала нужно помнить, что здесь требования акустики приходят в противоречие с требованиями аэродинамики, так как при очень близком расположении экрана резко увеличивается гидравлическое сопротивление. Поэтому при установке экранов находят оптимальное решение.

Комбинированный глушитель шума состоит из двух глушителей — абсорбционного и реактивного, каждый из которых рассчитан на снижение шума в определенной полосе частот. Так, авторами был разработан и внедрен подобный глушитель для снижения шума выхлопа бокса испытаний дизелей. Глушитель состоит

(рис. 107, *в*) из концентрично расположенных резонаторов *1*, рассчитанных на низкие частоты, и цилиндрических звукопоглотителей *2*, размещенных внутри выхлопной трубы и предназначенных для снижения средне- и высокочастотного шума. Установка глушителя позволила снизить шум в жилой застройке до нормативных величин.

Для систем сброса сжатого воздуха в атмосферу применяют глушители (рис. 108), в которых звук с потоком воздуха проходит через слой пористого материала. Так, в компрессорных уста-

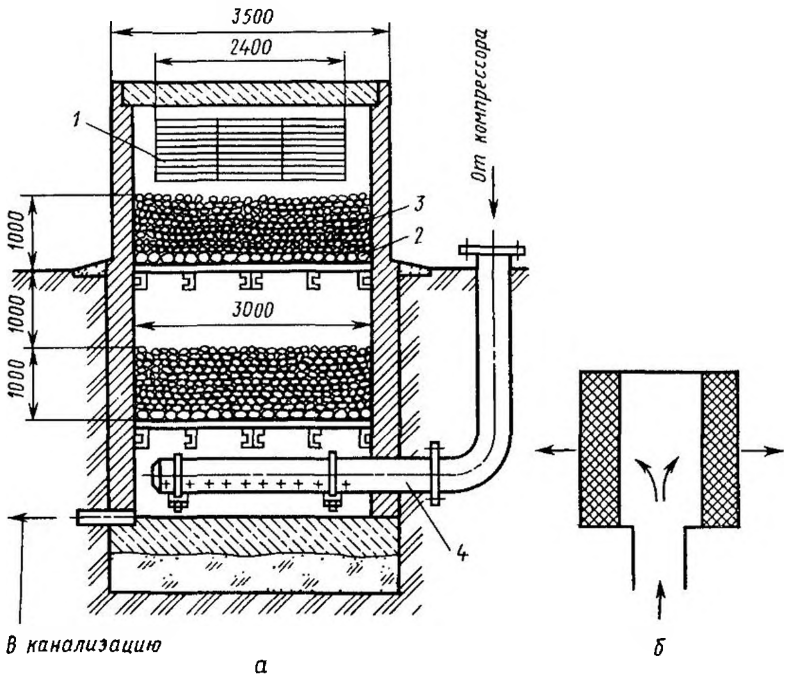

Рис. 108. Глушители для систем сброса сжатого воздуха в атмосферу

новках используют гравий или щебень (*а*), в системах сброса небольших количеств воздуха — проницаемые материалы типа металлокерамики, металлических сеток, пенопласта (*б*), а также перфорированные металлические листы в виде насадок в сочетании с элементами абсорбционных глушителей. Снижение шума в пористых материалах при прохождении через них воздушного потока происходит главным образом за счет потерь звуковой энергии на трение (в порах, узких каналах и т. п.) и отражения звука от слоя материала обратно к источнику. Такие глушители имеют достаточно высокое аэродинамическое сопротивление, по-

этому их применяют лишь в установках, где противодавление глушителя не приводит к недопустимому удлинению времени сброса воздуха.

§ 34. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАЗВУКА И ВИБРАЦИЙ

Нормирование инфразвука в окружающей среде производят по санитарным нормам СанНиП 42-128-4948—89.

Нормируемыми параметрами постоянного инфразвука на территории жилой застройки являются уровни звукового давления L, значения которых в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16; 31,5 Гц не должны превышать 90 дБ, а в $^1/_3$-октавных полосах со среднегеометрическими частотами 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 Гц, уровни звукового давления не должны превышать 80 дБ (внутри здания уровень инфразвука не нормируется).

Нормируемыми параметрами непостоянного инфразвука являются эквивалентные (по энергии) уровни звукового давления L в октавных или $^1/_3$-октавных полосах со среднегеометрическими частотами, указанными выше.

Для ориентировочной оценки уровня инфразвука можно использовать значение общего уровня звукового давления по шкале «Линейная» и значение уровня звука, определяемое по шкале А шумомеров 0-го и 1-го классов. Степень выраженности инфразвука определяется по разности $L_{лин}—L_A$: 6—10 дБ — признаки наличия инфразвука; 11—20 дБ — умеренно выражен; 21—30 дБ — выражен; более 30 дБ — значительный.

Методы и средства защиты от инфразвука

Средства защиты от инфразвука в значительной мере отличаются от применяемых для борьбы с шумом. Это связано с особенностями физических характеристик инфразвуковых колебаний, в частности со значительно большей длиной волн инфразвука по сравнению с размером препятствий на пути их распространения.

Снижение интенсивности инфразвука может быть достигнуто изменением режима работы устройства или его конструкции; звукоизоляцией источника; поглощением звуковой энергии при помощи глушителей шума интерференционного, камерного, резонансного и динамического типов, а также за счет использования механического преобразователя частоты.

Защита от вредного воздействия инфразвука расстоянием малоэффективна, так как поглощение в нижних слоях атмосферы инфразвуковых колебаний с частотой ниже 10 Гц не превышает $8 \cdot 10^{-6}$ дБ/км.

Борьбу с инфразвуком в источнике его возникновения необхо-

димо вести прежде всего в направлении изменения режима работы технологического оборудования (например, увеличение числа рабочих ходов n кузнечно-прессовых машин), чтобы основная частота следования силовых импульсов $f=n/60$ лежала за пределами инфразвукового диапазона. Одновременно должны приниматься меры по снижению интенсивности аэродинамических процессов, в частности по ограничению скоростей движения транспорта и уменьшению скоростей истечения паров и газов сжатого воздуха в атмосферу. При выборе конструкции предпочтение отдают малогабаритным машинам достаточной жесткости, поскольку в конструкциях с плоскими поверхностями большой площади и малой жесткости создаются условия для генерации инфразвука.

Для уменьшения инфразвуковых колебаний целесообразно использовать глушители шума, что является наиболее простым способом уменьшения уровня инфразвуковых составляющих шума всасывания и выхлопа стационарных дизельных и компрессорных установок, ДВС и турбин [38].

Применение глушителей интерференционного типа более эффективно, когда требуется заглушить одну или несколько дискретных составляющих в спектре инфразвука, особенно в случае его распространения по каналам.

Для смещения волны по фазе в воздуховодах устраивают боковой отвод, длина которого должна быть $(\lambda/2)a$, где λ — длина заглушаемой инфразвуковой волны; $a=1, 3, 5$.

Глушители камерного или резонансного типа работают на тех же принципах, что и аналогичные глушители шума. Однако в случае инфразвуковых колебаний они должны иметь весьма большой объем расширительной камеры, или резонансной полости. На рис. 109 представлена схема двухкамерного кольцевого глушителя, использование которого на всасывающем тракте позволило резко снизить уровень инфразвуковых составляющих компрессора (рис. 109, *б*). Сравнение спектров шума компрессора до и после установки глушителя показывает, что его эффективность составляет более 10 дБ во всем рассматриваемом диапазоне частот [37].

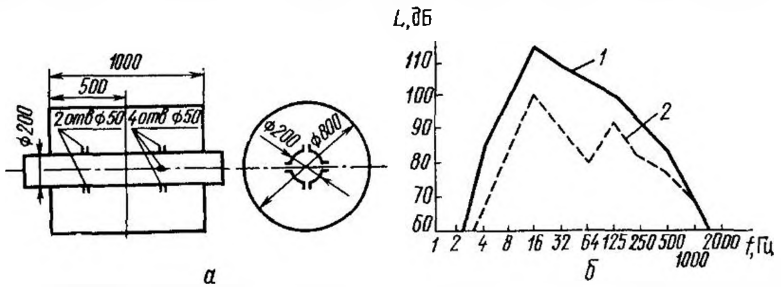

Рис. 109. Схема двухкамерного кольцевого глушителя инфразвука (*а*) и спектры инфразвука компрессора ВП-20/10М (*б*):
спектр инфразвука до (*1*) и после (*2*) установки глушителя

Механический преобразователь частоты инфразвуковых колебаний, основанный на амплитудной модуляции звуковых колебаний, применяют для защиты от инфразвука, распространяющегося по закрытому каналу, например в выхлопных трубах ДВС, аэродинамических трубах при испытаниях авиационных двигателей. Модуляция инфразвуковых колебаний осуществляется посредством аэродинамического преобразователя (например, ультразвуковой сирены), установленного на пути распространения инфразвуковых волн. Это позволяет преобразовывать инфразвуковые колебания в менее опасные ультразвуковые. Амплитуда несущего колебания может быть изменена соответствующим изменением частот модулирующего сигнала во времени.

Применение звукоизоляции инфразвука на практике представляет достаточно сложную инженерную задачу, так как требует весьма мощные строительные конструкции с массой одного квадратного метра не менее 10^5—10^6 кг. На рис. 110 представлены спектры уровня инфразвука от оборудования цеха, замеренные в квартирах первого этажа четырехэтажного панельного дома, имеющего двойные деревянные переплеты окон (спектр *1* соответствует измерению инфразвука в квартире с открытыми окнами, спектр *2* — с закрытыми). В этом случае эффект звукоизоляции в инфразвуковом диапазоне частот полностью отсутствует.

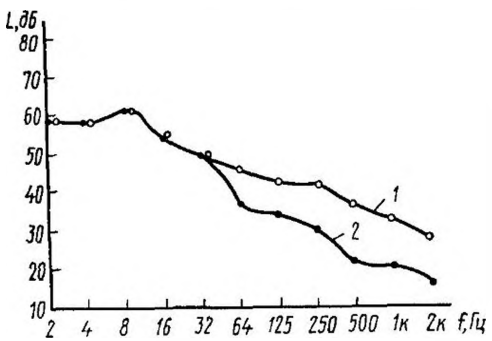

Рис. 110. Спектры инфразвука оборудования цеха по производству асфальта

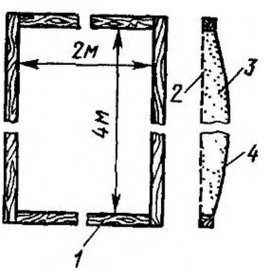

Рис. 111 Резонирующие панели Бекеши

1 — рама-каркас; *2* — металлическая сетка; *3* — звукопоглотитель; *4* — аперетированный холст

Метод звукопоглощения может быть реализован применительно к инфразвуковым колебаниям при использовании резонирующих панелей типа конструкций Бекеши (рис. 111), представляющих собой прямоугольные рамы, на которые крепится тонкостенная мембрана. Последняя может быть выполнена из металла, фанеры либо воздухонепроницаемой пленки (например, холста, по-

крытого лаком или подобным ему материалом). Монтаж указанной конструкции в помещениях с источниками инфразвука способствует поглощению его энергии. Конструкция может быть настроена на определенную частоту в спектре инфразвука. Собственную частоту резонатора Бекеши f_0, Гц, определяют по уравнению

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c^2\rho}{mh}},$$

где c — скорость распространения звука; ρ — плотность воздуха; m — масса, приходящаяся на единицу поверхности мембраны; h — толщина воздушного промежутка за мембраной.

Для повышения эффективности рассматриваемых конструкций в диапазоне более высоких частот внутренняя полость резонатора заполняется звукопоглощающим материалом, который фиксируется мелкоячеистой сеткой [8].

Допустимые уровни вибрации в жилых домах, условия и правила их измерения и оценки регламентируются «Санитарными нормами допустимых вибраций в жилых домах» № 1304—75, утвержденными Министерством здравоохранения СССР в 1975 г. Эти нормы обязательны для всех министерств, ведомств и организаций, проектирующих, изготовляющих и эксплуатирующих оборудование, являющееся источником инфразвука.

Основные нормируемые параметры вибрации — среднеквадратичные величины L_V (дБ) уровней виброскорости (виброускорения или вибросмещения) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц, выраженные в виде

$$L_V = 20\lg(V/V_0),$$

где V — среднеквадратичная виброскорость, м/с; V_0 — пороговая виброскорость, равная $5\cdot10^{-8}$ м/с. Пороговые величины виброускорения и вибросмещения соответственно равны $3\cdot10^{-4}$ м/с^2 и $8\cdot10^{-12}$ м. Допустимые значения уровней вибрации в вертикальном или горизонтальном направлении в жилых помещениях приведены ниже:

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровни виброскорости, дБ	79	73	67	67	67	67
Уровни виброускорения	25	25	25	31	37	43
Уровни вибросмещения	136	121	109	103	97	91

Условия	Поправки, дБ
Вибрация:	
постоянная	0
непостоянная	—10
День (с 7 до 23 ч)	+5
Ночь (с 23 до 7 ч)	0

Суммарная длительность воздействия вибраций в дневное время за наиболее интенсивные 30 мин, %	
56—100	0
18—56	+5
6—18	+10
Менее 6	+15

В нормативные уровни вносят поправки на характер вибрации и длительность ее воздействия, а также время суток. При этом постоянной считают вибрацию, уровень которой при измерении прибором с характеристикой «медленно» в течение не менее 10 мин изменяется на ±3 дБ. Для временных вибраций (например, при проведении строительных работ) допускается в дневное время вводить дополнительную поправку, равную +10 дБ.

Методы и средства защиты от вибраций

Для исключения воздействия вибраций на окружающую среду необходимо принимать меры по их снижению прежде всего в источнике возникновения или, если это невозможно, на путях распространения.

Снижение вибраций в источнике производится как на этапе проектирования, так и при эксплуатации. При создании машин и технологического оборудования предпочтение должно отдаваться кинематическим и технологическим схемам, исключающим или предельно снижающим динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т. п.

Причиной низкочастотных вибраций насосов, компрессоров, двигателей является дисбаланс вращающихся элементов (роторов), вызванный неоднородностью материала конструкции (литейные раковины, шлаковые включения) и неравномерностью его плотности, несимметричным распределением вращающихся масс (начальное искривление валов и роторов), нарушением указанной симметрии крепежными соединениями, неправильным выбором допусков на обработку и рода посадок, а также различием коэффициентов объемного расширения или износостойкости отдельных элементов вращающейся системы. Во всех случаях смещение центра масс относительно оси вращения приводит к возникновению неуравновешенной центробежной силы $F=me\omega^2$, где m — масса вращающейся системы; ω — угловая скорость вращения; e — эксцентриситет (радиус-вектор) центра рассматриваемой массы относительно оси ротора. Действие неуравновешенных динамических сил усугубляется плохим креплением деталей, их износом в процессе эксплуатации.

Для снижения уровня вибраций, возникающих из-за дисбаланса оборудования при монтаже и эксплуатации, должна применяться балансировка неуравновешенных роторов колес лопаточных

машин, валов двигателей и т. п. Требования к балансировке и методы расчета дисбалансов изложены в ГОСТ 22.061—76 «Машины и технологическое оборудование. Системы классов точности балансировки».

В процессе эксплуатации технологического оборудования должны приниматься меры к устранению излишних люфтов и зазоров, что обеспечивается периодическим освидетельствованием источников вибрации — машин и механизмов.

Весьма эффективный метод снижения вибрации в источнике — исключение резонансных режимов работы оборудования. В этом случае даже при малых значениях дисбаланса и относительно небольших возбуждающих воздействиях уровень вибрационных параметров резко возрастает. Для снижения уровня производственных вибраций важно исключить резонансные режимы работы технологического оборудования. При проектировании это достигается выбором рабочих режимов с учетом собственных частот машин и механизмов. В процессе эксплуатации возможно уменьшить жесткость агрегатов, а в некоторых случаях и их массы, что приводит к изменению значения собственных частот. Возможно изменение рабочих режимов оборудования. Все это следует учитывать, если машины и механизмы в процессе эксплуатации со временем становятся источником вибраций.

Учитывая, что собственная частота колебательной системы

$$\omega_0 = \sqrt{b/m},$$

где b и m — соответственно жесткость и масса системы, изменяя любую из этих характеристик, можно исключить режим резонанса.

Если не удается снизить вибрации в источнике возникновения, то применяют методы снижения вибраций на путях распространения, это — виброгашение, виброизоляция или вибродемпфирование.

Виброгашение. Использование этого метода связано с увеличением реактивной части импеданса колебательной системы. Виброгашение реализуется при увеличении эффективной жесткости и массы корпуса машин или станин станков за счет их объединения в единую замкнутую систему с фундаментом с помощью анкерных болтов или цементной подливки. С этой же целью относительно малогабаритное инженерное оборудование жилых зданий (вентиляторы, насосы) устанавливают на опорные плиты и виброгасящие основания (рис. 112). Следует иметь в виду, что колебания сварных фундаментов в ~ 2 раза ниже, чем ленточных. Расчет фундаментных блоков производят по специальным методикам. Проектирование оснований зданий и сооружений ведут в соответствии с руководством см. [23].

Определение амплитуд вынужденных и свободных колебаний фундамента производят в соответствии с указаниями СНиП

2.02 05—87 и учетом типа машин. Расчетную динамическую нагрузку $P_д$ определяют по формуле: $P_д = h\eta P_н$, где h и η — коэффициенты соответственно надежности и динамичности, характерные для каждого типа машин; $P_н$ — нормативное значение динамической нагрузки, соответствующее нормальному эксплуатационному режиму работы машины.

Допустимые значения вибраций определяются условием $A_{max} \leqslant A_{доп}$, где A_{max} — наибольшая амплитуда колебаний фундамента по расчету; $A_{доп}$ — допустимая амплитуда колебаний фундамента в соответствии с указаниями СНиП.

Для машин с кривошипно-шатунными механизмами расчет амплитуд вертикальных колебаний производят по формуле

$$A_{max} = P_{zд}/(b_z - m_\Sigma \omega^2).$$

Здесь $P_{zд}$ — расчетная вертикальная составляющая возмущающих сил машины в соответствии со СНиП 2.02.05—87; m_Σ — суммарная масса машины и фундамента, кг; b_z — коэффициент жесткости основания при упругом равномерном сжатии, $b_z = c_z S$, где S — площадь подошвы фундамента; c_z — коэффициент упругого равно-

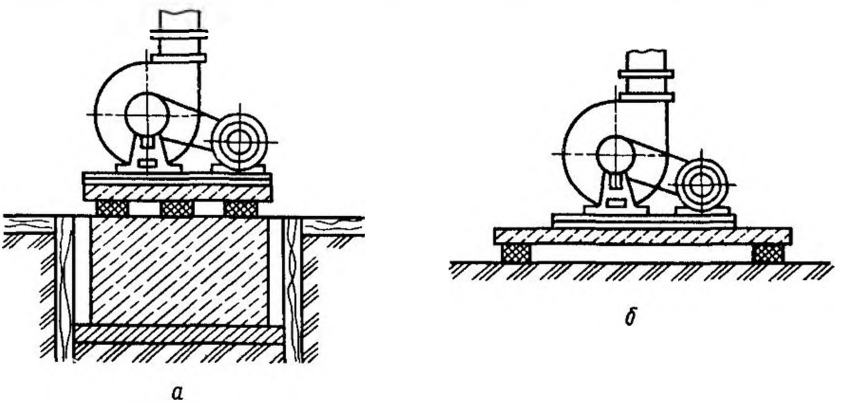

Рис. 112. Установка агрегатов на виброгасящем основании:
а — на фундаменте в грунте, *б* — на перекрытии

мерного сжатия естественного основания, определяемый по результатам исследований. Значение c_z (при отсутствии экспериментальных данных) для наиболее распространенных фундаментов с площадью подошвы S не более 200 м² допускается определять по формуле

$$c_z = b_0 E (1 + \sqrt{S_0/S}),$$

где b_0 — коэффициент, м⁻¹ (принимается равным 1 — для песков; 1,2 — для суспензий и суглинков; 1,5 — для глин и крупнообломочных грунтов); E — модуль деформации грунта в тоннах силы

на 1 м², тс/м², определяемый в соответствии с требованиями СНиП по проектированию оснований зданий и сооружений; S — площадь подошвы фундамента, м²; $S_0 = 10$ м².

