

Практическая работа № 3
РАСЧЕТЫ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ
РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Поступление вредных веществ в воздух может быть вызвано следующими физико-химическими процессами: истечением вследствие разности давлений в оборудовании и наружной среды, турбулентным и молекулярным переносом в результате разности парциальных давлений, при неполном сжигании различных видов топлива, при механической обработке, при химических реакциях и т.д.

Количество выделяющихся веществ в зависимости от поставленной задачи и требуемой степени точности можно определить исходя из удельных показателей, газоздушных балансов, а также расчетным путем.

Расчет количества вредных веществ, поступающих из газового объема трубопроводов и оборудования, находящихся под давлением
Определение количества вредных веществ, поступающих через неплотности фланцевых соединений при $P_{изб} \geq 2 \cdot 10^5$ Па

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений, определяется по формуле:

$$G = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot \eta \cdot P_{изб} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad \text{кг/ч} \quad (2.1)$$

где 3,57 – коэффициент, $^{\circ}\text{C}^{1/2} \cdot \text{см}^2 / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$;

η – коэффициент запаса, принимаемый равным 2;

$P_{изб}$ – избыточное давление, Па;

m – коэффициент негерметичности, характеризующий падение давления в аппарате, ч^{-1} ;

V – объем аппарата, занимаемый газовой (паровой) фазой, м^3 ;

T – абсолютная температура газа или пара в аппарате, К;

M – молярная масса газа или пара.

Допустимые значения коэффициентов негерметичности приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Допустимые значения коэффициентов негерметичности

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч^{-1}
Газовые компрессоры, технологическое оборудование с трубопроводами и другое оборудование, работающее под давлением: вновь установленные	Токсичная	0,001
	Пожаро- и взрывоопасная	0,002
	То же	0,005
повторное испытание		
Трубопроводы для горючих, токсичных и		

сжиженных газов и паров: цеховые	Токсичная и горючая	0,0005
	Горючая	0,001
межцеховые	Токсичная и горючая	0,001
	Горючая	0,001

2.1.2. Определение количества вредных веществ, поступающих через неплотности фланцевых соединений при $2 \cdot 10^5 > P_{изб} \geq 0,02 \cdot 10^5$ Па

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений, приближенно определяется по формуле для $P_{изб} \geq 2 \cdot 10^5$ Па, но с коэффициентом запаса $\eta = 1,5$:

$$G = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 \cdot P_{изб} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad \text{кг/ч} \quad (2.2)$$

Пример 2.1. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода ($d = 108$ мм, толщина стенки - 4 мм, длина - 150 м).

Исходные данные. Состав среды в трубопроводе, % масс.: водород 58,9, оксид углерода 7,1, метан 34. Температура газовой смеси в трубопроводе $t = 50$ °С. Избыточное давление в трубопроводе $P_{изб} = 209060$ Па. Давление наружной среды $B = 101325$ Па.

Решение.

Относительные молекулярные массы составляющих газовой смеси:
 $M_{H_2} = 2,0$; $M_{CO} = 28,0$; $M_{CH_4} = 16,0$.

Мольные доли составляющих газовой смеси:

$$N_{H_2} = \frac{0,589/2}{0,589/2 + 0,071/28 + 0,34/16} = 0,925;$$

$$N_{CO} = \frac{0,071/28}{0,589/2 + 0,071/28 + 0,34/16} = 0,009;$$

$$N_{CH_4} = \frac{0,34/16}{0,589/2 + 0,071/28 + 0,34/16} = 0,066.$$

Абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе:

$$P_{абс} = P_{изб} + B; \quad P_{абс} = 209060 + 101325 = 310385 \quad \text{Па.}$$

Парциальное давление составляющих газовой смеси:

$$P_i = N_i \cdot P_{абс}, \quad \text{Па}$$

$$P_{H_2} = 310385 \cdot 0,925 = 287106; \quad P_{CO} = 310385 \cdot 0,009 = 2794;$$

$$P_{CH_4} = 310385 \cdot 0,066 = 20485 \quad \text{Па.}$$

Концентрации составляющих газовой смеси:

$$C_i = \frac{16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000}{(273+t) \cdot 133,3}, \quad \text{мг/м}^3$$

$$C_{H_2} = \frac{16 \cdot 287106 \cdot 2 \cdot 1000}{(273+50) \cdot 133,3} = 213383;$$

$$C_{CO} = \frac{16 \cdot 2794 \cdot 28 \cdot 1000}{(273+50) \cdot 133,3} = 29072;$$

$$C_{CH_4} = \frac{16 \cdot 20485 \cdot 16 \cdot 1000}{(273+50) \cdot 133,3} = 121799.$$

Произведение $v_i \cdot \rho_i$ для составляющих газовой смеси, мг/м³ (кг/м³):

$$v_{H_2} \cdot \rho_{H_2} = 213383 \quad (0,213); \quad v_{CO} \cdot \rho_{CO} = 29072 \quad (0,029);$$

$$v_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4} = 121799 \quad (0,122);$$