Снижение вибраций, создаваемых рельсовым транспортом, обеспечивается укладкой и креплением рельсов на массивные железобетонные шпалы.

Виброизоляция. Методы установки оборудования на фундамент требуют больших затрат времени и приводят к неизбежной порче дорогостоящих покрытий полов. К тому же фундаменты таких машин, как молоты, представляют собой сложные строительные сооружения высотой с трех-, четырехэтажный дом, стоимость которых может на порядок превышать стоимость машины. Поэтому на этапе эксплуатации промышленных комплексов в основном используют установку оборудования без фундамента непосредствен-

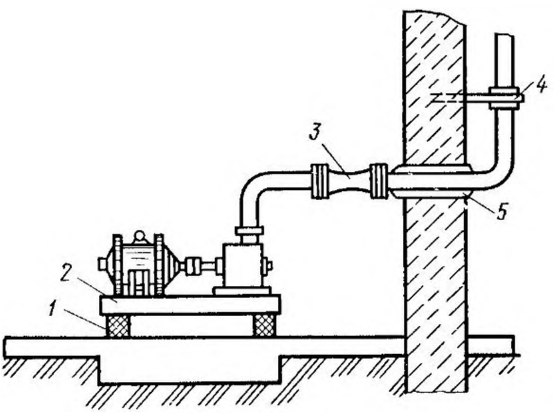

Рис. 113. Виды виброизоляции инженерного оборудования:

1 — упругая прокладка, *2* — железобетонная плита, *3* — вставка (резиновый шланг), *4* — хомут с упругой прокладкой, *5* — упругая прокладка

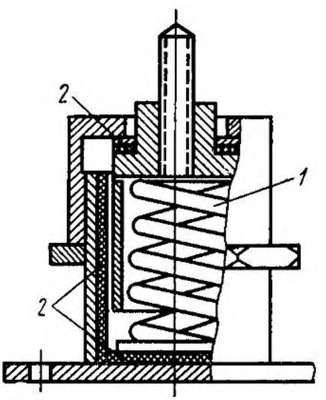

Рис. 114 Комбинированные виброизоляторы:

1 — цилиндрическая пружина; *2* — набор резиновых прокладок

но на виброизолирующих опорах. Такой метод позволяет обеспечить любую степень виброизоляции оборудования. Установка на виброизолирующие опоры технологического и инженерного оборудования удешевляет его монтаж, исключает порчу оборудования и снижает уровень шума, сопутствующий интенсивным вибрациям. Такие опоры могут применяться также и при наличии фундаментов: либо между источником вибраций (машиной) и фундаментом (основанием, опорной плитой), либо между фундаментом и грунтом. Установка виброизоляторов предусматривается также при прокладке воздуховодов систем вентиляции и разного рода

трубопроводов внутри строительных конструкций. Это исключает передачу вибраций от стенок воздуховодов и трубопроводов элементам конструкции зданий. Для ограничения распространения колебаний практикуют разделение инженерных коммуникаций на отдельные участки с помощью специальных гибких вставок. Во всех рассмотренных случаях введение в колебательную систему дополнительной гибкой связи приводит к ослаблению передачи вибрации от источника колебаний (рис. 113).

В качестве виброизоляторов повсеместно используют резиновые или пластмассовые прокладки, одиночные или составные цилиндрические пружины, листовые рессоры, комбинированные виброизоляторы (пружинно-резиновые, пружинно-пластмассовые, пружинно-рессорные) и пневматические виброизоляторы (воздушные подушки). Виброизолирующие резиновые прокладки выполняют обычно со сквозными или полусквозными отверстиями или оребренными, поскольку резина не склонна к объемной деформации.

Цилиндрические пружины и рессоры по сравнению с прокладками более стойки в воздействию агрессивных сред, дольше сохраняют упругие свойства во времени и позволяют изолировать низкочастотные колебания, так как при прочих равных условиях обеспечивают большую статическую осадку. Существенный недостаток цилиндрических пружин — малое снижение высокочастотных вибраций.

Широко используют комбинированные виброизоляторы (рис. 114), состоящие из цилиндрической пружины *1* и набора резиновых прокладок *2*, отделяющих пружину как от опорной поверхности, так и от элементов корпуса виброизолятора. Конструкции такого рода позволяют обеспечить эффективное снижение уровня вибраций в широкой полосе частот. Их применяют для ослабления передачи вибрации большинства видов стационарного и технологического оборудования (станки, насосы, вентиляторы). Для изоляции вибраций инженерного оборудования жилых и административных зданий, как правило, используют пружинные виброизоляторы или резиновые прокладки. Для снижения передачи колебаний, создаваемых рельсовым транспортом, практикуется виброизоляция рельсового пути.

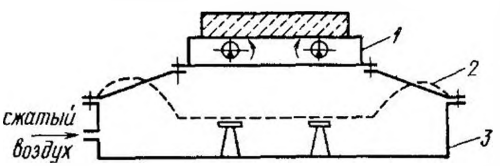

Рис. 115. Схема пневматических виброизоляторов:

1 — виброплатформа, *2* — гибкая резинокордная оболочка, *3* — камера воздушной подушки

Снижение передачи колебаний в 3—4 раза обеспечивают пустотные экраны с дискретными связями между составляющими плитами, устанавливаемые в грунте между рельсовыми путями и фундаментами зданий.

На заводах используют пневматические виброизоляторы типа

воздушных подушек, представляющих собой воздушную полость с давлением порядка $2 \cdot 10^5$ Па, отделяющую вибратор с формуемой деталью от корпуса машины (рис. 115). Это приводит к резкому ослаблению передачи вибраций на основание виброплатформы, грунт и далее на фундаменты рядом расположенных зданий без снижения уровня рабочих параметров вибратора.

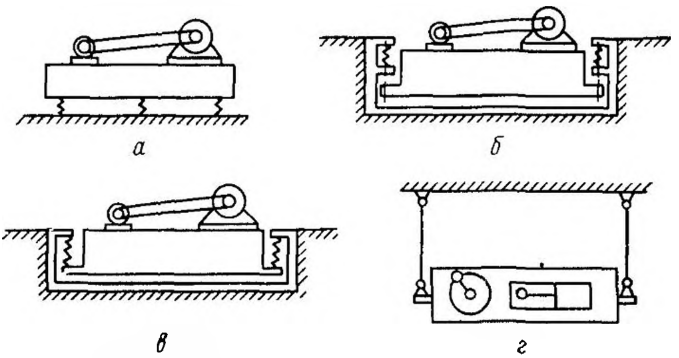

Рис. 116. Схемы виброизоляции оборудования

Виброизоляция машин и оборудования от основания (фундамент) может быть осуществлена в двух вариантах. «Опорный» вариант предусматривает установку виброизолятора между машиной и основанием (рис. 116, *а—г*). «Подвесной» вариант (рис. 116, *б—г*) используют, когда изолируемый объект подвешивается на виброизоляторах, закрепленных выше подошвы фундамента, которые в отличие от первого случая работают уже не на сжатие и на растяжение. По опорному варианту выполняется виброизоляция большинства видов стационарного технологического оборудования предприятий и инженерного оборудования жилых и общественных зданий.

На схемах рис. 117 представлены варианты виброизоляций под молоты. Различие между схемами *а* и *б* состоит в том, что в схеме *а* (опорный вариант) фундамент *1* установлен на виброизоляторы *3*, расположенные по его периметру; в схеме *б* (опорный вариант) — на виброизоляторы с рядным расположением, в схеме *в* (подвесной вариант) фундаментный блок *1* удерживается с помощью короба и подвесных стержней *7*, концы которых опираются на виброизоляторы.

Во всех рассмотренных случаях фундамент углублен в грунт, поэтому предусмотрено устройство ограждающего короба, внутри которого размещаются фундаментный блок и виброизоляторы. Нужно отметить, что фундаментный блок под виброизолируемой машиной устраивают в следующих случаях: корпус машины имеет недостаточную жесткость; размещение виброизоляторов непо-

средственно под корпусом машины встречает конструктивные затруднения; изолируется агрегат, состоящий из отдельных машин, установленных на отдельных фундаментных блоках; требуется увеличить массу изолируемой установки и моменты инерции для уменьшения амплитуды ее вынужденных колебаний. Увеличение массы и моментов инерции позволяет избежать повышения частоты собственных колебаний установки, обусловленного увеличением жесткости виброизоляторов. Кроме того, это способствует устранению недопустимых перекосов установки от временных статических нагрузок и уменьшению амплитуды собственных колебаний установки, вызванных случайными ударами.

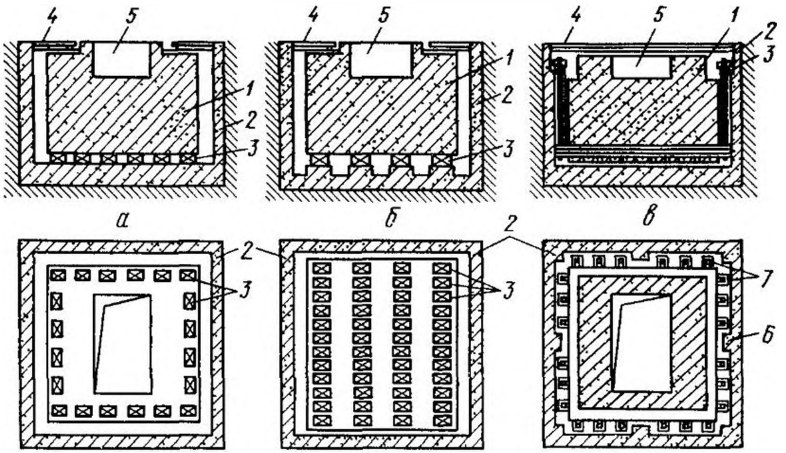

Рис. 117. Схемы виброизоляции молотов:

а, б — опорный вариант; *в* — подвесной вариант; *1* — фундаментный блок; *2* — подфундаментный короб; *3* — виброизоляторы; *4* — настил, *5* — подшаботная выемка, *6* — пилястры, *7* — подвесные стержни

Иногда фундаментные блоки заменяют виброизоляцией специальной конструкции (рис. 118). Здесь в качестве виброизоляторов использованы 12 комплектов семилистовых эллиптических рессор Галахова, расположенных в двух поясах по высоте подшаботной ямы (опорно-подвесной вариант). Шабот *1* опирается на рессоры *2* через переходную раму *3*. Вертикальность перемещения шабота при ударах, создающих дополнительный опрокидывающий момент, обеспечивается шестью роликовыми направляющими, установленными в раме перекрытия подшаботной ямы. Использование этой конструкции позволяет снизить виброускорение в близлежащих жилых домах в 20—30 раз.

Разработаны рессорные подвесные виброизолированные фундаменты для штамповочных молотов (М 210, М 211, М 212, КРН-800 и КРН-1250). В этой конструкции фундамента (рис.

119) шабот *1* молота устанавливается на две балки *2*, изготовленные из двутавров; балки вывешены на шпильках, которые на нижнем конце имеют специальные гайки *3*, находящиеся в замках *4*. Шпилька на верхнем конце имеет гайку, опирающуюся на поперечину *9*. Для предотвращения самопроизвольного отвинчивания гайка фиксируется шайбой. Рессоры фиксируются в попере-

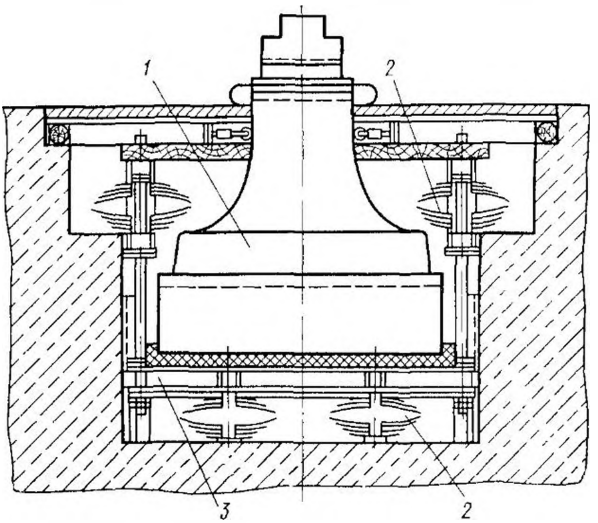

Рис. 118. Подшаботная виброизоляция на невиброизолированном фундаменте

чинах с помощью специальных гнезд и своими концами вставляются в пазы плит *8*, приваренных к подкладкам *5*. Подкладки при установке заливаются в тумбы фундамента *6*. В рабочем положении фундамент должен быть закрыт настилом *7*. Для предотвращения смещений молота по балкам предусмотрены шпонки, приваренные к балкам и заходящие в пазы шабота *1*.

Рассмотренная конструкция позволяет устанавливать молоты на существующем фундаменте. Рессорные подвесные виброизолированные фундаменты имеют следующие преимущества перед фундаментами, располагаемыми непосредственно на грунте: динамическая нагрузка на грунт снижается в 4—5 раз, а по сравнению с «жестким» фундаментом — в 25—30 раз; затухание колебаний, совершаемых молотом после удара, происходит за один цикл; размеры фундаментов в плане не выходят за пределы существующих. Отсутствие массивного бетонного инерционного фундамента, масса которого в 3—4 раза больше массы молота, приводит к снижению затрат на виброгашение в 8—9 раз по сравнению с затратами по устройству обычного фундамента.

Для исключения передачи вибраций от фундаментов технологического оборудования предприятий в жилую застройку по периметру фундаментов на всю его высоту предусматривают акустические швы с засыпкой какого-либо рыхлого материала, например асбестовой крошки. К мероприятиям аналогичного назначения относят устройства акустических щелей, в которых изолирующей прослойкой служит воздух.

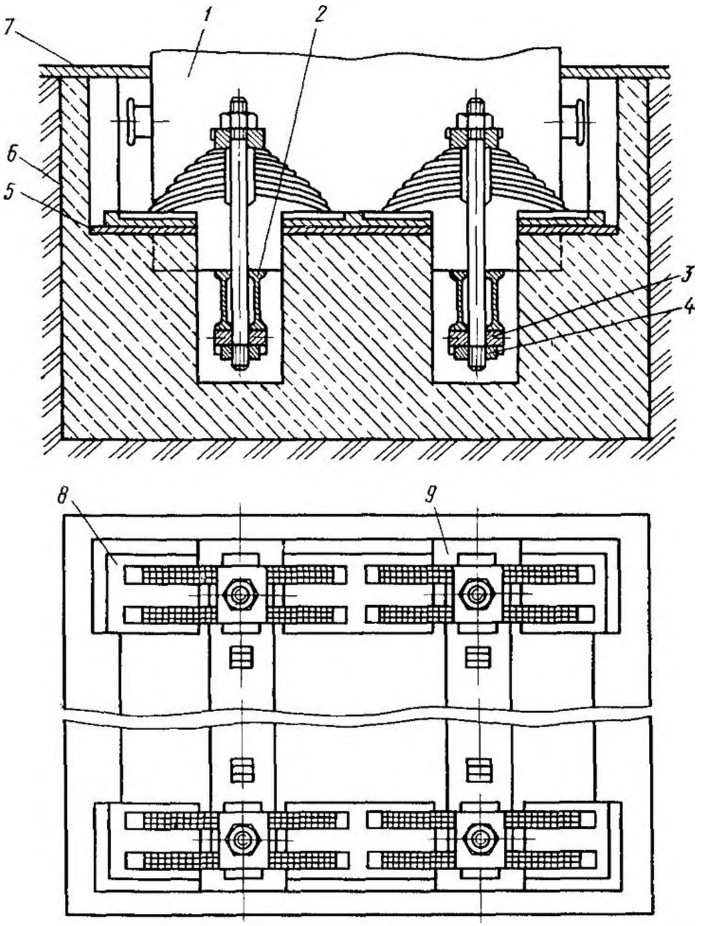

Рис. 119. Рессорные подвесные виброизолированные фундаменты штамповочных молотов

Полы на упругом основании из минераловатных плит или резиновых виброизоляторов позволяют снизить колебания в диапазоне частот 31,5—63 Гц в 1,5—2,5 раза. Большое снижение вибраций достигается в перекрытиях с засыпкой и беспустотным полом.

Эффективность виброизоляции при действии гармонических нагрузок оценивается коэффициентом передачи (КП). При поступательных колебаниях в направлении оси x пространства и вращательных колебаний вокруг этой оси соответствующие коэффициенты передачи определяют по формулам:

$$КП_x = \frac{F_{кx}}{F_x} = \frac{1}{a_x^2 - 1}, \quad КП_{\varphi x} = \frac{M_{кx}}{M_x} = \frac{1}{a_{\varphi x}^2 - 1}, \qquad (43)$$

если $F_{кx}$ и $M_{кx}$ — соответственно амплитуда гармонической силы и гармонического момента относительно оси x, передающиеся через виброизоляторы на опорную конструкцию; F_x, M_x — амплитуды гармонической силы и момента, воздействующих на изолируемую установку; $a_x = \omega_x/\omega_{ox}$, $a_{\varphi x} = \omega/\omega_{o\varphi x}$ — соответственно отношения угловой частоты вынужденных колебаний ω_x к угловой частоте ω_{ox} и $\omega_{o\varphi x}$ собственных возвратно-поступательных вращательных колебаний установки относительно той же оси.

Выбор виброизоляции можно вести в определенной последовательности. Выбирают конкретный тип виброизоляторов с известными допустимыми нагрузками и жесткостными характеристиками (например по ГОСТ 17725—81 «Вибрация. Виброизоляторы резиновые. Коврики») и определяют значения собственных частот ω_o виброизолированной установки. Для известных значений частот ω возмущающих сил и моментов рассчитывают (43) соответствующие значения КП и сопоставляют с требуемыми значениями.

Вибродемпфирование. В основе данного метода лежит увеличение активных потерь в колебательных системах. В качестве основной характеристики вибродемпфирования принят коэффициент потерь энергии $\eta = \omega\mu/b$, где ω — угловая частота колебаний; μ — коэффициент вязкого трения; b — жесткость системы. Вибродемпфирование может быть реализовано в машинах с интенсивными динамическими нагрузками применением материалов и большим внутренним трением. чугунов с малым содержанием углерода и кремния, сплавов цветных металлов.

Большие возможности для защиты от вибраций имеют вибродемпфирующие покрытия. Их применяют для снижения колебаний, распространяющихся по трубопроводам и газопроводам компрессорных станций, воздуховодом систем вентиляции административных зданий. Наиболее распространенные виды вибродемпфирующих покрытий представлены в табл. 58.

Снижение уровня вибрации при использовании вибродемпфирования определяется по формуле $\Delta L_v = 20\lg(\eta_2/\eta_1)$, где η_1 и η_2 — коэффициенты потерь до и после вибродемпфирования (чугунов и сталей $\eta = 10^{-3}$—10^{-4}).

В последнее время получили распространение новые типы вибродемпфирующих покрытий — Адем НШ-2, ВМЛ-76 и СКЛ-25.

Таблица 58

Покрытия мастичные	Коэффициент потерь энергии η (для f=1000 Гц)	Покрытия листовые	Коэффициент потерь энергии η (для f=1000 Гц)
Пластик № 378	0,45	Пенопласт ПХВ-Э	0,85
Мастика А-2	0,40	Волосяной войлок	0,23
» ВД-17-58	0,44	Поролон	0,22
» ВД-17-59	0,30	Минераловатная плита	0,04
» ВД-17-63	0,40		
Пластикат «Агат»	0,46	Губчатая резина	0,15
ВПМ 1	0,18	Винипор технический	0,40
ВПМ 2	0,22	Радуга	0,30
Антивибрит М	0,20	Фольгоизол	0,27
Адем-НШ	0,25		

§ 35. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМА, ИНФРАЗВУКА И ВИБРАЦИЙ

Измерения шума на территории жилой и общественной застроек производится в соответствии с ГОСТ 13337—78* (СТ СЭВ 2600—80) на высоте 1,2 м от поверхности земли в точках, расположенных не ближе 2 м от стен зданий, а в самих помещениях (при открытых форточках) — не менее чем в трех точках на высоте 1,2 м, удаленных на 1,2 м и более от стен.

Уровни звукового давления *постоянного* во времени шума измеряют в октавных полосах частот. Определение уровней звука (шумомер включают в положение «медленно») дает возможность только сравнить шум с допустимыми нормами. Знание октавных уровней звукового давления позволяет не только провести такое сравнение, но и грамотно (поскольку известен ей частотный состав) разработать мероприятия по борьбе с шумом.

Измерения уровней звука *непостоянного* шума должны проводиться в течение наиболее шумных 0,5 ч с регистрацией уровней на ленте самописца. Отсчеты со шкалы шумомера берут через короткие интервалы времени ($\sim$5 с), при этом импульсные шумы измеряют в положении «импульс» с отсчетом максимального показания стрелки шумомера. Для измерений шума используют как отечественную, так и зарубежную аппаратуру. Выпускают следующие типы шумомеров: СССР — «Шум-1», ВШВ-0,3, шумомер-спектрометр; ГДР — RFT 00014 (RSM 101), 00017 (PSJ 202), 00018, 00019, 00020, 00023, 00024; Дания — фирмы «Брюль и Кьер» (Б и К) 2203, 2206, 2208, 2209, 2213, 2225, в том числе интегрирующие шумомеры 0026 (RFT) и 2218 (БиК).

Спектрометры и полосовые фильтры: СССР — ИШВ-1, ИШВ-М, ШВК-И, СИ-1, ГДР (RFT) — 01003 (ТОА-101), 01004 (ТОА-111), 02012 (FSP 80), 01016 (OF-101), 01001 (OF-201).

Самописцы уровней: СССР — Н110, ГДР — RFT-02013 (PSG-101), Дания (БиК) 2306, 2307.

В практике измерения шума, особенно непостоянного во времени, могут применяться магнитофоны.

Тракты для измерения инфразвука должны состоять из приборов 0-го и 1-го классов точности: шумомеры от 2 Гц по ГОСТ 17187—81 (СТ СЭВ 1351—78) «Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний» с октавными фильтрами по ГОСТ 17168—82 (СТ СЭВ 1807—79) «Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний».

Для определения *постоянного инфразвука* применяют блок-схему, состоящую из микрофона с предусилителем, измерительного усилителя и низкочастотного анализатора спектра. Дополнительно используют самописцы уровней, цифровые самописцы, анализаторы в реальном времени и т. п.

Эквивалентные уровни *непостоянного инфразвука* определяют посредством предварительной записи сигнала магнитофона с последующей расшифровкой. Блок-схема для записи инфразвука включает микрофон с предусилителем, измерительный усилитель (шумомер) и магнитофон.

Тракт для расшифровки записей, сделанных на магнитную ленту, состоит из воспроизводящего магнитофона, шумомера, октавных или 1/3-октавных фильтров, самописца уровней шума, а при определении эквивалентных уровней инфразвука и низкочастотного шума дополнительно применяют интегрирующий шумомер или дозиметр шума. Эквивалентные уровни инфразвука и низкочастотного шума определяются в октавных или 1/3-октавных полосах.

Лучшей считают измерительную схему, составленную из микрофона 4146, усилителя 2610, блока питания 2807, усилителя, магнитофона 7001 (БиК). Запись колебаний инфразвуковых частот можно осуществлять способом частотной модуляции. Для расшифровки записанного сигнала используют анализаторы типа 2010, 2113, 2120 (БиК).

Для исследовательской работы применяются также самописцы уровней, цифровые самописцы, анализаторы в реальном времени.

Выбор точек измерений проводится в соответствии с ГОСТ 13337—78*. «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий» со следующими изменениями на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, измерение проводится на расстоянии 0,3 м от ограждающих конструкций зданий как со стороны источника инфразвука, так и с противоположной стороны.

Измерение уровня вибраций в октавных полосах со среднегеометрическими значениями от 31,5 до 8000 Гц можно производить той же измерительной аппаратурой, что и шум с заменой микрофона вибродатчиком. При использовании измерительного тракта

применяют акселерометры типа 4332—4336, 4338, 4340 (БиК). Введение в эту измерительную схему интегратора типа ZK-020 позволяет определить не только уровни виброускорения, но и уровни виброскорости и вибросмещения.

При использовании измерительного тракта фирмы «Robotron» в качестве вибропреобразователя используют пьезоэлектрические датчики Д13, Д17. В отечественном виброизмерительном комплексе ВШВ-003 имеют пьезоэлектрические датчики Д13, Д28. Измерения вибраций в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями от 16 Гц и ниже проводят на отечественной низкочастотной виброизмерительной аппаратуре ВМ-1 с фильтрами ФЭ-2, либо на измерительных трактах фирм БиК и «Robotron» при условии замены уже названных октавных фильтров соответственно на фильтры 1614 и OF-201. Возможно также использование анализаторов спектра 2107 (БиК) и Р-80 «Robotron». Для определения сверхнизких уровней низкочастотных вибраций зданий и сооружений используют датчики типа 8306 БиК. Виброизмерительная аппаратура должна отвечать требованиям ГОСТ 20844—87.

Методика измерения вибрации в жилых зданиях установлена рекомендациями Минздрава СССР № 2957—84.

Более подробные характеристики виброакустической аппаратуры приведены в справочной литературе [22, 24].

Предназначенная для измерения аппаратура должна иметь действующие свидетельства о государственной или ведомственной проверке.

Контрольные вопросы

1. Как проводят нормирование постоянного и непостоянного во времени шума? В чем отличие эквивалентного уровня звука $L_{A\,экв}$ от уровня звука L_A?
2. Для чего необходим акустический расчет и какие исходные данные нужны для его выполнения?
3. Что такое требуемое снижение шума и как его определяют для одного или нескольких источников?
4. Назовите необходимые мероприятия по снижению шума в окружающей среде и их физическую сущность.
5. В каких случаях используют средства звукопоглощения и звукоизоляции, в чем их отличие?
6. Дайте классификацию глушителей шума по принципу действия. Какова область применения трубчатых и пластинчатых глушителей?
7. Назовите конструкции глушителей, используемых для систем сброса сжатого воздуха. Какие требования предъявляют к гидравлическому сопротивлению глушителей?
8. Какой тип глушителей шума применяют для снижения инфразвука?
9. Как влияет увеличение жесткости конструкции машины-излучателя на уровень инфразвука?
10. Эффективны ли средства индивидуальной защиты от шума при защите от инфразвука?

11. Какое оборудование машиностроительных заводов является основными источниками вибрации?

12. Как производят виброизоляцию фундаментов машин с динамическими нагрузками?

13. Существует ли связь между снижением логарифмического уровня вибрации и значением коэффициента передачи системы виброизоляции?

14. Как осуществляется снижение вибраций быстроходных лопаточных машин?

ГЛАВА 6
ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

§ 36. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Выбор средств защиты от ЭМП во многом определяется характеристиками источников по частоте. Регламентом радиосвязи, принятым Международным консультативным комитетом (МККР), установлена номенклатура (табл. 59) диапазонов частот (длин волн).

Таблица 59

Номер диапазона*	Диапазон частот (исключая нижний, включая верхний пределы)	Диапазоны длин волн (исключая верхний, включая нижний пределы)	Соответствующее метрическое подразделение
	частоты, f	длины волн, λ	
5**	От 30 до 300 кГц	От 10^4 до 10^3 м	Километровые волны (низкие частоты, НЧ)
6	От 300 до 3000 кГц	От 10^3 до 10^2 м	Гектометровые волны (средние частоты, СЧ)
7	От 3 до 30 МГц	От 10^2 до 10 м	Декаметровые волны (высокие частоты, ВЧ)
8	От 30 до 300 МГц	От 10 до 1 м	Метровые волны (очень высокие частоты, ОВЧ)
9	От 300 до 3000 МГц	От 1 до 0,1 м	Дециметровые волны (ультравысокие частоты, УВЧ)
10	От 3 до 30 ГГц	От 10 до 1 см	Сантиметровые волны (сверхвысокие частоты, СВЧ)
11	От 30 до 300 ГГц	От 1 до 0,1 см	Миллиметровые волны (крайне высокие частоты, КВЧ)

Примечание. * Номера диапазонов частот приведены в соответствии с Регламентом радиосвязи, принятым МККР

** Поддиапазоны № 1—4 к радиочастотному не относятся

У источников ЭМП различают ближнюю (индукции) и дальнюю (излучения) зоны воздействия Ближняя зона реализуется на расстоянии $r \leqslant \lambda/6$, где ЭМП еще не сформировалось; как след-

ствие этого, одна из составляющих поля намного меньше другой. У таких источников ЭМП при воздействии на окружающую среду слабо выражена магнитная составляющая напряженности. Поэтому в 5—8 диапазонах частот ЭМП оценивается электрической составляющей напряженности поля E (В/м). В дальней зоне на расстояниях $r>\lambda/6$ ЭМП сформировалось, и здесь выражены обе его составляющие — электрическая и магнитная, поэтому в 9—11 диапазонах частот ЭМП оценивается поверхностной плотностью потока энергии (ППЭ), выраженной в ваттах на квадратный метр — Вт/м^2 (1 Вт/м^2=0,1 мВт/см^2=100 мкВт/см^2).

При одновременном воздействии нескольких источников суммарное значение параметров ЭМП определяют по формуле

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + \ldots + E_n^2.$$

где E_1, E_2, ... , E_n — напряженности электрического поля, создаваемые каждым передатчиком в контролируемой точке данного диапазона, В/м.

Суммарная ППЭ$_\Sigma$ от n источников на прилегающей территории для 9—11 диапазонов частот равна:

$$ППЭ_\Sigma = ППЭ_1 + ППЭ_2 + \ldots + ППЭ_n.$$

Определение уровней ЭМП средств телевидения и радиовещания производится по указаниям Минздрава № 3850—85. При выборе средств защиты от ЭМП производится сравнение фактических уровней источников с нормативными.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности ЭМП установлены «Санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» № 2971—34. В качестве ПДУ приняты следующие значения напряженности электрического поля, кВ/м: внутри жилых зданий — 0,5; на территории зоны жилой застройки — 1; в населенной местности, вне зоны жилой застройки (земли в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа и сельских населенных пунктов, в пределах черты этих пунктов); на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I—IV категории — 10; в ненаселенной местности (часто посещаемой людьми, доступной для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) — 15; в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на специально выгороженных участках, где доступ населения исключен,— 20.

При напряженности электрического поля выше 1 кВ/м должны приняться меры по исключению воздействия на человека ощутимых электрических разрядов и токов стекания.

В зонах около радиотехнических объектов в основу нормирования положены «Временные санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами» № 2963—84. Эти нормы регламентируют ЭМП телевизионных станций УВЧ диапазона.

В зонах около телевизионных станций СВЧ-диапазона нормирование производится по СН 4262—87.

При наличии нескольких источников излучения, работающих в разных радиочастотных диапазонах, напряженность поля, создаваемая n источниками ВЧ и N источниками СВЧ на границе санитарно-защитной зоны, должна соответствовать следующему требованию:

$$\left(\frac{E_1}{E_{\text{ПДУ}_1}}\right)^2+\left(\frac{E_2}{E_{\text{ПДУ}_2}}\right)^2+\ldots+\left(\frac{E_n}{E_{\text{ПДУ}_n}}\right)^2+$$

$$+\frac{\text{ППЭ}_1}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_1}}+\frac{\text{ППЭ}_2}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_2}}+\ldots+\frac{\text{ППЭ}_n}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_N}}\leqslant 1.$$

Основной способ защиты от ЭМП в окружающей среде — защита расстоянием. В целях соблюдения нормированных ПДУ для ЭМП на селитебной территории планировочные решения при размещении радиотехнических объектов (РТО) выбирают с учетом: мощности передатчиков, характеристики направленности, высоты размещения и конструктивных особенностей антенн, рельефа местности, функционального значения прилегающих территорий, этажности застройки. Площадка РТО оборудуется согласно строительным нормам и правилам, на ее территории не допускается размещение жилых и общественных зданий.

Для защиты населения от воздействия ЭМП, создаваемого РТО, устанавливают при необходимости санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки по СН 245—71.

Санитарно-защитной зоной является площадь, примыкающая к технической территории РТО. Внешняя граница этой зоны определяется на высоте до 2 м от поверхности земли по предельно допустимым уровням ЭМП, приведенным в нормах.

Зоной ограничения застройки является территория, где на высоте более 2 м от поверхности земли превышается ПДУ, приведенный в нормах. Внешнюю границу зоны ограничений определяют по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на уровне верхнего этажа которых ПДУ электромагнитного поля не превышает нормы.

Размеры санитарно-защитной зоны и зоны ограничений устанавливают в соответствии с методиками, изложенными в приложении правил СН 2963—84, а границы этих зон при приемке объекта в эксплуатацию уточняют на основе измерений. Границы

санитарно-защитных зон вдоль трассы ВЛ на населенной местности приведены в табл. 60.

При проектировании жилых и административных зданий, расположенных в зонах действия ЭМП, следует принимать во внимание

Таблица 60

Напряжение ВЛ, кВ	Расстояние от проекции на землю крайних фаз проводов, м	Напряжение ВЛ, кВ	Расстояние от проекции на землю крайних фаз проводов, м
1150 *	300 (55 *)	220	25
750 *	250 (40 *)	110	20
500	150 (30)	35	15
330	75 (20)	До 20	10

* Значения, приведенные в скобках, допускаются в порядке исключения для сельской местности. Необходимо обеспечить ограничение длительности работ и заземление машин, а также провести инструктаж населения.

экранизирующую способность Э (дБ) строительных конструкций:

$$Э = 20 \lg \frac{ППЭ_{пад}}{ППЭ_{втр}},$$

где $ППЭ_{пад}$ и $ППЭ_{втр}$ — соответственно площадь потока энергии на внешней и внутренней поверхностях конструкции.

Ослабление (экранирование) электромагнитных излучений строительными конструкциями приведено в табл. 61.

Таблица 61

Материал и элементы конструкции	Ослабление потока мощности, дБ, при длине волн	
	λ=3 см	λ=10 см
Кирпичная стена толщиной 70 см	21	16
Междуэтажное перекрытие	22	2
Оштукатуренная стена здания	12	8
Окна с двойными рамами	18	7

Материалы стен (в том числе и окрасочные) и перекрытий зданий в различной степени поглощают и отражают электромагнитные волны. Масляная краска, например, создает гладкую поверхность, отражающую до 30% электромагнитной энергии сантиметрового диапазона. Известковые покрытия имеют малую отражательную способность, поэтому для уменьшения отражения потолок целесообразно покрывать известковой или меловой краской.

Для защиты от электрических полей промышленной частоты необходимо увеличивать высоту подвеса фазных проводов ВЛ, уменьшать расстояние между ними и т. д. При правильном подборе геометрических параметров можно в 1,6—1,8 раз снизить напряженность поля вблизи ВЛ. Напряженность ЭМП может быть уменьшена удалением жилой застройки от ВЛ, применением экранирующих устройств и других средств снижения напряженности электрического поля.

Машины и механизмы на пневматическом ходу, находящиеся в санитарно-защитных зонах ВЛ, должны быть заземлены. В качестве заземлителя допускается использовать металлическую цепь, соединенную с рамой или кузовом и касающуюся земли.

Напряженность электрического поля в зданиях, оставляемых в санитарно-защитных зонах ВЛ напряжением 330—500 кВ и имеющих неметаллическую кровлю, может быть снижена установкой заземленной металлической сетки на крыше этих зданий (заземлять сетку нужно в двух местах). Металлические кровли должны быть заземлены не менее чем в двух местах, сопротивление заземления не нормируется. На открытых территориях, расположенных в этих зонах, напряженность электрического поля можно снизить установкой экранирующих перегородок (железобетонных заборов, тросовых экранирующих устройств) или посадкой деревьев и кустарника высотой не менее 2 м.

При проведении строительно-монтажных работ в санитарно-защитных зонах ВЛ необходимо заземлить протяженные металлические объекты (трубопроводы, кабели, провода линий связи и пр.) не менее чем в двух точках. Сопротивление заземления не нормируется.

В период проведения сельскохозяйственных и других работ вблизи ВЛ лица, ответственные за их осуществление, должны проводить инструктаж с работающими и обеспечивать выполнение мер защиты от воздействия ЭМП, регламентируемых Санитарными нормами и правилами.

На территории санитарно-защитных зон ВЛ напряжением 750 кВ и выше запрещается проведение сельскохозяйственных и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

Для ограничения уровня ЭМП, воздействующих на окружающую среду, от промышленных источников могут быть использованы средства, стандартизированные ГОСТ 12.1.006—84 и применяемые для снижения уровня ЭМП непосредственно в цехах предприятий: экранирование оборудования (источника поля), использование поглотителей мощности (специальные облицовки потолка и стен рабочих помещений на основе материалов с большим содержанием углерода). Особенно важен для снижения излучаемой мощности поля правильный выбор типа оборудования, генерирующего электромагнитное излучение.

Измерение электрической и магнитной составляющих напряженности ЭМП производят приборами типа ИЭМП. Возможно также использование компараторной приставки УКП с приемником Р-309 или прибора NFM-1 (ГДР). Для измерения плотности потока энергии применяют приборы ПЗ-9, ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 и радар-тестеры ГК 4-14 и ГК 4-3А.

Оценку напряженности постоянных магнитных полей производят микровиброметром, с помощью которого измеряют величину магнитного потока Φ, и, зная площадь поперечного S сечения катушки прибора, определяют магнитную индукцию $B (B=\Phi/S)$, значение которой для воздушной среды численно равно напряженности поля E.

Измерения уровней ЭМП должны производить:

— при приемке в эксплуатацию новых или реконструированных объектов (источников ЭМП) (измерения производят владельцы этих объектов с участием представителей органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы);

— при приемке в эксплуатацию общественных зданий и сооружений, расположенных на территории, прилегающей к источникам ЭМП (измерения производят представители органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы с участием представителей владельца указанного объекта);

— в порядке текущего санитарного надзора (измерения производят представители органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы с участием представителей владельца источника ЭМП).

Уровни ЭМП, создаваемые радиолокационными средствами, определяются по методикам, утвержденным Министерством здравоохранения СССР и изложенным в следующих документах: «Методические указания по определению плотности потока энергии электромагнитного поля, размеров санитарно-защитных зон и размещению метеорологических радиолокаторов» 1910—77; «Методические указания по определению уровней электромагнитного поля и гигиенические требования к размещению ОВЧ, УВЧ и СВЧ радиотехнических средств гражданской авиации» № 2284—81.

§ 37. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Допустимые уровни воздействия антропогенных источников ионизирующих излучений (без учета доз, получаемых от естественного фонового облучения и медицинского обследования) на население и окружающую среду определены нормами радиационной безопасности НРБ-76/87. В соответствии с этими нормами лица, не работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений, делят на две категории:

— ограниченная часть населения (категория Б), которая по

условиям проживания или размещения рабочих мест может подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и (или) удаляемых во внешнюю среду;

— население области, края, республики, страны (категория В).

Для категории Б нормами определен предел дозы (ПД) облучения за календарный год:

Группа критических органов*	I	II	III
Предел дозы, Зв/год	0,005	0,015	0,03

Соблюдение ПД достигается регламентацией и контролем допустимых уровней, установленных НРБ-76/87.

При внутреннем облучении: предел годового поступления (ПГП) радионуклида через органы дыхания и пищеварения, допустимая объемная концентрация ($ДК_Б$) радионуклида в атмосферном воздухе и в воде.

При внешнем облучении: допустимая мощность дозы ($ДМД_Б$), допустимая плотность потока частиц ($ДПП_Б$), допустимое загрязнение поверхностей ($ДЗ_Б$).

$ДК_Б$ рассчитывают как отношение ПГП радиоактивного вещества к объему воды или воздуха, с которым оно поступает в организм человека в течение года. Для категории Б объем воздуха — $7{,}3 \cdot 10^6$ л/год; воды — 800 л/год. Значение ПГП и $ДК_Б$ некоторых радиоактивных веществ даны в табл. 62, а значения $ДК_Б$ радиоактивных инертных газов в атмосферном воздухе приведены ниже:

Радионуклид	$ДК_Б$, Бк/л
^{41}Ar	1,81
^{85}Kr	96,2
^{85m}Kr	14,8
^{87}Kr	3,0
^{88}Kr	1,15
^{89}Kr	1,1
^{133}Xe	51,8
^{133m}Xe	62,9
^{135}Xe	9,25
^{135m}Xe	5,18
^{137}Xe	7,77
^{138}Xe	2,15

Значения ПГП через органы дыхания и $ДК_Б$ в атмосфере смеси радионуклидов неизвестного состава соответственно составляют 3,7 Бк/год и $3{,}7 \cdot 10^{-7}$ Бк/л.

---

* Группы критических органов: I — все тело, гонады и красный костный мозг; II — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к I и III группам; III — кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Таблица 62

Радионуклид, период полураспада	ПГП в организм, Бк/год		ДК$_Б$ радионуклида, Бк/л	
	через органы дыхания	через органы пищеварения	в атмосфере	в воде
Тритий ^3T 12,35 года	$7,4 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	11,1	$1,48 \cdot 10^5$
Углерод ^{14}C 5730 лет	$3,22 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^7$	4,44	$3,03 \cdot 10^3$
Кобальт ^{60}Co 5,271 года	$8,14 \cdot 10^4$	—	$1,11 \cdot 10^{-2}$	—
Стронций ^{89}Sr 50,5 сут	$2,55 \cdot 10^5$	$3,55 \cdot 10^5$	$3,48 \cdot 10^{-2}$	$4,44 \cdot 10^2$
Стронций ^{90}Sr 28,6 года	$1,07 \cdot 10^4$	$1,18 \cdot 10^4$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	1,48
Цирконий ^{95}Zr 63,98 сут	$2,96 \cdot 10^5$	—	$4,07 \cdot 10^{-2}$	—
Ниобий ^{95}Nb 35,15 сут	$9,25 \cdot 10^5$	—	$1,26 \cdot 10^{-1}$	—
Иод ^{131}I 8,04 сут	$3,7 \cdot 10^4$	$2,96 \cdot 10^4$	$5,55 \cdot 19^{-3}$	37
Цезий ^{134}Ce 2,07 года	$1,18 \cdot 10^5$	—	$1,63 \cdot 10^{-2}$	—
Радий ^{226}Ra 1600 лет	$2,29 \cdot 10^2$	—	$3,15 \cdot 10^{-5}$	—
Уран ^{238}U $4,468 \cdot 10^9$ лет	$0,67 \cdot 10^2$	$1,74 \cdot 10^4$	$8,14 \cdot 10^{-5}$	—

Значения ПГП через органы пищеварения и ДК$_Б$ в воде смеси радионуклидов неизвестного состава соответственно составляют: $1,11 \cdot 10^3$ Бк/год и 1,11 Бк/л.

При внешнем облучении всего тела ДМД$_Б$, представляющая собой отношение ПД за год ко времени облучения, составляет: 2,4 мкЗв/ч — для помещений учреждения и на территории санитарно-защитной зоны; 0,6 мкЗв/ч — для жилых помещений и на территории в пределах зоны наблюдения.

В расчетах время пребывания в санитарно-защитной зоне принимают равным 2000 ч/год, а в зоне наблюдения — 8000 ч/год.

ДПП$_Б$ частиц, при которой создается допустимая мощность дозы, определяется по формуле

$$ДПП_Б = 2,8 \cdot 10^{-7}\ ДМД_Б / h_м \text{ частиц/(см}^2 \cdot \text{с)}.$$

Здесь $h_м$ — удельная максимальная эквивалентная доза (Зв·см^2/частиц), значения которой для различных видов излучений приведены в НРБ-76/87. Для γ-излучения:

Энергия фотонов, МэВ	$h_м$, Зв см²/фотон	Энергия фотонов, МэВ	$h_м$, Зв·см²/фотон
$5\cdot10^{-3}$	$6{,}5\cdot10^{-11}$	50	$9{,}9\cdot10^{-11}$
$5\cdot10^{-2}$	$5{,}2\cdot10^{-13}$	$5\cdot10^{2}$	$4{,}7\cdot10^{-10}$
$5\cdot10^{-1}$	$2{,}6\cdot10^{-12}$	$5\cdot10^{3}$	$7{,}1\cdot10^{-10}$
5	$1{,}6\cdot10^{-11}$		

В реальных условиях на человека могут воздействовать несколько радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений, создавая при этом внешнее и внутреннее облучение. При совместном действии внешнего и внутреннего облучения для каждого критического органа должно соблюдаться условие:

$$\frac{H_{м_\Sigma}}{ПД} + \sum_j \frac{П_j}{ПГП_j} + \sum_k \frac{П_k}{ПГП_k} \leqslant 1;$$

$$\frac{\dot{H}_{м_\Sigma}}{ДМЛ_Б} + \sum_j \frac{c_j}{ДК_{Б_j}} + \sum_k \frac{c_k}{ДК_{Б_k}} \leqslant 1,$$

$\dot{H}_{м_\Sigma}$ — среднегодовая мощность максимальной эквивалентной дозы $H_{м_\Sigma}$; c_j — среднегодовая концентрация j-го радионуклида в воздухе зоны; c_k — среднегодовая концентрация k-го радионуклида в рационе; $П_j$ — среднегодовое поступление j-го радионуклида в органы дыхания; $П_k$ — среднегодовое поступление k-го радионуклида с рационом.

Регламентация и контроль облучения населения категории В и окружающей среды относятся к компетенции Минздрава СССР.

Воздействие фонового ионизирующего излучения от естественных источников, а также излучения при медицинских процедурах, от телевизоров и т. п. в НРБ-76/87 не учтены и их следует рассматривать как дополнительные нагрузки.

При возникновении аварийных ситуаций однократное внешнее переоблучение человека при дозе свыше 5 ПДД (ПДД — предельно допустимая доза, см. НРБ-76/87) или однократное поступление в организм радионуклидов свыше 5 ПДП (предел допустимого поступления, см. НРБ-76/87) должно рассматриваться как потенциально опасное. После такого воздействия необходимо медицинское освидетельствование.

Основными мероприятиями по защите населения (категории Б и В) от ионизирующих излучений является всемерное ограничение поступления в окружающую атмосферу, воду, почву отходов производства, содержащих радионуклиды, а также зонирование территорий вне промышленного предприятия. В случае необходимости создают санитарно-защитную зону и зону наблюдения.

Санитарно-защитная зона — территория вокруг учреждения или источника радиоактивных выбросов, на которой уровень облучения может превышать ПД. Критерием для определения размеров санитарно-защитной зоны служат пределы годового поступления радиоактивных веществ через органы дыхания и пищеварения и ПД внешнего излучения для категории Б, а также $ДК_Б$ радиоактивных веществ в атмосфере и воде. В этой зоне устанавливается режим ограничений и проводится радиационный контроль.

Зона наблюдения — территория, на которой возможно влияние радиоактивных выбросов учреждения и облучение проживающего населения может достигать установленного ПД. На территории зоны наблюдения, размеры которой, как правило, в 3—4 раза больше размеров санитарно-защитной зоны, проводится радиационный контроль.

Для предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики санитарно-защитная зона устанавливается специальными нормативными актами. Минимальное расстояние от АТЭЦ и АЭС до городов с населением свыше 10 тыс. жителей составляет [23]:

Численность населения, тыс чел.	Расстояние, км от	
	АТЭЦ	АЭС
100 и более	10	—
300 » »	12	25
500 » »	18	—
1000—2000	25	40

Надзор за дозой облучения и поступлением радионуклидов в организм достигается введением контроля радиационной обстановки по месту проживания. Если по результатам длительного наблюдения установлено, что облучение критических групп органов у лиц категории Б не превышает 0,1 ПД, то радиационный контроль за облучением населения может быть сокращен (необходимо согласование с органами Госсаннадзора СССР) при обязательном сохранении радиационного контроля за источниками выбросов в атмосферу и сбросов в водоемы. Радиационный контроль осуществляют учреждения и предприятия, где проводятся работы с применением радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений.

Защита населения и окружающей среды от действия источников ионизирующих излучений достигается соблюдением требований ОСП-72/87, в которых регламентированы сбор, удаление и обезвреживание твердых и жидких радиоактивных отходов, а также основные положения по проектированию и применению пылегазоочистки вентиляционных и технологических выбросов в атмосферу от содержащихся в них радионуклидов.

Радиоактивные отходы классифицируют по физическому со-

стоянию на пылегазообразные, жидкие и твердые, а по активности — на слабоактивные, среднеактивные и высокоактивные.

Жидкие радиоактивные отходы по удельной активности согласно ОСП-72/87 классифицируют следующим образом:

Категория	Удельная активность, Бк/л	Практика обращения с отходами
Слабоактивные	$<3{,}7\cdot10^5$	Подвергаются очистке и сбрасываются в окружающую среду
Среднеактивные	$3{,}7\cdot10^5$ до $3{,}7\cdot10^{10}$	То же
Высокоактивные	$\geqslant3{,}7\cdot10^{10}$	Направляются на хранение, а после переработки на захоронение

В хозяйственно-бытовую канализацию допускается сброс радиоактивных сточных вод с концентрацией, превышающей $ДК_Б$ для воды не более чем в 10 раз, при условии, что в коллекторе данного предприятия обеспечивается их десятикратное разбавление нерадиоактивными сточными водами, а суммарный сброс радиоактивных веществ в водоем не превышает установленного $ДК_Б$. Допустимые сбросы жидких радиоактивных отходов в поверхностные водоемы устанавливаются по согласованию с органами Госсанпадзора.

Запрещается удаление жидких радиоактивных отходов всех категорий в колодцы, скважины, поглощающие ямы, поля орошения и фильтрации, системы подземного орошения, а также в пруды, озера и водохранилища, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы.

При невозможности разбавления, а также при малых количествах (менее 200 л/сут) жидкие радиоактивные отходы должны собираться в специальные емкости для последующего удаления на пункт захоронения радиоактивных отходов. В учреждениях и на предприятиях, где ежесуточно образуется более 200 л радиоактивных отходов с концентрацией, превышающей 10 $ДК_Б$ для воды, необходимо устраивать специальную канализацию с очистными сооружениями. Система специальной канализации должна предусматривать дезактивацию сточных вод и при возможности их повторное использование в технологических целях.

Для очистки слабоактивных и среднеактивных сбросных вод от радионуклидов применяют различные методы (упаривание, ионный обмен, химические методы). Очистка радиоактивных вод от радионуклидов во многих случаях представляет самостоятельную задачу и требует специального решения [19].

Упрощенные схемы очистки сбросных вод применяют на установках для облучения резины, нефтепродуктов, фторопластов, древесины и т. п., где в качестве облучателя применяют ^{60}Co, который хранят в воде. Осветление воды от микродисперсной взвеси проводят на скорых механических фильтрах, имеющих

целлюлозно-тканевую насадку, а дезактивация вод достигается ионообменными фильтрами из синтетических смол: сильнокислотные (КУ-2-8) и слабоосновные (АН-2ФГ, АН-18-16, АН-31).

Очистка вод в системах охлаждения ускорителей плазменных и магнитных установок заключается в ее дезактивации и отделении от продуктов коррозии. Эта задача решается байпасным включением в схему установки доочистителя, состоящего из механических фильтров (трехслойная фильтрующая ткань, сульфитная целлюлоза, активированный уголь) и фильтров финишной очистки. Фильтроцикл байпасной установки продолжается обычно 1,5—2 года. По истечении этого срока радиоактивные сорбенты вывозят на захоронение.

Твердые радиоактивные отходы согласно ОСП-72/87 считаются радиоактивными, если их удельная активность больше: $7{,}4\times\times10^3$ Бк/кг для источников α-излучения (для трансурановых элементов $3{,}7\cdot10^2$ Бк/кг); $7{,}4\cdot10^4$ Бк/кг для источников β-излучения; $1\cdot10^{-7}$ г-экв·радия/кг для источников γ-излучения.

Если удельная активность твердых отходов ниже приведенных значений, то их удаляют с обычным мусором на захоронение. Если твердые радиоактивные отходы имеют повышенную удельную активность и содержат короткоживущие нуклиды с периодом полураспада менее 15 сут, то перед захоронением их нужно выдерживать в специальных контейнерах до необходимого снижения активности, а затем удалять с обычными отходами.

Сбор твердых радиоактивных отходов в учреждениях и на предприятиях должен проводиться непосредственно на местах их образования отдельно от обычного мусора и раздельно, с учетом их природы (неорганические, органические, биологические); периода полураспада радионуклидов, находящихся в отходах (до 15 сут, более 15 сут); взрывопожароопасности; методов переработки отходов.

Остатки от переработки облученного топлива, источники излучения, ионитные смолы, использованное оборудование и т. п. подлежат захоронению. Фильтры и обтирочный материал нужно предварительно сжигать, а остатки от сжигания подвергать захоронению.

Удаление радиоактивных отходов нужно проводить на специальных пунктах захоронения в контейнерах. Мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от сборника с радиоактивными отходами должна быть не более 0,1 мЗв/ч.

Допустимые уровни загрязнения наружной поверхности транспортных контейнеров β-частицами составляют:

Поверхность	Неснимаемое загрязнение частиц/(см²·мин)
Контейнер	2000
Тара контейнера	200

Транспортировку радиоактивных отходов к местам захоронения осуществляют на специально оборудованных автомашинах с крытым кузовом или цистерной (для жидких отходов). Автомашины и сменные сборники после каждого рейса должны быть дезактивированы.

Для захоронения низкоактивных отходов можно использовать хранилища в виде резервуаров и траншей. Большую опасность представляют средне- и высокоактивные отходы. Обращение с ними предусматривает захоронение их в отвержденном состоянии в подземных хранилищах и шахтах на глубине 300—1000 м. Захоронение высокоактивных отходов в шахтах не всегда возможно, так как отходы выделяют большое количество теплоты, что может приводить к взрывам. Менее опасно захоронение отходов в море на больших глубинах в изолированном виде, требующее предварительной обработки отходов (остекловывание, бетонирование, заключение в высокопрочные контейнеры).

Проблема безопасного удаления и захоронения радиоактивных отходов еще не решена окончательно и требует дальнейшего развития. Более перспективным и разработанным считается метод подземного захоронения между слоями водоупоров и цементной пульпы в расслаивающиеся горные породы.

МАГАТЭ рекомендует [19] классифицировать радиоактивные пылегазообразные отходы по активности следующим образом:

	Удельная активность, Бк/м^3	Практика обращения с отходами
Слабоактивные (низкоактивные)	$\leqslant 3{,}7$	Очистке не подвергаются
Среднеактивные	$3{,}7—3{,}7\cdot10^4$	Подвергаются очистке фильтрованием перед выбросом в атмосферу
Высокоактивные	$>3{,}7\cdot10^4$	Подвергаются очистке

Пылегазовые выбросы, относящиеся к категории низкоактивных (обычно вентиляционные выбросы), выбрасывают в окружающую среду через трубы и рассеивают. При этом высота трубы и условия выброса должны гарантировать соблюдение $ДК_б$ на местности в зоне наблюдения и вне ее. ОСП-72/87 разрешается удалять вентиляционный воздух без очистки, если его объемная активность на выбросе не превышает допустимой для воздуха рабочих помещений, а суммарный выброс за год не создает условий для превышения предела дозы, установленного НРБ-76/87.

Для очистки пылегазовых выбросов от радиоактивных аэрозолей применяют пылеуловители всех типов. Для улавливания высокодисперсных частиц широко применяют фильтры различных конструкций с фильтроэлементами из материала ФПП. Технические характеристики и конструкции фильтров см. [19].

При обработке высокоактивных пылегазовых отходов необходимо повышать концентрацию в них радионуклидов и отправлять

на хранение и захоронение. Этот способ обработки применим и для радионуклидов, имеющих большие периоды полураспада.

Для освобождения вентиляционных выбросов и технологических сдувок от радиоактивных инертных (изотопы криптона, ксенона, а также аргон-41) газов (РИГ) применяют адсорбционные колонны или газгольдеры. Если необходима ограниченная (эффективность 0,8—0,9) очистка выбросов от радиоактивных инертных газов, то используют газгольдеры. Принцип работы газгольдера основан на том, что короткоживущие радионуклиды (период полураспада $T_{1/2}$, ч: ^{41}Ar — 1,82; ^{77}Kr — 1,14; ^{88}Kr — 2,77) за время пребывания в нем снижают свою активность за счет радиоактивного распада. Расчет газгольдера начинают с определения времени нахождения газа в газгольдере, т. е. времени выдержки τ по формуле $A_к = A_н \exp(-0{,}693\tau/T_{1/2})$, где $A_к$ и $A_н$ — конечная и начальная активности вещества.

Обычно в расчетах задается отношение $A_н/A_к$, а время выдержки находят по формуле

$$\alpha = 2{,}3\,\frac{A_н}{A_к}\,\frac{T_{1/2}}{0{,}693}.$$

По объемному расходу Q поступающих в газгольдер РИГ определяют: объем газгольдера $V_г = Q\tau$; длину и площадь поперечного сечения назначают по конструктивным соображениям, полагая скорость движения РИГ в газгольдере $\sim$0,3 м/с.

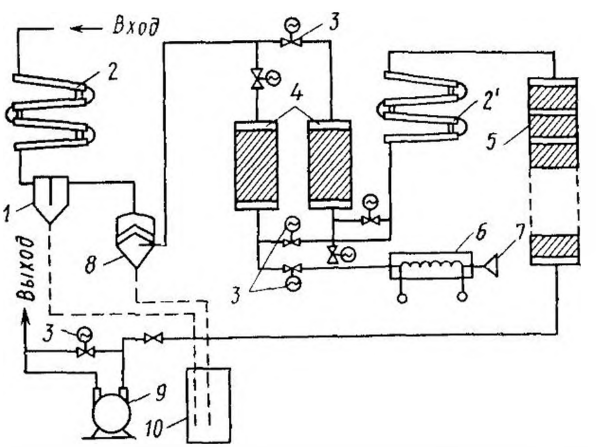

Рис. 120. Схема адсорбции радиоактивных инертных газов (РИГ)

Адсорбционные колонны применяют для высокоэффективной (свыше 0,99) очистки выбросов от РИГ. Схема установки для адсорбции РИГ показана на рис. 120. Очищаемый газ подают для

охлаждения к теплообменнику *2*, а затем к сепаратору влаги *1* и аэрозольному фильтру *8*. После фильтра газы поступают в цеолитовые колонны *4* для глубокой осушки до содержания влаги, соответствующего содержанию насыщенных водяных паров при температуре адсорбции. Поскольку процесс осушки идет с выделением теплоты, то после колонн газ сначала подается к теплообменнику *2'*, а затем к угольному адсорберу *5*. Движение газа в установке обеспечивает воздуходувка *9*, регулирование расхода в цеолитовых колоннах достигается вентилями *3*. Осушительные цеолитовые колонны работают периодически: в одной происходит осушка газа, в другой — регенерация горячим воздухом, который нагревается в электрокалорифере *6* с предфильтром *7*. Расчет адсорбционных колонн основан на достижении необходимого снижения активности РИГ на выходе из колонн [19].

Таблица 63

	Измеряемая величина, пределы измерений	Диапазон энергий излучения, МэВ	Основная погрешность измерения, %	Питание прибора
ДРГЗ-04	Экспозиционная доза, мкР * . . . . .10—3·10⁴	0,03—3	±15	Сетевое
	Поглощенная доза, мкрад ** . . .10—3·10⁴	1—25	±15	»
	Мощность экспозиционной дозы, мкР/с . . .1—3·10³	0,03—3	±10	»
	Мощность поглощенной дозы, мкрад/с . .1—3·10³	1—25	±10	»
ДРГ-05	Мощность экспозиционной дозы, мкР/с . 0,1—1·10⁴	0,04—10	±15	Аккумуляторное
	Экспозиционная доза, мР . . . . . .0,1—1·10⁴	—	—	—
ДКС-04	Мощность экспозиционной дозы, мР/ч . . .0,1—150	0,05—3,0	±25	То же
	Экспозиционная доза, мР . . . . . .1,0÷1024	—	—	—

* Р — рентген, 1Р=2,58·10⁻⁴ Кл/кг (Кл — кулон)
** Рад/с — рад в секунду, 1 рад/с=10⁻² Гр/с (Гр — Грей).

Методы радиационного контроля основаны на измерениях параметров ионизирующих излучений с помощью дозиметрических приборов. Типы и основные параметры дозиметров устанавливают в зависимости от измеряемой физической величины и вида ионизирующих излучений. В табл. 63 даны основные характеристики носимых приборов контроля за радиационной обстановкой, а в табл. 64 — приборов индивидуального дозиметрического контроля.

Таблица 64

Тип дозиметра	Пределы измерений, Р	Диапазон энергий измеряемого излучения, МэВ	Основная погрешность, %	Размеры детектора, мм
ДК-02	0,01—0,2	0,15—2,0	±15	∅ 13×114
КИД-2	0,005÷1	0,15÷3,0	±15	∅ 17×111
КИД-1	0,02÷0,2	0,1÷3 0	+10	∅ 15×113
ИФК-2,3	0,02—2,0	0,1÷3,0	±20	60×40×6
ИФКУ-1	0,05—2,0	0,1÷1,25	±25	67×33×16
ИКС-А	0,5—$1\cdot10^3$	0,05—1,25	±10	∅ 20×10

Контрольные вопросы

1. Как определить суммарное воздействие на окружающую среду нескольких источников ЭМП с выраженной электрической составляющей?
2. Как нормируют ЭМП, создаваемые воздушными линиями электропередач?
3. От чего зависит ослабление ЭМП строительными конструкциями?
4. Укажите методы защиты от ЭМП, создаваемого БЛ.
5. Каковы источники и значения фонового облучения от ионизирующих источников естественного и антропогенного происхождения?
6. В чем отличие зонирования территории вне промышленных предприятий и АЭС?
7. По каким показателям классифицируют радиоактивные отходы?
8. Каковы пути решения проблемы захоронения радиоактивных отходов?

ГЛАВА 7
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

§ 38. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ

Экологическая экспертиза — система комплексной оценки всех возможных экологических и социально-экономических последствий осуществления проектов и реконструкций, направленная на предотвращение их отрицательного влияния на окружающую среду и на решение намеченных задач с наименьшими затратами ресурсов.

Порядок проведения экологической экспертизы проектов на выброс загрязняющих веществ в атмосферу установлен инструкцией Госкомгидромета СССР ОНД 1—84, согласованной с Госстроем СССР [26]. Правила определения допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями установлены ГОСТ 17.2 3.02—78. Для проведения экологической экспертизы при выборе площадки для строительства предприятия или при реконструкции действующего предприятия должны быть представлены следующие материалы:

— краткие сведения по обоснованию выбора района строительства с учетом физико-географических и метеорологических факторов, а также исходных данных, полученных от органов Госкомгидромета, характеризующих существующие уровни загрязнения атмосферы;

— характеристика выбросов загрязняющих веществ предприятием в атмосферу, ситуационный план района размещения предприятия с указанием размера санитарно-защитной зоны;

— намеченные решения по очистке и утилизации загрязняющих веществ;

— упрощенные (в соответствии с ОНД-86) расчеты загрязнения атмосферного воздуха;

— обоснование данных о возможных аварийных и залповых выбросах;

— нормативы ПДК загрязняющих веществ, которые будут выбрасываться в атмосферу.

Необходимо также учитывать совместное влияние на атмосферу загрязнений, поступивших из различных источников.

Разработка ПДВ должна проводиться на основе современных

методов расчета, с учетом фоновых концентраций загрязнений в зоне промышленного предприятия. Кроме того, при разработке проектной документации необходимо предусмотреть действенный контроль за эффективностью работы очистного оборудования и за количеством выбросов загрязняющих веществ.

На предприятиях машиностроения велики объемы загрязненного воздуха, выбрасываемого в атмосферу установками общеобменной вентиляции производственных помещений и местной вентиляции. Для таких источников строят вентиляционные трубы, расчет рассеивания выбросов которых производится по ОНД-86.

Общий выброс из мелких вентиляционных источников от одного здания в расчетах рассеивания за пределы предприятия можно относить к одному или нескольким условным источникам, для каждого из которых обосновываются значения ПДВ. Если выбросы превышают ПДВ, то должна быть предусмотрена очистка выбросов до рассеивания.

На определенных стадиях технологических процессов или при аварийных ситуациях возможны «залповые» выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, ПДВ для которых устанавливается по ОНД-86, полагая мощность источника выброса $M = M_{\Sigma}/\Delta\tau$ (г/с), где M_{Σ} — масса выбрасываемого вредного вещества, г; $\Delta\tau$ — продолжительность залпового выброса, с. Для аварийных выбросов значения ПДВ не устанавливаются.

Для передвижных машин и установок ПДВ устанавливаются Государственными или отраслевыми стандартами для единичного транспортного средства Расчет валового выброса вредных веществ автомобильным транспортом, основанный на использовании среднего удельного выброса по автомобилям отдельных групп (грузовые, автобусы, легковые), см [26].

При согласовании воздухоохранных мероприятий, намечаемых при реконструкции предприятий, указанные сведения по выбросам приводятся в сравнении с ранее существовавшими.

Проектные материалы по охране атмосферного воздуха от загрязнения должны быть оформлены и представлены на утверждение в виде отдельной книги «Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения» (см. Приложение III).

Экспертизу проектных решений осуществляет экспертный Совет Госкомприроды СССР (группа). По результатам экологической экспертизы разработчику проекта выдается разрешение на выбросы загрязняющих веществ стационарными источниками с указанием срока его действия. Если значения ПДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты, ГОСТ 17.2.3.02—78 допускает поэтапное снижение выбросов вредных веществ от действующих предприятий от временно согласованных вопросов (ВСВ) до значений ПДВ.

Для снижения выброса загрязняющих веществ в атмосферу необходимо провести следующие мероприятия: детально прора-

ботать технологический процесс с целью снижения количества выбрасываемых токсичных веществ или замены их на нетоксичные или малотоксичные; повысить герметичность оборудования; разработать и применить эффективную пылегазоочистку. Только после комплексной реализации этих мероприятий следует решать вопрос о рассеивании загрязняющих веществ через трубы Методические рекомендации по согласованию и экспертизе мероприятий по охране атмосферы приведены в сборнике [26].

Воздействие промышленного предприятия на геологическую среду определяется технологической нагрузкой — годовым количеством всех видов твердых и жидких отходов предприятия. Объектами повышенной экологической опасности считаются различные отстойники и шламонакопители.

При экспертизе проектов необходимо проверять наличие у предприятия возможностей по переработке и захоронению твердых и жидких отходов, а также полноту использования новейших научно-технических достижений в области малоотходной и безотходной технологии.

Оценку экологического воздействия промышленного предприятия на гидросферу проводят на основе баланса его водообеспечения (СНиП II-31—88), в котором указывают компоненты водопотребления и водоотведения, а также объемы ($м^3$/сут): повторно используемой воды, промышленных сточных вод, хозяйственно-бытовых сточных вод, безвозвратных потерь воды.

Создание замкнутых систем водообеспечения — основное направление сокращения потребления свежей воды и предотвращения сбросов сточных вод. При экспертизе проектов следует проверять наличие и полноту разработки предложений по созданию замкнутых систем водообеспечения с необходимыми технико-экономическими обоснованиями.

При экспертизе проектов размещения крупных промышленных комплексов следует рассматривать состояние окружающей среды в районе, примыкающем к предприятию в радиусе 20—30 км. Размер санитарно-защитной зоны должен соответствовать требованиям СН 245—71, СНиП II-89—80 и руководства по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий [25].

Не допускается утверждение проекта предприятия без проведения экологической экспертизы. В соответствии с ГОСТ 0.0 04—90 предприятие должно иметь экологический паспорт.

§ 39. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Важнейшим звеном в обеспечении качества окружающей среды является система контроля за ее состоянием, включающая: наблюдение за состоянием окружающей среды и прогноз изменений; выявление и оценку источников загрязнения; предупреждение появления повышенных загрязнений.

Контроль качества воздуха населенных пунктов проводится в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01—86 (СТ СЭВ 1925—79), которым предусмотрены стационарный, маршрутный и передвижной (подфакельный) посты наблюдения за загрязнением атмосферы.

Стационарный пост наблюдений предназначен для обеспечения непрерывной регистрации загрязняющих веществ (SO_2, CO, NO_2, пыли и т. д.) и регулярного отбора проб воздуха для последующих анализов.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха в нескольких точках местности по временному графику.

Размещение стационарных и маршрутных постов должно способствовать выявлению максимумов концентраций загрязняющих веществ. Обычно посты располагают по концентрическим окружностям в точках пересечения с радиальными линиями, указывающими страны света. В центре окружностей должен находиться источник загрязнения. Основная окружность должна иметь радиус R, равный 20 высотам источника, радиус наименьшей окружности — $0{,}5R$, а наибольшей — $1{,}5R$.

Минимальное число постов зависит от численности населения города:

Численность, млн. чел.	0,5—1	1—2	>2
Число постов, шт.	5—10	10—15	15—20

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб под газовым факелом. Отбор проб должен производиться по направлению ветра в точках пересечения оси факела и концентрических окружностей с радиусами, равными: от 0,2 до 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15 и 20 км. На каждой окружности по обе стороны от оси факела, на расстояниях, равных 1/25 радиуса окружности, устанавливают еще по два поста.

При определении приземных концентраций отбор проб проводят на высоте от 0,5 до 3,5 м от уровня земли.

Наблюдения по полной программе проводят ежесуточно в 1, 7, 13 и 19 часов по местному времени, по неполной программе — в 7, 13 и 19 часов. В период неблагоприятных метеорологических условий наблюдения проводят через каждые 3 ч. Продолжительность отбора проб при определении разовых концентраций — 20 мин; суточные концентрации определяют из данных, полученных непрерывно в течение 24 ч.

Правила контроля качества воды водоемов и водотоков установлены ГОСТ 17.1.3.07—82, а правила контроля качества морских вод — ГОСТ 17.1.3.08—82.

Проведение контроля качества окружающей среды является главной задачей Госкомгидромета СССР. Контроль за загрязнением атмосферного воздуха ведется более чем в 530 городах страны; контроль состава поверхностных вод проводится на 4000 пунктах, которые охватывают более 1000 водных объектов.

Станции контроля морских вод размещены на берегах всех морей, омывающих территорию СССР. Осуществляется контроль за уровнем загрязнения почв и территорий вблизи транспортных магистралей и промышленных зон.

В крупных городах страны контроль состояния окружающей среды ведут автоматизированные системы качества атмосферного воздуха (АНКОС-АГ) и водоемов (АНКОС-ВГ) [34]. Наличие непрерывной информации о состоянии окружающей среды в крупных городах позволяет оперативно принимать необходимые меры по устранению чрезмерных загрязнений, путем сокращения выбросов промышленных предприятий и (или) снижения плотности движения автотранспорта. Регулирование выбросов вредных веществ в атмосферу за счет их кратковременного сокращения в периоды неблагоприятных метеорологических условий необходимо выполнять в соответствии с РД 52.04.52—85.

§ 40. КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Контроль ПДВ промышленных предприятий осуществляют в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02—78. Систему контроля разрабатывает промышленное предприятие. Контролю подлежат выбросы, поступающие от дымовых труб; вытяжных систем плавильных и разливочных агрегатов; сушильных установок; нагревательных и электротермических печей кузнечно-прессовых и термических цехов; аспирационных систем смесеприготовительных участков; шихтовых дворов; участков очистки и обрубки отливок; участков приготовления формовочных и стержневых смесей; цехов механической обработки материалов, сварочных постов и оборудования для резки металлов и сплавов; отделений для нанесения химических, электрохимических и лакокрасочных покрытий; от газоходов и воздуховодов, отводящих загрязненный газ; от испытательных станций.

При контроле ПДВ основными должны быть прямые методы измерения концентраций вредных веществ и объемов газовоздушной смеси в местах их непосредственного выброса или после газоочистных установок. Выбросы веществ определяют в течение 20 мин, а также в среднем за сутки, месяц и год. Если продолжительность выброса вещества менее 20 мин, то контроль производят по полному выбросу вредного вещества за это время.

Обследование производят в период работы оборудования на рабочем (проектном) режиме; при нестационарной работе оборудования измерения следует проводить в период максимального выброса вредных веществ.

Для определения расхода газа по трубопроводу экспериментально находят распределение скоростей газа в поперечном сече-

нии газохода. На рис. 121 показана схема расположения точек и измерения динамического напора газа в круглом *а* и прямоугольном *б* газоходе. Число колец, на которые разбивают сечение газохода, зависит от характера распределения скорости газа по

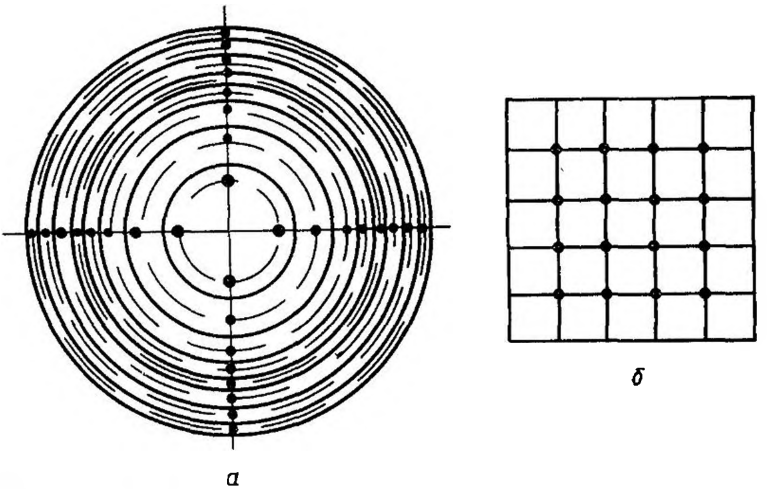

Рис. 121. Схема расположения точек измерения динамического напора газа:
а — в газоходе круглого сечения; *б* — в газоходе прямоугольного сечения

сечению. При уменьшении равномерности распределения скорости газа по сечению число колец должно возрастать. Достаточно надежные результаты получают при следующем числе колец:

Диаметр трубы, мм	<200	200—400	400—600	600—800	800—1000	>1000
Число колец, шт.	3	4	5	6	8	10

Расстояние точек замера для каждого кольца от внутренней стенки газохода определяют по формулам:

$$l_{1m} = R(1 - \sqrt{2m-1)/k}, \quad l_{2m} = R(1 + \sqrt{(2m-1)/k},$$

где l_{1m} и l_{2m} — расстояние от внутренней стенки газохода соответственно до ближайшей и дальней точки замера в кольце m; m — порядковый номер кольца, считая от центра газохода; k — число колец; R — радиус газохода.

Если газоход имеет прямоугольное сечение, то его условно делят линиями, параллельными стенкам газохода с шагом 150—200 мм. Минимальное число точек замера скорости — три в каждом направлении.

Схема установки приборов при измерении скоростей газа в газоходе показана на рис 122.

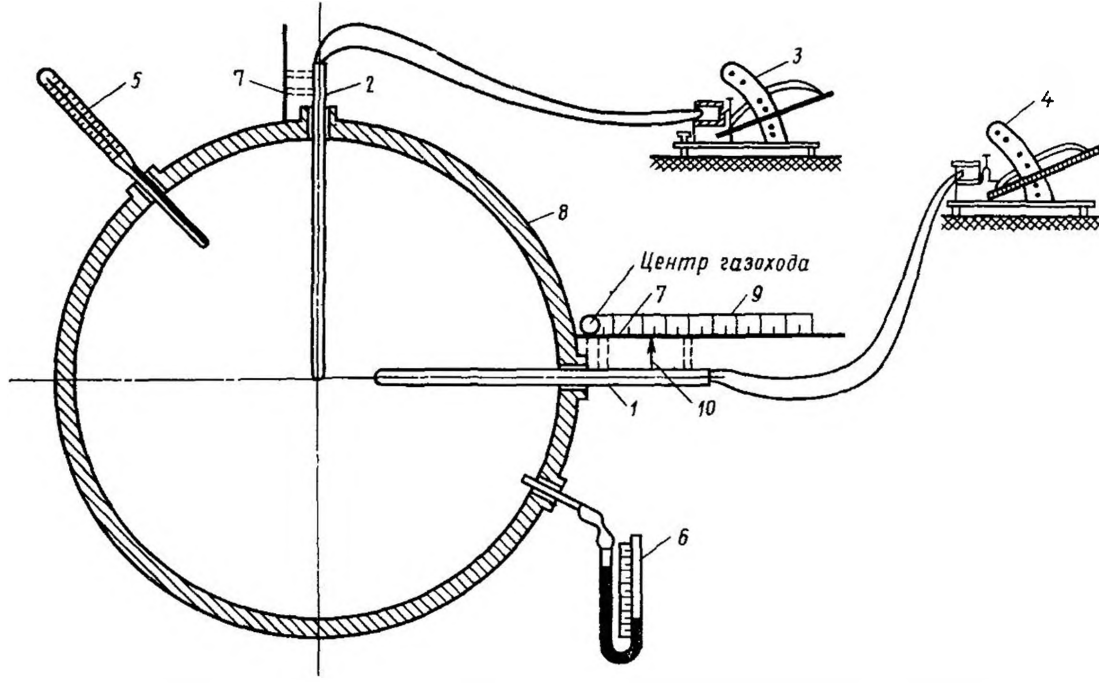

Рис. 122. Схема установки приборов при измерении поля скоростей в газоходе:

1, 2 — пневмометрические трубки, *3, 4* — микроманометры; *5* — термометр; *6* — манометр; *7* — стальной пруток; *8* — газоход; *9* — линейка; *10* — указатель

Этот метод рекомендуется для определения скорости, равной 4 м/с и более. Измерение проводят с помощью пневмометрических трубок и микроманометров динамического напора газа P_{gi} как разности между полным $P_{пi}$ и статическим $P_с$ напорами с последующим расчетом скорости газа по формуле $w_i = \sqrt{2gp_{gi}/\rho_t}$, где ρ_t — плотность газа в газоходе, определяемая как

$$\rho_t = \rho_0 \frac{(B \pm p_г)\,273}{(273 + t_г)\,101{,}3},$$

где B — барометрическое давление, кПа; $p_г$ — давление или разрежение газа в газоходе, кПа; $t_г$ — температура газа, °С. Среднюю скорость газа в газоходе определяют по формуле $w_{ср} = w_1 + w_2 + \ldots + w_n/n$, где n — число точек замера.

Расход газа Q по газоходу определяют по формуле $Q = w_{ср}F$, где F — площадь поперечного сечения газохода. Одновременно измеряют температуру $t_г$ и давление B газа в газоходе. Приведение расхода газа к нормальным условиям осуществляют по формуле

$$Q_н = \frac{Q\,(B + p_г)\,273}{(273 + t_г)\,101{,}3}.$$

Отбор и анализ проб газа на содержание в нем вредных веществ на машиностроительных предприятиях рекомендуется выполнять по методикам, см. [10, 27].

Контроль содержания токсичных веществ в выбросах энергетических установок производят по стандартным методикам [27]. Для бензиновых ДВС разработаны методы (ГОСТ 17.2.2.03—87) определения оксида углерода и углеводородов в отработавших газах; для дизельных ДВС методы измерения вредных веществ в отработавших газах установлены в ОСТ 37.001.234—81, а дымности отработавших газов — в ГОСТ 21393—75* и ГОСТ 17.2.2.01—84. Методы определения выбросов вредных веществ газотурбинных двигателей самолетов гражданской авиации приведены в ГОСТ 17.2.2.04—86.

§ 41. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В народном хозяйстве на охрану окружающей среды ежегодно тратится около 11 млрд. руб. Однако этого недостаточно, чтобы полностью предотвратить ущерб, наносимый загрязнениями. Воздействие загрязнений на природу, человека, здания и сооружения, сельскохозяйственные угодья и т. п. оценивают величиной

экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды.

Расчеты по определению экономического ущерба от загрязнения окружающей среды должны проводиться при планировании и проектировании средозащитных мероприятий. В связи с этим разработана «Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды», позволяющая оценить ущерб от всех (в том числе энергетических) загрязнений водной и воздушной среды. Эта методика утверждена Госстроем СССР, Госпланом СССР и Президиумом Академии наук СССР [26].

Для предупреждения воздействия загрязнений на атмосферу требуются большие затраты на устройство систем очистки воздуха, на создание санитарно-защитных зон; на удаление источников загрязнения за пределы города и т. п.

Для предупреждения неблагоприятного воздействия шума требуются затраты на ликвидацию его источников или ослабления излучаемого ими шума; на создание шумозащитных и экранирующих сооружений (стенки, насыпи, заглубление автомагистралей и силовых установок и т. п.) или создание строительных конструкций с повышенной звукоизоляцией, а также на переселение людей из квартир, в которых уровень шума превышает нормативный.

Загрязнение земли и почвы приводит к затратам на создание малоотходных технологий, на сбор, удаление и захоронение отходов производства.

Остаточные загрязнения окружающей среды после проведения природоохранных мероприятий обусловливают расходы на компенсацию негативных последствий воздействия загрязнений: медицинское амбулаторное и стационарное обслуживание лиц, пострадавших от неблагоприятных условий, оплату пособий по нетрудоспособности; компенсацию потерь чистой продукции из-за снижения производительности труда в результате отрицательного влияния загрязнений на производственное оборудование; дополнительные услуги коммунально-бытового хозяйства в загрязненной среде; компенсацию количественных и качественных потерь из-за снижения продуктивности земельных, лесных и водных ресурсов в загрязненной среде и т. д. Кроме того, следует учитывать затраты, вызываемые вторичным загрязнением, например от сжигания отходов или поступления их в окружающую среду в процессе хранения и т. п.

Экономический ущерб от загрязнения среды определяется суммой затрат на возмещение ущерба, причиненного отдельными источниками в пределах рассматриваемой территории. Во всех случаях при определении ожидаемого ущерба на основе вариант-

ных расчетов устанавливается минимальная сумма, предназначенная на предупреждение и компенсацию воздействия загрязненной среды. Такой подход реализуется для оценки экономического ущерба в масштабах промышленных комплексов и отдельных технологических процессов.

При экспертизе необходимо учитывать не только прямые, но и отдаленные последствия внедрения проектов. Так, например, внедрение кислородного дутья в конверторах интенсифицировало технологический процесс, но вызвало необходимость применения дорогостоящих очистных устройств от окислов азота. В результате не произошло снижения стоимости продукции.

При оценке затрат на устранение отрицательных экологических последствий эксплуатации промышленных объектов необходимо учитывать изменения стоимости отдельных природных ресурсов с течением времени (нефть, газ и т. д.).

Доля расходов на устранение загрязнений окружающей среды современного производства высока и достигает в энергетике 7—11%, в черной металлургии 5—7%, в нефтехимии 8—11%. По мере внедрения экологически обоснованных технологий экономические показатели производства будут улучшаться за счет сокращения расходов по предотвращению загрязнений окружающей среды.

Рациональное использование природных ресурсов является определяющим для экономики предприятий в условиях хозрасчета и самофинансирования.

Рекомендации по укрупненной оценке экономического ущерба от загрязнения атмосферы

Экономическая оценка ущерба $У_а$, причиняемого годовыми выбросами загрязнений в атмосферу, для всякого источника определяется по формуле

$$У_а = \gamma_а \sigma_а f M_а,$$

где $У_а$ — оценка ущерба, руб./год; γ — константа, численное значение которой равно 2,4 руб. на условную тонну выбросов, руб./усл. т; $\sigma_а$ — показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над различными территориями (см. табл. 65); f — поправка, учитывающая характер рассеяния примеси в атмосфере; $M_а$ — приведенная масса годового выброса загрязнений из источника, усл. т/год.

Поправку f определяют в зависимости от скорости оседания частиц. Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц с очень малой скоростью оседания (менее 1 см/с) принимают:

$$f = \frac{100}{100 + \varphi h} \frac{4}{1 + U}. \qquad (44)$$

Здесь h — геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню зоны активного загрязнения (ЗАЗ), м; U — среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с; если его значение неизвестно, то принимают $U=3$ м/с; φ — безразмерная поправка на тепловой подъем факела выброса в атмосфере, вычисляемая по формуле: $\varphi=1+\Delta T/75$, где ΔT —

Таблица 65

Тип загрязняемой территории	Значение $\sigma_з$
Территории курортов, заповедников, заказников	10
Территории пригородных зон отдыха и садовых участков	8
Территории населенных пунктов с плотностью населения n чел/га	(0,1 га/чел)n
Территории промышленных предприятий (включая защитные зоны)	4
Леса.	
1-я группа	0,2
2-я группа	0,1
3-я группа	0,025
Пашни	
южные зоны (южнее 50° с ш)	0,25
Центральный черноземный район, южная Сибирь	0,15
прочие районы	0,1
Сады, виноградники	0,5
Пастбища, сенокосы	0,05

среднегодовое значение разности температур в устье источника (трубы) и в окружающей атмосфере на уровне устья, °С.

Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с;

$$f=\left(\frac{1000}{60+\varphi h}\right)^2\frac{4}{1+U}. \qquad (45)$$

Для частиц, оседающих со скоростью свыше 20 см/с, принимается, что независимо от значения h, $\varphi(\Delta T)$ и U

$$f=10.$$

Если скорость оседания частиц неизвестна, то значение поправки f определяется в зависимости от коэффициента очистки (улавливания) η выбросов. Если $\eta\geqslant 90\%$, то расчет f ведется по формуле (44); если $70\%\leqslant\eta<90\%$ — по формуле (45); если $\eta<70\%$ — по формуле (46). При выбросе частиц одновременно с парами воды или другими веществами, сопровождающемся быстрой конденсацией, а также при оценке ущерба от выброса аэрозолей автотранспортными средствами исходят из требования (46). При

сжигании жидких и газообразных топлив, не сопровождающемся быстрой конденсацией частиц (отсутствует одновременный выброс паров и т. д.), используют формулу (46).

Если значения f для различных типов примесей (газов и аэрозолей), выбрасываемых одним источником, различны, то общая оценка ущерба суммируется.

Значение приведенной массы M годового выброса загрязнений в атмосферу из источника определяют по формуле

$$M_a = \sum_{i=1}^{N} A_i m_i,$$

где m_i — масса годового выброса примеси i-го вида в атмосферу, т/год; A_i — показатель относительной опасности (агрессивности) примеси i-го вида, усл. т/т, значение которого приведено в приложении VII «Временной типовой методики»; N — общее число примесей, выбрасываемых источником в атмосферу.

При оценке ущерба от выбросов необходимо учитывать все выбрасываемые в атмосферу вещества, включая микропримеси. Игнорирование наличия какой-либо примеси в составе выбросов может привести к получению заниженной оценки ущерба, что, в свою очередь, может дать заниженную оценку эффекта атмосфероохранных мероприятий. Определение ущерба следует проводить на основе полного количественного анализа состава выбрасываемых пылей, включая токсичные и канцерогенные микропримеси.

При определении значения σ_a следует учитывать перспективу увеличения плотности населения в ЗАЗ и т. п.

Рекомендации по укрупненной оценке экономического ущерба от загрязнения водоемов

Экономическую оценку годового ущерба $У_в$ (руб./год) от годичного сброса загрязняющих примесей в k-й водохозяйственный участок некоторым источником определяют по формуле

$$У_в = \gamma_в \sigma_k M_в.$$

Здесь $\gamma_в$ — константа, численное значение которой рекомендуется принимать равным 144 руб./усл. т; σ_k — константа для различных водохозяйственных участков, значения которой указаны в приложении VII «Временной типовой методики»; $M_в$ — приведенная масса годового сброса примесей данным источником в k-й водохозяйственный участок, усл. т/год, $M_в = \sum_{i=1}^{N} A_i m_i$,

где i — номер сбрасываемой примеси; N — общее число примесей, сбрасываемых источником; A_i — показатель относительной опасности сброса i-го вещества в водоемы, усл. т/т; для каждого за-

грязняющего вещества $A_i = 1/ПДК_{р/хi}$, где $ПДК_{р/хi}$ — предельно допустимая концентрация i-го вещества в воде объектов, используемых для рыбохозяйственных целей; m_i — общая масса годового сброса i-й примеси оцениваемым источником, т/год. Если источник сбрасывает сточные воды нескольких типов, различающиеся степенью очистки, то $m_i = \sum_{j=1}^{k} m_{ij}$, m_{ij} — масса годового поступления i-го вещества от данного источника со сточными водами j-го типа, $j = 1, 2, \ldots, k$ (т/год).

Если сточные воды сбрасываются в водоем от оцениваемого источника без смешения, то $m_{ij} = c_{ij} V_j$, где V_j — объем годового сброса сточных вод j-го типа данным источником в водоем, млн. м³/год; c_{ij} — концентрация j-й примеси.

Если на городские или региональные (коллективные) очистные сооружения поступают сточные воды от L источников, и при этом очистные сооружения удерживают p_i, % от общей годовой массы i-го вещества, поступившей в очистные сооружения от всех L источников, то массу годового сброса i-го вещества от l-го источника определяют по формуле

$$m_{il} = \frac{100 - p_i}{100} m^{\circ}_{il},$$

где m°_{il} — масса i-го вещества, поступающего на очистные сооружения в течение года, т/год.

Значения A_i для некоторых распространенных загрязняющих веществ даны в табл. 2 Приложения VII «Временной типовой методики».

При отсутствии утвержденного значения $ПДК_{р/хi}$ при определении A_i допускается вместо $ПДК_{р/хi}$ для рыбного хозяйства использовать утвержденное значение ПДК i-го вещества для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Если в действующих нормах ПДК нужное вещество не указано, то для оценки ущерба принимают значение $A_i = 5 \cdot 10^4$ усл. т/т.

Оценка экономического ущерба от загрязнения окружающей среды является основой при разработке комплекса природоохранных мероприятий.

Контрольные вопросы

1. Каково значение экологической экспертизы проектов, технологий, машин и материалов для рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды?
2. Что может служить основанием для увеличения предельно допустимых выбросов до временно согласованных?
3. Как и кто осуществляет контроль ПДВ и состояния окружающей среды?
4. Как проводится укрупненная оценка экономического ущерба от загрязнения атмосферы, гидросферы?

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (список № 3086—84)

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
Азота диоксид	0,085	0,04	2
Азота оксид	0,6	0,06	3
Акролеин	0,03	0,03	2
Акрилонитрил	—	0,03	2
Алкилсульфат натрия	0,01	—	4
Аллил хлористый	0,07	0,01	2
Альдегид масляный	0,015	0,015	3
Альфа-3 (действующее начало — дихлоруксусный кальций)	3	0,3	4
Амил бромистый (1-бромпентан)	0,8	—	2
н-Амилацетат	0,1	0,1	4
Амилены (смесь изомеров)	1,5	1,5	4
Аммония нитрат (аммиачная селитра)	—	0,3	4
Аммофос (смесь моно- и диаммоний фосфата с примесью сульфата аммония)	2	0,2	4
5/6 Амино-(2-параамиофенил) бензимидазол	—	0,01	3
Амины алифатические C_{15}—C_{20}	0,003	0,003	2
2-Амино-1,3,5-триметилбензол (мезидин)	0,003	0,003	2
Аммиак	0,2	0,04	4
Ангидрид малеиновый	0,2	0,05	3
Ангидрид уксусный	0,1	0,03	3
Ангидрид фосфорный	0,15	0,05	2
Ангидрид фталевый	0,1	0,1	2
Анилин	0,05	0,03	2
Ацетальдегид	0,01	0,01	3
Ацетон	0,35	0,35	4
Ацетофенон	0,003	0,003	3
Барий углекислый (в пересчете на барий)	—	0,004	1
Белок пыли белково-витаминного концентрата (БВК)	—	0,001	2
Бенз(а)пирен	—	0,1 мкг/100 м³	1
Бензин (нефтяной, малосернистый, в пересчете на углерод)	5	1,5	4
Бензин сланцевой (в пересчете на углерод)	0,05	0,05	4
Бензол	1,5	0,1	2
Бактериальный инсектицидный препарат (БИП) (действующее начало — спорово-кристаллический комплекс бациллус, турингиензис, вариант кауказикус)	—	$1,5 \cdot 10^5$ микробных тел/м³ (0,005 мг/м³)	2

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
Битоксибациллин	—	$4{,}5 \cdot 10^4$ микробных тел/м³ 0,0015 мг/м³	2
Борат кальция	—	0,02	3
Бром	—	0,04	2
о-Броманизол	1	—	4
Бромбензол	—	0,03	2
Бромоводород	1	0,1	3
о-Бромфенол	0,13	0,03	2
п-Бромфенол	0,13	0,03	2
Бутан	200	—	4
1,3-Бутадиен (дивинил)	3	1	4
Бутил бромистый (1-бромбутан)	0,7	—	2
Бутилацетат	0,1	0,1	4
Бутилен	3	3	4
Бутиловый эфир акриловой кислоты (бутилакрилат)	0,0075	—	2
2-Бутилтиобензтиазол (бутилкантакс)	0,015	—	3
Ванадия (V) оксид	—	0,002	1
Взвешенные вещества *	0,5	0,15	3
Винилацетат	0,15	0,15	3
Вольфрамат натрия (в пересчете на вольфрам)	—	0,1	3
Гексаметилендиамин	0,001	0,001	2
Гексаметиленимин	0,1	0,02	2
Гексаметиленимин *м*-нитробензоат (ингибитор коррозии Г-2)	0,02	—	3
Гексан	60	—	4
Гексафторбензол	0,8	0,1	2
1,2,3,4,7,7-Гексахлорбицикло-(2,2,1)-гептен-2,-5,6-бис (оксиметил) сульфит (тиодан)	0,017	0,0017	2
Гексахлорциклогексан (гексахлоран)	0,03	0,03	1
Гексен	0,4	0,085	3
Гексил бромистый (1-бромгексан)	1	—	2
Гептен	0,35	0,065	3
Гептил бромистый (1-бромгептан)	1	—	2
Германия (IV) оксид (в пересчете на германий)	—	0,04	3
Гидроперекись изопропилбензола (гидроперекись кумола)	0,007	0,007	2
Дендробациллин	—	$3 \cdot 10^4$ микробных тел/м³	2
Децил бромистый (1-бромдекан)	1	—	2
Диамид угольной кислоты (карбамид, мочевина)	—	0,2	4

* Недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов ПДК взвешенных веществ не распространяются на аэрозоли органических и неорганических соединений (металлов, их солей пластмасс биологических, лекарственных препаратов и др.), для которых устанавливаются соответствующие ПДК.

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
4,4-Диаминодифенилсульфон	—	0,05	3
п-Дибромбензол	0,2	—	2
1,1-Дигидроперфторгептиловый эфир акриловой кислоты	0,5	—	3
Дикетен	0,007	—	2
1,3-Ди-(2,4-ксилимино)-2-метил-2-азопропан (митак)	0,1	0,01	3
Диметиламин	0,005	0,005	2
Диметиланилин	0,0055	0,0055	2
N, N'-Диметилацетамид	0,2	0,006	2
O, O-Диметил-*S*-(1,2-бис-чарбэтоксиэтилдитиофосфат) (карбофос)	0,015	—	2
Диметилвинилкарбинол	1	—	3
4,4-Диметилдиоксан-1,3	0,01	0,004	2
Диметилдисульфид	0,7	—	4
O, O-Диметил-*S*-(*N*-метилкарбамидометил) дитиофосфат (фосфамид, рогор)	0,003	0,003	2
O, O-Диметил-*S*-2 (1-*N*-метилкарбомоилэтилтиоэтилфосфат) (кильваль)	0,01	0,01	2
O, O-Диметил-*S*-(*N*-метил-*N*-формилкарбомоилметил) дитиофосфат (антио)	0,01	0,01	3
O, O-Диметил-*O*-(4-нитрофенил) тиофосфат (метафос)	0,008	—	1
O, O-Диметил-(1-окси-2,2,2-трихлорэтил) фосфонат (хлорофос)	0,04	0,02	2
Диметилсульфид	0,08	—	4
Диметилформамид	0,03	0,03	2
O, O-Диметил-*S*-этилмеркаптоэтилдитиофосфат (М-81, экатин)	0,001	0,001	1
Диметиловый эфир терефталевой кислоты	0,05	0,01	2
2,6-Диметилфенол (2,6-ксиленол)	0,02	0,01	3
Динил (смесь 25% дифенила и 75% дифенилоксида)	0,01	0,01	3
Дифторхлорметан (фреон-22)	100	10	4
3,4-Дихлоранилин	0,01	0,01	2
4,4-Дихлордифенилсульфон	—	0,1	3
4,4-Дихлордифенилтрихлорметилкарбинол (кельтан)	0,2	0,02	2
Дихлордифторметан (фреон-12)	100	10	4
2,3-Дихлор-1,4-нафтахинон (дихлон)	0,05	0,05	2
1,2-Дихлорпропан	—	0,18	3
2,3-Дихлорпропен	0,2	0,06	3
1,3-Дихлорпропилен	0,1	0,01	2
Дихлорфторметан (фреон-21)	100	10	4
Дихлорэтан	3	1	2
Дициклогексиламина малорастворимая соль (ингибитор коррозии МСДА)	0,008	—	2
Дициклогексинамина нитрит (ингибитор коррозии НДА)	0,02	—	2
Диэтиламин	0,05	0,05	4

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
β-Диэтиламиноэтилмеркаптан	0,6	0,6	2
O, O-Диэтил-*O*-(2-изопропил-4-метил-6-пиримидил) тиофосфат (базудин)	0,01	0,01	2
Диэтиловый эфир	1	0,6	4
Диэтилртуть (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
O, O-Диэтил-*S*-(хлорбензоксазонилин-3-метил) дитиофосфат (фозалон)	0,01	0,01	2
Железа оксид * (в пересчете на железо)	—	0,04	3
Железа сульфат * (в пересчете на железо)	—	0,007	3
Железа хлорид * (в пересчете на железо)	—	0,004	2
Изоамил бромистый (1-бром-3-метилбутан)	0,8	—	2
Изобутенилкарбинол	0,075	—	4
Изобутил бромистый (1-бром-2-метилпропан)	0,7	—	2
Изопропил бромистый (2-бромпропан)	0,6	—	2
Изопропилбензол (кумол)	0,014	0,014	4
Иод	—	0,03	2
Изопропил-2-(1-метил-*н*-пропил)-4,6-динитрофенилкарбонат (акрекс)	0,02	0,002	2
Ингибитор древесно-смоляной прямой гонки (ИДСПГ)	0,006 (контроль по фенолу)	0,006	3
Кадмия оксид (в пересчете на кадмий)	—	0,001	2
Капролактам (пары, аэрозоль)	0,06	0,06	3
Карбонат циклогексиламина (КЦА)	0,07	—	3
Кислота азотная по молекуле HNO_3	0,4	0,15	2
Кислота борная	—	0,02	3
Кислота валериановая	0,03	0,01	3
Кислота капроновая	0,01	0,005	3
Кислота масляная	0,015	0,01	3
Кислота перфторвалериановая	0,1	—	3
Кислота пропионовая	0,015	—	3
Кислота серная по молекуле H_2SO_4	0,3	0,1	2
Кислота терефталевая	0,01	0,001	1
Кислота уксусная	0,2	0,06	3
Кобальт металлический	—	0,001	1
Кобальт сернокислый (в пересчете на кобальт)	—	0,001	2
Ксилол	0,2	0,2	3
Магния оксид	0,4	0,05	3
Магния хлорат	—	0,3	4
Марганец и его соединения (в пересчете на оксид марганца)	0,01	0,001	2
Меди оксид (в пересчете на медь)	—	0,002	2

* При совместном присутствии в атмосферном воздухе контроль следует проводить по ПДК хлорида железа.

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
Меди хлорид (в пересчете на медь)	—	0,002	2
Мелиорант	0,5	0,05	4
2-Меркаптоэтанол (монотиоэтиленгликоль)	0,07	0,07	3
Метальдегид (ацетальдегид тетрамер)	0,003	0,003	2
Метилацетат	0,07	0,07	4
Метил-1-(бутилкарбомоил)-2-бензимидазолкарбамат (узген)	0,35	0,05	3
4-Метил-5,6-дигидропиран	1,2	—	2
Метилен хлористый	8,8	—	4
4-Метилентетрагидропиран	1,5	—	3
Метилмеркаптан	$9 \cdot 10^{-6}$	—	2
α-Метилстирол	0,04	0,04	3
Метиловый эфир акриловой кислоты (металакрилат)	0,01	0,01	4
Метиловый эфир метакриловой кислоты (метилметакрилат)	0,1	0,01	3
Метионин	0,6	—	3
Мильбекс (смесь 1,1-*бис*-4-хлорфенилэтанол и *п*-хлорфенил-2,4,5-трихлорфенилазосульфид)	0,2	0,1	3
Моноизобутиловый эфир этиленгликоля (бутилцеллозольв)	1	0,3	3
Моноизопропиловый эфир этиленгликоля (пропилцеллозольв)	1,5	0,5	3
Монометиламин	0,004	0,001	2
Монометиланилин	0,04	0,04	3
Монохлорпентафторбензол	0,6	0,1	3
Моноэтиламин	0,01	0,01	3
Мышьяк, неорганические соединения (в пересчете на мышьяк)	—	0,003	2
Нафталин	0,003	0,003	4
β-Нафтол	0,006	0,003	2
α-Нафтахинон	0,005	0,005	1
Никель, растворимые соли (в пересчете на никель)	—	0,0002	1
Никель металлический	—	0,001	2
Никеля оксид (в пересчете на никель)	—	0,001	2
Нитробензол	0,008	0,008	2
м-Нитробромбензол	0,12	0,01	2
м-Нитрохлорбензол	0,004	0,004	2
о-Нитрохлорбензол	0,004	0,004	2
п-Нитрохлорбензол	0,004	0,004	2
3-Нитро-4-хлорбензотрифторид	0,005	—	3
Озон	0,16	0,03	1
Окситетрациклин	0,01	—	2
Окситетрациклина хлоралгидрат	0,01	—	2
Октафтортолуол	1,3	—	4
Олова хлорид (в пересчете на олово)	0,5	0,05	3
Парамолибдат аммония (в пересчете на молибден)	—	0,1	3

Вещества	ПДК, мг/м³		
	максимальная разовая	среднесуточная	класс опасности
Пенициллин	0,05	0,0025	3
Пентан	100	25	4
Пентафторбензол	1,2	0,1	3
Пентафторфенол	0,8	—	4
Перфторгептан	90	—	4
Перфтороктан	90	—	4
Пиридин	0,08	0,08	2
Полихлорпинен (смесь хлорированных бициклических соединений)	0,005	0,005	2
Пропил бромистый (1,1-бромпропан)	0,6	—	2
Пропилен	3	3	3
Пропилена окись	0,08	—	1
Пыль неорганическая, содержащая диоксид кремния в %			
выше 70 (динас и др.)	0,15	0,05	3
70—20 (шамот, цемент и др.)	0,3	0,1	3
ниже 20 (доломит и др.)	0,5	0,15	3
Пыль хлопковая	0,5	0,05	3
Растворитель ацетатно-кожевенный (АКР) (по этанолу)	0,5	—	3
Растворитель бутилформиатный (БЭФ) (по сумме ацетатов)	0,3	—	3
Растворитель древесно спиртовой марки А (ацетоноэфирный)	0,12 (контроль по ацетону)	0,12	4
Растворитель древесно-спиртовой марки Э (эфирноацетоновый)	0,07 (контроль по ацетону)	0,07	4
Растворитель мебельный (АРМ-3)	0,09 (контроль по толуолу)	0,09	3
Ртуть азотнокислая закисная водяная (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртуть азотнокислая окисная водная (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртуть амидохлорная (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртути иодид (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртуть металлическая	—	0,0003	1
Ртути оксид красный (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртути оксид желтый (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртути ацетат (в пересчете на ртуть)	—	0,0003	1
Ртути (II) хлорид (в пересчете на ртуть) (сулема)	—	0,0003	1
Сажа	0,15	0,05	3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца (в пересчете на свинец)	—	0,0003	1
Свинец сернистый (в пересчете на свинец)	—	0,0017	1
Селена диоксид (в пересчете на селен)	0,1 мкг/м³	0,05 мкг/м³	1
Сероводород	0,008	—	2
Сероуглерод	0,03	0,005	2

Вещества	ПДК, мг/м³		
	среднесуточная	максимальная разовая	класс опасности
Синтетические моющие средства типа «Кристалл» на основе алкилсульфата натрия	0,04 (контроль по алкилсульфату натрия)	0,01	2
Скипидар	2	1	4
Спирт амиловый	0,01	0,01	3
Спирт бензиловый	0,16	—	4
Спирт бутиловый	0,1	0,1	3
Спирт 1,1-дигидроперфторамиловый	0,3	—	3
Спирт 1,1-дигидроперфторгептиловый	0,1	—	3
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	4
Спирт изооктиловый (2-этилгексанол)	0,15	0,15	4
Спирт изопропиловый	0,6	0,6	3
Спирт метиловый	1	0,5	3
Спирт пропиловый	0,3	0,3	3
Спирт этиловый	5	5	4
Стирол	0,04	0,002	2
Теллура диоксид (в пересчете на теллур)	—	0,5 мкг/м³	1
Термостойкая прядильная эмульсия (Тепрэм)	0,002 (контроль по сумме альдегидов, окиси этилена)	—	3
Тетрагидрофуран	0,2	0,2	4
Тетрафторэтилен	6	0,5	4
3-Тетрафторэтоксифенилмочевина (томилон, тетрафлурон)	0,6	0,06	3
Тетрахлорпропен	0,07	0,04	2
1,1,2,2-Тетрахлорэтан	0,06	—	4
Тетрахлорэтилен (перхлорэтилен)	0,5	0,06	2
Тетрациклин	0,01	0,006	2
1,2,3-Тиадиазонил-5-*N'*-фенилмочевина (дропп)	0,5	0,2	4
Тиофен (тиофуран)	0,6	—	4
Толуилендиизоцианат	0,05	0,02	1
Толуол	0,6	0,6	3
Трибромметан (бромформ)	—	0,05	3
S, S, S-Трибутилтритиофосфат (бутифос)	0,01	0,01	2
1,1,5-Тригидрооктафторпентанол (ТС-*п*-2)	1	0,05	4
1,1,3-Тригидротетрафторпропанол (ТС-*п*-1)	1	0,05	4
Трикрезол (смесь изомеров: *орто-, мета, пара-*)	0,005	0,005	2
N-(3-трифторметилфенил)-*N', N'*-диметилмочевина (которан)	—	0,05	3
Трихлорметан (хлороформ)	—	0,03	2
1,2,3-Трихлорпропан	—	0,05	3
Трихлорфторметан (фреон-11)	100	10	4
1,1,1-Трихлорэтан (метилхлороформ)	2	0,2	4
Трихлорэтилен	4	1	3
Триэтиламин	0,14	0,14	3

Вещества	ПДК, мг/м³		
	среднесуточная	максимальная разовая	класс опасности
Углерода оксид	5	3	4
Углерода тетрахлорид	4	0,7	2
Фенол	0,01	0,003	2
Фенолы сланцевые	0,007	—	3
Феррит бариевый (в пересчете на барий)	—	0,004	3
Феррит марганец-цинковый (в пересчете на марганец)	—	0,002	2
Феррит никель-цинковый (в пересчете на цинк)	—	0,003	2
Флюс канифольный активированный (ФКТ)	0,3 (контроль по канифоли)	0,3	4
Формальдегид	0,035	0,003	2
Фтористые соединения (в пересчете на фтор):			
газообразные соединения (фтористый водород, тетрахлорид кремния)	0,02	0,005	2
хорошо растворимые неорганические фториды (фторид натрия, гексафторсиликат натрия)	0,03	0,01	2
плохо растворимые неорганические фториды (фторид алюминия, фторид кальция, гексафторалюминат натрия)	0,2	0,03	2
Фурфурол	0,05	0,05	3
Хлор	0,1	0,03	2
м-Хлоранилин	0,01	0,01	1
п-Хлоранилин	0,04	0,01	2
Хлорбензол	0,1	0,1	3
п-Хлорбензотрифторид	0,1	—	3
Хлорводород	0,2	0,2	2
Хлоропрен	0,02	0,002	2
Хлоротетрациклин (кормовой)	0,05	0,05	2
м-Хлорфенилизоцианат	0,005	0,005	2
п-Хлорфенилизоцианат	0,0015	0,0015	2
2-Хлорциклогексилтио-*N*-фталамид (хлор ЦТФ)	3,5	0,35	4
Хром шестивалентный [в пересчете на оксид хрома (IV)]	0,0015	0,0015	1
Циановодород	—	0	1
Циклогексан	1,4	1,4	4
Циклогексанол	0,06	0,06	3
Циклогексанон	0,04	—	3
Циклогексаноноксим	0,1	—	3
N-Циклогексилтиофталамид (ЦТФ)	0,3	—	4
Цинка оксид (в пересчете на цинк)	—	0,05	3
Эпихлоргидрин	0,2	0,2	2
Этил хлористый	—	0,2	4
Этилацетат	0,1	0,1	4
Этилбензол	0,02	0,02	3

Вещества	ПДК, мг/м³		
	среднесуточная	максимальная разовая	класс опасности
Этилен	3	3	3
Этилена окись	0,3	0,03	3
Этиленимин	0,001	0,001	1
Этиленсульфид	0,5	—	1
О-Этил-О-4-(метилтио) фенилпропилдитиофосфат (болстар)	0,01	—	3

При совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией действий, сумма их концентраций не должна превышать 1 (единицы)

Эффектом суммации обладают:

1) ацетон, акролеин, фталевый ангидрид;
2) ацетон, фенол;
3) ацетон и ацетофенон;
4) ацетон, фурфурол, формальдегид и фенол;
5) ацетальдегид и винилацетат,
6) аэрозоли оксид ванадия (V) и оксиды марганца;
7) аэрозоли оксид ванадия (V) и оксиды серы;
8) аэрозоли оксид ванадия (V) и оксид хрома;
9) бензол и ацетофенон;
10) валериановая, капроновая и масляная кислоты;
11) вольфрамовый и сернистый ангидриды;
12) гексахлоран и фазолон;
13) 2,3-дихлор и 1,4-нафтахинон;
14) 1,2-дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан и тетрахлорэтилен;
15) изопропилбензол и гидроперекись изопропилбензола;
16) изобутенилкарбинол и диметилвинилкарбинол,
17) метилдигидропиран и метилентетрагидропиран;
18) триоксид димышьяка и свинца ацетат;
19) триоксид димышьяка и германий,
20) озон, диоксид азота и формальдегид;
21) оксид углерода, диоксид азота, формальдегид, гексан;
22) пропионовая кислота и пропионовый альдегид;
23) диоксид серы и аэрозоль серной кислоты;
24) диоксид серы и никель металлический;
25) диоксид серы и сероводород;
26) диоксид серы и диоксид азота;
27) диоксид серы, и оксид углерода, фенол и пыль конверторного производства;
28) диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота и фенол;
29) диоксид серы и фенол;
30) диоксид серы и фтороводород;
31) оксид и диоксид серы, аммиак и оксид азота,
32) сероводород и дипил;
33) сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная);
34) углерода оксид и пыль цементного производства;
35) уксусная кислота и уксусный ангидрид;
36) фенол и ацетофенон;
37) фурфурол, метиловый и этиловый спирты;
38) циклогексан и бензол;
39) этилен, пропилен, бутилен и амилен.

II. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ (мг/л) в водных объектах

(Извлечение из приложения 2 к «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и дополнительных перечней)

Наименование ингредиента	Водные объекты хозяйственно питьевого и культурно-бытового назначения		Водные объекты рыбохозяйственного назначения	
	ЛПВ *	ПДК	ЛПВ	ПДК
Алкилсульфонаты	Органолептический	0,5	—	—
Акриловая кислота	Санитарно-токсикологический	0,5	—	—
Анизол	То же	0,05	—	—
Анилин	»	0,1	Токсикологический	0,0001
Аммиак	Общесанитарный	2,0	То же	0,05
Ацетон	То же	0,05	—	—
Ацетальдегид	Органолептический	0,2	—	—
Ацетофенон	Санитарно-токсикологический	0,1	—	—
Бензол	То же	0,5	Токсикологический	0,5
Бериллий	»	0,0002	—	—
Бром	»	0,2	—	—
Барий	Органолептический	4,0	—	—
Бутиловый спирт	То же	1,0	Токсикологический	0,03
Ванадий	Санитарно-токсикологический	0,1	—	—
Винилацетат	То же	0,2	—	—
Гексахлоран	Органолептический	0,02	Токсикологический	Не допускается
Гексанат	Санитарно-токсикологический	5,0	—	—
Гексахлорбензол	То же	0,05	—	—
Висмут	»	0,5	—	—
Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ)	»	0,1	Токсикологический	Недопустим
Диметиламин	»	0,1	То же	0,005
Диметилсульфид	Органолептический	0,04	—	—
Дихлорэтан	То же	2,0	—	—
Диметилдихлорвинилфосфат (ДДВФ)	Органолептический	1,0	Токсикологический	Отсутствие
Дихлорфенол	То же	0,002	—	—
Железо	»	0,5	—	—
Кадмий	Санитарно-токсикологический	0,01	Токсикологический	0,005
Кобальт	То же	1,0	То же	0,01
Капролактам	Общесанитарный	1,0	—	—

* ЛПВ — лимитирующий показатель вредности, отражающий приоритетность требований к качеству воды.

Наименование ингредиента	Водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Водные объекты рыбохозяйственного назначения	
	ЛПВ*	ПДК	ЛПВ	ПДК
Керосин	Органолептический	0,1	—	—
Карбофос	То же	0,03	Токсикологический	0,05
Медь	»	1,0	—	—
Мышьяк	Санитарно-токсикологический	0,05	Токсикологический	0,05
Метанол	То же	3,0	То же	0,1
Метилацетат	Органолептический	0,1	—	—
Молибден	Общесанитарный	0,5	—	—
Метилмеркаптан	Органолептический	0,0002	—	—
Нитраты (по азоту)	Общесанитарный	10,0	—	0,1
Нафталин	—	—	Токсикологический	0,004
Нефть многосернистая	Органолептическая	0,1	Рыбохозяйственный	0,05
Никель	Санитарно токсикологический	0,1	Токсикологический	0,01
Пиридин	То же	0,2	То же	0,003
Пропиловый спирт	Органолептический	0,25	—	—
Полихлорпинен	Санитарно-токсикологический	0,2	Токсикологический	Отсутствие
Пентахлорфенолят терпеномаленнового аддукта	То же	1,0	То же	0,0005
ОП-7	Органолептический	0,4	»	0,3
Ртуть	Общесанитарный	0,05	—	—
Свинец	То же	0,1	Общесанитарный	0,1
Селен	Общесанитарный	0,001	—	—
Сурьма	То же	0,05	—	—
Стирол	Органолептический	0,1	Органолептический	0,1
Силикат натрия (по SiO_3)	Санитарно токсикологический	50,0	—	—
Стронций	То же	2,0	—	—
Сероуглерод	Органолептический	1,0	Токсикологический	1,0
Сульфиды	Общесанитарный	Отсутствие	—	—
Теллур	Санитарно-токсикологический	0,01	—	—
Фенол	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Формальдегид	Общесанитарный	0,05	—	—
Фреоны	Санитарно-токсикологический	10,0	—	—
Фтор	То же	1,5	Токсикологический	0,05

Наименование ингредиента	Водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Водные объекты рыбохозяйственного назначения	
	ЛПВ *	ПДК	ЛПВ	ПДК
Хлор активный	Общесанитарный	Отсутствие	—	—
Хром	Органолептический	0,1	Санитарно-токсикологический	0,001
Цианиды	Санитарно-токсикологический	1,0	Токсикологический	1,0
Цинк	Общесанитарный	1,0	То же	0,1

Примечание. Общий список ингредиентов, концентрации которых ограничиваются в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно бытового назначения, к настоящему времени составляет 640 наименований, а рыбохозяйственного назначения — 147 наименований.

III. **Состав книги «Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения»** (табл 1).

Степень воздействия проектируемого предприятия на загрязнение атмосферы характеризуется значениями параметров П и Ф [26].

При определении параметра П для каждого вещества i и каждого источника j рассчитывают значения требуемого потребления воздуха (ТПВ), м³/с, и параметра R по следующим формулам:

$$\text{ТПВ}_{ji} = 10^3\ M_{ji}/\text{ПДК}_i,$$

$$R_{ji} = \frac{D_j}{H_j + D_j}\,\frac{c_{ji}}{\text{ПДК}_i}, \qquad \text{(а)}$$

где M_{ji} — масса вещества, выбрасываемого источником в одну секунду, г/с; ПДК_i — разовая предельно допустимая концентрация вещества для населенных мест; D_i — диаметр устья источника, если устье источника не круглое, то за D_j принимают его наибольший размер, H_j — высота источника над уровнем земли, м; c_{ji} — концентрация вещества в устье источника.

При $D_j > 0{,}5\ H_j$ выражение $D_j/(H_j + D_j)$ принимают равным единице

Значение параметра Π_i (м³/с) для каждого вещества определяют по следующей формуле:

$$\Pi_i = \sum_{j=1}^{m} \text{ТПВ}_{ji} R_{ji},$$

где m — количество источников на предприятии, выбрасывающем одноименные вещества

Для групп веществ, обладающих суммацией вредного воздействия, рассчитывается параметр $П_Σ$ (м³/с) по формуле.

$$П_Σ = \sum_{i=1}^{n} П_i,$$

где n — количество веществ, входящих в группу суммации

Из всех значений $П_i$ и $П_Σ$ выбирается максимальное значение, которое и принимается за параметр П для данного предприятия

Если для получения разрешения на выброс загрязняющих веществ необходимо учесть источники загрязнения, не имеющие данных для расчета П, то степень воздействия предприятия на загрязнение атмосферного воздуха характеризуется значением параметра Ф.

Параметр Ф (м²/с) для каждого выбрасываемого вещества рассчитывается по формуле.

$$Ф_i = \frac{10^3}{H_{i\,ср}} \sum_{j=1}^{m} M_{ij}/ПДК_i,$$

где $H_{i\,ср}$ — средняя высота выброса.

Таблица I. **Состав книги «Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения» в зависимости от значения параметров П и Ф**

Состав проектных материалов	Значения параметра П, м³/с				Примечание
	более 10^9	10^8 10^5	10^6 $5\ 10^4$	менее $5 \cdot 10^4$	
	Значение параметра Ф, м²/с				
	более $5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^3$... $3 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^2$... ... 80	менее 80	
1 Исходные данные для проектирования, краткая характеристика объекта по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу, физико-географическая справка и климатические условия района и площадки для строительства (фоновые концентрации загрязнений)	+	+	+	+	Фоновые концентрации устанавливают местные органы Госкомгидромета по согласованию с местными органами Минздрава СССР и выдают по запросам заинтересованных организаций в установленном порядке
2. Выбрасываемые в атмосферный воздух загрязняющие вещества и их комбинации, нормативы ПДК загрязняющих веществ с суммирующимся вредным действием; количества загрязняющих веществ в соответствии с формой, ут-	+	+	+	+	Правила заполнения формы 2-тп (воздух) изложены в утвержденной ЦСУ СССР от 15 07 80 г. «Инструкции о порядке составления отчетов об охране воздушного бассейна по формам № 2-тп (воздух) и 2-тп (воздух) — квартальная».

Состав проектных материалов	Значения параметра П, м³/с				Примечание
	более 10^9	$10^9 .. 10^6$	10^6 $5 \cdot 10^4$	менее $5 \cdot 10^4$	
	Значение параметра Ф, м²/с				
	более $5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3 .. 3 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^2$ 80	менее 80	
вержденной приказом ЦСУ СССР от 03 0 5 83 2-тп (воздух), разделы I, III, IV, количественные характеристики возможных аварийных выбросов, предложения по ПДВ (ВСВ)					При расширении и реконструкции действующих предприятий представляют копию последней годовой статистической отчетности предприятия по форме 2-тп (воздух)
3 Ситуационный план района размещения предприятия в радиусе не менее 2 км (если имеются источники выбросов высотой Н более 40 м, то радиус ситуационного плана должен быть не меене 50 Н) с указанием санитарно-защитной зон, селитебной территории, зон отдыха и природоохранной зон	+	+	+	+	
4 Схема генерального плана с нанесением источников выбросов и пылегазоочистных устройств	+	+	+	+	Если для расчета загрязнения атмосферы используют ЭВМ, то входные данные о характеристиках источников задают по форме приложения ГОСТ 17 2 3 02—78, а выходные характеристики выбросов представляют по форме 2-тп (воздух) Если для какого-либо вещества (группы веществ с суммирующимся вредным действием) значение параметра R рассчитанного по формуле (а) и для одного из источников не превышает 5, то для этого вещества расчет загрязнения атмосферы не производится
5 Результаты и анализ расчета загрязнений атмосферы в районе размещения предприятия, способ учета рельефа местности, расчетные скорости и направление ветра, расчетные температуры воздуха, описание способа учета фона по всем веществам и их комбинациям с суммирующимся вредным действием	+	+	+	+	
6 Способы оценки количества загрязнений, поступающих от организованных и неорганизованных источников. Сведения о затратах	+	+	+	+	

Состав проектных материалов	Значения параметра П, м³/с				Примечание
	более 10^9	10^8 10^6	10^6 $5\ 10^4$	менее 5.10^4	
	Значение параметра Ф, м²/с				
	более 5.10^3	5.10^3 3.10^{12}	3.10^2.. 80	менее 80	
на реализацию мероприятий по охране атмосферного воздуха					
7 Характеристика и обоснование мероприятий по снижению выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий	+	+	+	+	
8 Характеристика вклада цехов в выбросы предприятия Очередность строительства и пусковые комплексы Оценка вклада подвижных источников загрязнения	+	+	+	+	При расширении или реконструкции части действующего предприятия приводятся его характеристики в целом
9 Характеристики и обоснование способов контроля за количеством и составом выбросов загрязняющих веществ	+	+	+	+	
10 Сведения об уточнении размеров санитарно-защитной зоны с учетом розы ветров	+	+	+	—	Уточнение размеров санитарно-защитной зоны производится в соответствии с ОНД-86
11 Сведения о проведенных согласованиях намечаемых решений с копией заключения органов Минздрава СССР	+	+	+	—	
12 Обоснование выбора оборудования и аппаратуры для очистки выбросов в атмосферу и сравнение их с передовыми техническими решениями	+	+	—	—	
13 Экономическая эффективность воздуоохранных мероприятий, сведения об их учете при определении общей стоимости строительства	+	+	—	—	Допускается не представлять расчет экономической эффективности, если отсутствует ведомственная методика таких расчетов
14. Краткая характеристика и обоснование решений по технологии производства в части уменьшения образования и выделе-	+	—	—	—	

Состав проектных материалов	Значения параметра П, м³/с				Примечание
	более 10^9	10^8 10^6	10^6 .. $5\ 10^4$	менее $5\ 10^4$	
	Значение параметра Ф, м²/с				
	более $5\ 10^3$	$5\ 10^3$ $3\ 10^{12}$	$3\ 10^2$ .. 80	менее 80	
ния загрязняющих веществ Сравнение с передовыми технических решениями Данные по использованию уловленных отходов, удельные показатели выбросов на единицу продукции					
15 Перечень и краткая характеристика научно-исследовательских и экспериментальных работ, необходимых для выполнения принятых решений по охране атмосферы	+	—	—	—	

Для групп веществ, обладающих суммацией вредного воздействия, параметр Φ_Σ (м²/с) рассчитывается по формуле

$$\Phi_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} \Phi_i,$$

Из всех Φ_i и Φ_Σ выбирается максимальное значение, которое и принимается за параметр Ф для данного предприятия

Классификацию источников (табл II) проводят на основе параметров ТПВ и R.

Источники I класса вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферы и требуют особой тщательности проведения экспертизы

Имея значения $ТПВ_i$ и R_i, можно приближенно оценить максимальную концентрацию $c_м$, создаваемую в приземном слое атмосферы источником, и расстояние от источника $x_м$, на котором должна наблюдаться $c_м$:

$$c_{м_i}/ПДК_i \approx R_i/50; \qquad (б)$$

$$x_{м_i} \approx 18{,}4 \sqrt{\frac{1{,}27\ ТПВ_i}{R_i}}. \qquad (в)$$

Используя формулы (б) и (в), можно выявить наиболее загрязненные зоны атмосферы и рационально выбрать мероприятия по снижению уровня загрязнения до допустимых уровней в соответствии с условием $\Sigma c_i + c_ф \leqslant ПДК$. В качестве критерия чистоты атмосферного воздуха применяют ПДК, соответствующие нормам № 3086-84 При отсутствии ПДК допускается использовать установленные Минздравом СССР ориентировочно безопасные уровни загрязнения воздуха (ОБУВ).

Таблица II

R	ТПВ, м³/с				
	$>10^5$	10^4—10^5	10^3—10^4	10^2—10^3	$<10^2$
>1000	Iа	I	II	III	III
100—1000	I	II	II	III	III
50—100	II	II	III	III	IV
5—50	II	III	III	IV	IV
<5	III	III	IV	IV	V

VI. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов

Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов — совокупность взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление природных богатств и рациональное использование природных ресурсов Эта система разрабатывается в соответствии с действующим законодательством с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических требований

Система стандартов в области охраны природы состоит из комплексов стандартов Кодовое название комплекса 1 — гидросфера, 2 — атмосфера, 3 — биологические ресурсы, 4 — почвы, 5 — земли, 6 — флора, 7 — фауна, 8 — ландшафты, 9 — недра

Каждый комплекс стандартов, начиная с комплекса гидросфера и кончая комплексом недра, включает в себя 6 групп стандартов (см. табл. 2).

Таблица 2 **Классификация системы стандартов в области охраны природы на группы**

Шифр группы	Наименование группы стандартов
0	Основные положения
1	Термины, определения, классификация

Шифр группы	Наименование группы стандартов
2	Показатели качества природных сред, параметры загрязняющих выбросов и сбросов и показатели интенсивности использования природных ресурсов
3	Правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов
4	Методы определения параметров состояния природных объектов и интенсивности хозяйственных воздействий
5	Требования к средствам контроля и измерений состояния окружающей природной среды
6	Требования к устройствам, аппаратам и сооружениям по защите окружающей среды от загрязнений
7	Прочие стандарты

Обозначение стандартов в области охраны природы состоит из: номера системы по классификатору, шифра, комплекса шифра группы, порядкового номера стандарта и года регистрации стандарта

V. Данные для расчета расхода поверхностных сточных вод

Таблица 3 **Коэффициент η стока**

Вид поверхности	η
Кровля и асфальто-бетонные покрытия дорог	0,95
Брусчатые мостовые и черные щебеночные покрытия дорог	0,6
Булыжные мостовые	0,45
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущими материалами	0,4
Гравийные садово-парковые дорожки	0,3
Спланированные грунтовые поверхности	0,2
Газоны	0,1

VI. Расчет интенсивности дождей

$$A = q_{20} 20^n (1 + C \lg P),$$

где q_{20} — интенсивность дождя для данной местности, м³/(с·м²); C и n — коэффициенты, учитывающие климатические особенности, P — период однократного превышения расчетной интенсивности дождя. Значения q_{20}, C и n представлены в табл 4, значения P — см табл 5

Таблица 4

Район размещения предприятия	q 10^6, м³/(с м²)	C	n
Архангельск	5	0,85	0,65
Владивосток	7	0,9	0,5
Киев	10	0,85	0,7
Красноярск	7	1	0,75
Ленинград	7	0,85	0,7
Минск	9	0,85	0,7
Москва	8	0,85	0,65
Свердловск	7	1	0,75
Ташкент	4	1,2	0,7
Тбилиси	10	0,85	0,6

Таблица 5

Характер протекания технологических процессов	Значения P при q_{20} 10^6, м³/(с м²)		
	7	7 . . 10	10
Без нарушения технологических процессов	0,33 . 0,5	0,5 . . 1	2
При нарушении технологических процессов	0,5 . 1	1 ... 2	3 ... 5

$$\beta = \frac{1}{(t_к + t_л + t_{пр})\, m},$$

где $t_к$=600 с — время поверхностной концентрации; $t_л$=0,021/$W_л$ — время движения дождевой сточной воды в лотке, с; $l_л$ — длина лотка, м; $W_л$ — скорость дви-

жения сточной воды в лотке, м/с; $t_{пр}=r\Sigma l_к/W_к$ — время движения сточной воды по коллектору, с; $l_к$ — длина коллектора, м; $W_к$ — скорость движения воды в коллекторе, м/с; m и r — коэффициенты, выбираемые по данным:

m	0,5	0,5 0,6	0,6 ... 0,7	0,7
r	2,8	2,5	2,5	2

VII. Технические характеристики напорных гидроциклонов, выпускаемых Усолье-Сибирским заводом горного оборудования, используемых для очистки сточных вод литейных и прокатных цехов

Таблица 6

Параметры гидроциклона	Марка гидроциклона			
	ГЦ-15К	ГЦ-250К	ГЦ-360К	ГЦ 500К
Внутренний диаметр цилиндрической части, мм	150	250	350	500
Диаметр входного патрубка, мм	50	80	100	150
Диаметр выходного патрубка, мм	65	100	125	150
Диаметр шламового патрубка, мм	12 17 24	17 24 34	2 4 34 48	3 4 48 75
Угол конусности конической части, град	20	20	20	20
Масса гидроциклона, кг	94	209	344	605
Объемная производительность, м³/ч, при $p=0,3$ ... 0,25 МПа				
Минимальный диаметр выделяемых частиц, мкм	28 ... 95	37 ... 135	44 ... 180	52 ... 240

VIII. Технические характеристики напорных гидроциклонов, выпускаемых Дзержинским филиалом Леннихиммаш и используемых для очистки сточных вод литейных и прокатных цехов

Таблица 7

Параметры гидроциклона	Марка гидроциклона					
	ГН 25	ГН 40	ГН 60	ГН-80	ГНС-100	ГНС-125
Диаметр цилиндрической части, мм	25	40	60	80	100	125
Диаметр входного патрубка, мм	4, 6; 8	6; 8; 12	8; 12, 16	10; 12; 16; 20	12; 16, 20; 25	16; 25; 32; 40
Диаметр выходного патрубка, мм	5; 8; 12	8, 12; 16	12; 16, 20	16; 20; 32	20, 32; 40	25; 32 40, 50
Диаметр шламового патрубка, мм	3; 4; 5	4; 5; 6	5, 6; 8	6, 8, 10; 12	8; 10, 12; 16	8; 10; 12; 16
Угол конуса конической части, град	5; 10; 15	5; 10; 15	5; 10, 15; 20	5; 10; 15; 20	10, 15; 20	10; 15; 20
Высота цилиндрической части, мм	25; 50, 75; 100	40; 60, 80, 120, 160	60, 120; 180, 240	80; 160, 240; 320	100, 200, 300, 400	125, 250; 375
Глубина погружения выходного патрубка, мм	10, 16; 25	16, 25; 32	25; 32; 40	32; 40; 64	40; 64; 80	50; 64 80, 100
Объемная производительность, м³/ч при ΔP= =0,1 МПа	0,3 . 1,1	0,6 .2 2	1,1 .3,7	1,8 .6,4	2,7 .10,1	4,4 21,1
Минимальный размер выделяемых частиц, мкм	2,3 ... 64	2,3 . 84,9	3,4 .. 92,9	4,3 ... 103	6,1 ... 150	6,6 . . 311

Параметры гидроциклона	Марка гидроциклона					
	ГНС-160	ГНС-200	ГНС-250	ГНС-320	ГНС 400	ГНС 500
Диаметр цилиндрической части, мм	160	200	250	320	400	500
Диаметр входного патрубка, мм	20; 25; 32 40; 50	25; 32; 40 50; 60	32, 40, 50 60; 80	40, 50, 60 80, 100	50, 60, 80 100, 125	60, 80, 100 125; 160
Диаметр выходного патрубка, мм	32; 40 50, 60	40, 50 60; 80	50, 60 80, 100	60, 80 100, 125	80, 100 125, 160	100, 125 160, 200
Диаметр шламового патрубка, мм	10; 12 16, 20	12; 16 20, 25	16, 20, 25; 32 40	16, 20 25, 32 40, 50	20, 25 32; 40 50	25, 32 40, 50 60
Угол конуса конической части, град	10, 15; 20	10, 15 20; 30	10; 15 20; 30	10, 15 20, 30	15, 20 30, 45	15, 20 30, 45
Высота цилиндрической части, мм	160, 320 480	200, 400 600	250; 500 750	320, 500 750	400, 500 800	500, 750 1000
Глубина погружения выходного патрубка, мм	64, 80 100; 120	80; 100 120, 160	120; 160 200	120; 160 200; 250	160, 200 250, 320	200; 250 320, 400
Объемная производительность, $м^3/ч$ при $\Delta p = 0{,}1$ МПа	6,7 31,8	10,2 47,4	16,3 .78,7	24,05 117,3	37,67 180,3	54,6 282
Минимальный размер выделяемых частиц, мкм	89 330,8	10,5 342	12,5 413,3	15,3 685,5	17,5 745	20,5 .884

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абсорбер 110
Адсорбер 108
Акустический расчет 203
Аэрация 176
Аэротенк 176

Биологическая потребность воды в кислороде (БПК) 153
Биоскруббер 128
Биосфера 4
Биофильтр 128

Вибрация 244
Виброгашение 249
Вибродемпфирование 257
Виброизолятор 251
Виброизоляция 251
Виброскорость 247
— пороговая 247
Водоснабжение оборотное 177
Выбросы токсичных веществ
— гальванических цехов 20, 37
— ГТДУ 31
— ДВС 28, 31
— кузнечно-прессовых цехов 18, 36
— литейных цехов 15, 36
— прокатных цехов 18, 36
— сварочных цехов 22
— термических цехов 28
— ТЭС 28

Гидроциклон 163
Глушитель комбинированный 242
— реактивный 235
— сорбционный 235
— шума 234
— экранный 242

Дожигание высокотемпературное 120, 124
Доза 268
Доза эквивалентная 269

Загрязнение
— антропогенное 4
— атмосферы 13
— гидросферы 34
— естественное 13, 15
— литосферы 52
Звукоизоляция 205
Звукопоглощение 204
Зона
— наблюдения 271
— санитарно-защитная 271

Излучение ионизирующее 46, 262
Изотерма адсорбции 115, 118
Инфразвук 244
Источники выбросов
— высокие 139
— затененные 145
— низкие 144

Канцерогены 29, 53
Катализатор 124, 126
Кондиционирование 189
Контроль
— запыленности 150
— радиационный 276
Концентрация
— приземная 140, 143
— распределения в атмосфере 140, 146
Коэффициент
— абсорбции 100

— вертикального разбавления 143
— гидравлического сопротивления 64
— массопередачи 119
— проскока 64
Кратность разбавления 155

Ликвидация 190
Лимитирующий показатель вредности (ЛПВ) 153

Напряженность
— магнитного поля 263
— электрического поля 263
Нейтрализатор отработавших газов
— жидкостной 131
— каталитический 133
— термический 131
Нейтрализация
— каталитическая 124
— сточных вод 172
— термическая 120

Обезвоживание 190
Облучение 192
Ограждение звукоизолирующее 226
Озонирование 174
Оксиды азота 15, 30, 33, 49, 62
Окситенк 176
Осадок 189
Отбор проб 149, 150
Отстаивание 159
Отстойник 160
Отходы
— жидкие 271
— пылегазообразные 274
— радиоактивные 272
— твердые 271, 273
Очистка ионообменная 173

Песколовка 161
Поле
— фильтрации 175
— электромагнитное 262
Полоса октавная 200
Предельно допустимая концентрация
— максимально разовая 57
— среднесуточная 57
Предельно допустимые выбросы 59, 146, 282
Процеживание 158
Пылеуловители
— барботажно-пенные 99
— вихревые 74
— жалюзийные 77
— классификация 67
— мокрые 67, 93
— противопоточные 72
— радиальные 77
— ротационные 72
— сухие 67
Пыль
— дисперсный состав 65
— медианный размер 65
— плотность 66
— слипаемость 66

Рассеивание выбросов 139, 145
Резонатор 241
Решетка 158

Сжигание 121, 190
Скруббер
— биологический 128
— Вентури 94, 107
— форсуночный 97
— центробежный 97, 107
Сорбент 108
Сорбция 171
Стабилизация 189
Сточные воды 34

Технология малоотходная 193
Труба рассеивания 140, 143
Туманоуловители
— высокоскоростные 101
— низкоскоростные 101
— расчет 102
— электрические 81

Углеводороды 15, 30, 49, 62
Уплотнение 189
Уровень
— звука 200
— звукового давления 200
Усреднение 157
Утилизация 190
Ущерб экономический 287

Шум 200

Фильтр
— биологический 128
— октавный 260
— рамочный 92
— рукавный 93
— ячеистый 93
Фильтрование 164
Фильтроматериал 87, 91
Флотация 165

Экология 5
Экранирование 265
Экспертиза экологическая 278
Экстракция 170
Электрокоагуляция 172
Электрофлотация 168

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 4

Глава 1. **Источники, виды и масштабы загрязнений окружающей среды** 13
§ 1 Общая характеристика загрязнений атмосферы 13
§ 2. Загрязнение атмосферы выбросами машиностроительных предприятий 14
§ 3 Загрязнение атмосферы при испытании и эксплуатации энергетических установок 27
§ 4. Источники загрязнений и состав примесей сточных вод машиностроительных предприятий 34
§ 5. Загрязнение почвы отходами машиностроительных предприятий . . . 39
§ 6. Энергетические загрязнения 41
§ 7. Последствия промышленного загрязнения окружающей среды . . . 48
§ 8. Основные мероприятия по защите окружающей среды 55

Глава 2. **Защита атмосферы** 57
§ 9. Нормирование примесей атмосферы 57
§ 10. Параметры процесса пылеулавливания 63
§ 11. Сухие пылеуловители 67
§ 12. Электрофильтры 78
§ 13. Фильтры 83
§ 14 Мокрые пылеуловители 93
§ 15. Туманоуловители 100
§ 16. Очистка выбросов от газо- и парообразных загрязнителей 104
§ 17 Снижение токсичности выбросов транспортно-энергетических установок 109
§ 18 Рассеивание выбросов в атмосфере 139
§ 19. Санитарно-защитные зоны 147
§ 20. Методы контроля и приборы для измерения концентраций пыле- и газообразных примесей в атмосфере 149

Глава 3. **Защита водного бассейна** 153
§ 21. Нормирование качества воды в водоемах 153
§ 22 Расчет допустимого состава сточных вод 154
§ 23. Очистка сточных вод 157
§ 24. Схемы очистных сооружений машиностроительных предприятий. . . 177
§ 25. Методы контроля качества воды 182

Глава 4. **Безотходные и малоотходные производственные процессы** . . 185
§ 26 Классификация отходов 185
§ 27. Обработка твердых отходов 186
§ 28. Утилизация и ликвидация осадков сточных вод 189
§ 29 Безотходная и малоотходная технологии 193

Глава 5 **Защита от шума, инфразвука и вибраций** 200
§ 30. Нормирование шума 200
§ 31. Акустический расчет, средства и методы защиты от шума 203
§ 32 Звукопоглощение и звукоизоляция 220
§ 33 Глушители шума 234
§ 34 Защита от инфразвука и вибраций 244
§ 35. Методы и приборы для измерения шума, инфразвука и вибраций 258

Глава 6. **Защита от электромагнитных полей и ионизирующих излучений** 262
§ 36. Защита от электромагнитных полей 262
§ 37. Защита от ионизирующих излучений 267

Глава 7. **Оценка влияния промышленного объекта на окружающую среду** 278
§ 38 Экологическая экспертиза проектов 278
§ 39 Контроль состояния окружающей среды 280
§ 40. Контроль выбросов промышленных предприятий и энергетических установок 282
§ 41. Экономический ущерб от промышленного загрязнения окружающей среды 285

Приложение 291

Литература 313

Предметный указатель 315

Учебное издание

Белов Сергей Викторович, **Барбинов** Федор Алексеевич, **Козьяков** Анатолий Федорович, **Павлихин** Геннадий Петрович, **Сивков** Валерий Петрович, **Терехин** Алексей Сергеевич

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Зав. редакцией С. Ф. Кондрашкова. Редактор С. С. Трапезникова. Мл. редактор Л. С. Макаркина. Технический редактор Н. А. Битюкова. Художник В. В. Гарбузов. Художественный редактор Е. Д. Косырева. Корректор С. К. Завьялова

ИБ № 8200

Изд. № ХИМ-912. Сдано в набор 02.08.90. Подп. в печать 03.12.90. Формат 60×88 1/16. Бум. офс. № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Объем 19,6 усл. печ. л. 19,6 усл. кр.-отт. 21,39 уч.-изд. л. Тираж 50 000 экз. Зак. № 521. Цена 2 р. 10 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Государственного комитета СССР по печати. 101898, Москва, Хохловский пер., 7

lib-ecolog.narod.ru
Библиотека
инженера-эколога
http://vkontakte.ru/club994894