Плотность газовой смеси в трубопроводе:

$$\rho_{см} = \sum (N_i \cdot \rho_i);$$

$$\rho_{см} = 0,213 + 0,029 + 0,122 = 0,364 \quad \text{кг/м}^3.$$

Молекулярная масса газовой смеси в трубопроводе:

$$M_{см} = \sum (N_i \cdot M_i); \quad M_{см} = 0,925 \cdot 2 + 0,009 \cdot 28 + 0,066 \cdot 16 = 3,2.$$

Коэффициент негерметичности фланцевых соединений трубопровода (табл. 2.1): $m = 0,001$. Объем газов в трубопроводе: $V = 0,785 \cdot d^2 \cdot l$; $V = 0,785 \cdot 0,1^2 \cdot 150 = 1,1775 \text{ м}^3$.

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода:

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot P_{изб} \cdot \eta \cdot V \cdot m \cdot \sqrt{\frac{M}{T}}; \quad \text{г/ч}$$

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 209060 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{\frac{3,2}{273+50}} = 1,76 \quad \text{г/ч}.$$

Объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов:

$$V_{см} = \frac{G_{см}}{\rho_{см}}; \quad V_{см} = \frac{1,76}{0,364} \cdot 10^{-3} = 0,00483 \quad \text{м}^3/\text{ч}.$$

Количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода, г/ч:

$$G_i = V_{см} \cdot C_i;$$

$$G_{H_2} = 0,00483 \cdot 213383 \cdot 10^{-3} = 1,03;$$

$$G_{CO} = 0,00483 \cdot 29072 \cdot 10^{-3} = 0,1407;$$

$$G_{CH_4} = 0,00483 \cdot 121799 \cdot 10^{-3} = 0,59.$$

Пример 2.2. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений из аппарата диаметром 1,4 м и высотой 2,5 м. Степень заполнения жидкостью $k_3 = 0,7$.

Исходные данные. Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода 40, бензол 30, дихлорэтан 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха $\varphi = 50$ %. Концентрация аммиака в воздухе $C_{\text{NH}_3} = 10$ мг/м³. Температура жидкости и газовой среды в аппарате $t = 40$ °С. Давление наружной среды $P = 101325$ Па. Избыточное давление среды в аппарате $P_{\text{изб}} = 101325$ Па.

Решение.

Молекулярные массы составляющих газовой среды:

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,015; M_{\text{B}} = 78,10; M_{\text{Д}} = 98,97; M_{\text{В}} = 28,96; M_{\text{NH}_3} = 17,81.$$

Мольные доли составляющих жидкости:

$$N_i = \frac{\alpha_i / M_i}{\sum (\alpha_i / M_i)};$$

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,4/18,015}{0,4/18,015 + 0,3/78,10 + 0,3/98,97} = 0,7637;$$

$$N_{\text{B}} = \frac{0,3/78,10}{0,4/18,015 + 0,3/78,10 + 0,3/98,97} = 0,1321;$$

$$N_{\text{Д}} = \frac{0,3/98,97}{0,4/18,015 + 0,3/78,10 + 0,3/98,97} = 0,1042;$$

Из Приложения находим эмпирические коэффициенты А, В, С для каждого компонента смеси жидкости:

Вода	A = 7,9608;	B = 1678,0;	C = 230,0;
Бензол	A = 6,9120;	B = 1214,6;	C = 221,2;
Дихлорэтан	A = 7,1840;	B = 1358,5;	C = 232,0.

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами:

$$\lg P_i^h = A - \frac{B}{(C+t)},$$

$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}}^h = 7,9608 - 1678/(230+40) = 1,746;$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}}^h = 56,7 \text{ мм рт ст, или } 7541,1 \text{ Па};$$

$$\lg P_{\text{B}}^h = 6,912 - 1214,6/(221,2+40) = 2,262;$$

$$P_{\text{B}}^h = 182,5 \text{ мм рт ст, или } 24\,272,5 \text{ Па};$$

$$P_{\text{Д}}^h = 7,184 - 1358,5/(232+40) = 2,190;$$

$$P_{\text{Д}}^h = 155 \text{ мм рт ст, или } 20\,615 \text{ Па}.$$

Парциальное давление паров компонента над смесью жидкостей (поступивших из жидкости):

$$P_i = N_i \cdot P_i^h;$$

$$P_{H_2O} = 7541,1 \cdot 0,7637 = 5759,14 \text{ Па};$$

$$P_B = 24\,272,5 \cdot 0,1321 = 3206,4 \text{ Па};$$

$$P_D = 20\,615 \cdot 0,1042 = 2148,04 \text{ Па}.$$

Парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде:

$$\lg P_{H_2O}^h = 0,622 + 7,5 \cdot t / (238 + t);$$

$$\lg P_{H_2O}^h = 0,622 + 7,5 \cdot 40 / (238 + 40) = 1,7011;$$

$$P_{H_2O}^h = 50,2 \text{ мм рт ст}; \quad \text{или} \quad 6876 \text{ Па}.$$

Давление водяных паров в газовой среде при заданной влажности:

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}^h \cdot \varphi; \quad P_{H_2O} = 50,2 \cdot 0,5 = 25,1 \text{ мм рт ст}, \quad \text{или} \quad 3338 \text{ Па}.$$

Полное давление среды в аппарате:

$$P_{abc} = B + P_{изб}; \quad P_{abc} = 101\,325 + 101\,325 = 202\,650 \text{ Па}.$$

Парциальное давление примеси (аммиака) в газовой фазе:

$$P = \frac{C \cdot (273 + t) \cdot 133,3}{16 \cdot M \cdot 1000};$$

$$P_{NH_3} = \frac{10 \cdot (273 + 40) \cdot 133,3}{16 \cdot 17,31 \cdot 1000} = 1,503 \text{ Па}.$$

В таблице 2.2 приведены возможные парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью.

Таблица 2.2

Возможные парциальные давления компонентов над жидкостью

Компоненты	Парциальные давления компонентов		Возможное парциальное давление
	Поступивших из жидкости	В первоначальной газовой среде	
Вода	5759	3338	5759
Бензол	3206,4	0	3206,4
Дихлорэтан	2148	0	2148
Аммиак	0	1,503	1,503

Парциальное давление основного газового компонента – воздуха:

$$P_B = 202\,650 - (5759 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 191\,535,5 \text{ Па}.$$

Объемные доли газовых составляющих:

$$v_i = \frac{P_i}{P_{abc}};$$

$$v_{H_2O} = 5759 / 202650 = 0,028;$$

$$v_B = 3206 / 202650 = 0,0158;$$

$$v_{NH_3} = 1,503 / 202650 = 0,000007;$$

$$v_D = 2148 / 202650 = 0,0106;$$

$$v_B = 191535,5 / 202650 = 0,9451.$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м³:

$$C_i = 16 \cdot P \cdot M_i \cdot 1000 / [(273 + t) \cdot 133,3];$$

$$C_{H_2O} = 16 \cdot 5759 \cdot 18,015 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 39876;$$

$$C_B = 16 \cdot 3206 \cdot 78,10 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 96258;$$

$$C_D = 16 \cdot 2148 \cdot 98,97 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 81710;$$

$$C_B = 16 \cdot 191535,5 \cdot 28,96 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 2131918;$$

$$C_{NH_3} = 10.$$

Произведение $v_i \cdot \rho_i$ для составляющих газовой смеси, мг/м³ (кг/м³):

$$v_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 39876 \quad (0,0398);$$

$$v_B \cdot \rho_B = 96258 \quad (0,0963);$$

$$v_D \cdot \rho_D = 81710 \quad (0,0817);$$

$$v_B \cdot \rho_B = 2131918 \quad (2,1319);$$

$$v_{NH_3} \cdot \rho_{NH_3} = 10 \quad (0,00001).$$

Плотность газовой смеси в аппарате:

$$\rho_{см} = \sum (v_i \cdot \rho_i);$$

$$\rho_{см} = 0,0398 + 0,0963 + 0,0817 + 2,1319 + 0,00001 = 2,35 \quad \text{кг/м}^3.$$

Молекулярная масса смеси газов в аппарате:

$$M_{см} = \sum (v_i \cdot M_i);$$

$$M_{см} = 0,028 \cdot 18 + 0,0106 \cdot 98,97 + 0,0158 \cdot 78,1 + 0,9451 \cdot 28,96 + \\ + 0,000007 \cdot 17,31 = 30,17 \text{ г/моль}.$$

Объем занимаемый газовой фазой в аппарате:

$$V = 0,785 \cdot 1,4^2 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,7) = 1,154 \quad \text{м}^3.$$

Коэффициент негерметичности аппаратов, подвергающихся повторному испытанию (существующий): $m = 0,005$.

Количество газовой смеси, выделяющейся из аппарата:

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot m \cdot P_{изб} \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M_{см}}{T}};$$

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 0,005 \cdot 101325 \cdot 1,154 \cdot \sqrt{30,166 / (273 + 40)} = 9,72 \quad \text{г/ч}.$$

Объем газовой смеси, выделяющейся из аппарата:

$$V_{см} = \frac{G_{см}}{\rho_{см}}; \quad V_{см} = \frac{9,72}{2,35} \cdot 10^{-3} = 0,004135 \quad \text{м}^3/\text{ч}.$$

Количество составляющих газовой смеси, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений аппарата, г/ч:

$$G_i = V_{см} \cdot C_i;$$

$$G_{H_2O} = 0,004135 \cdot 39876 \cdot 10^{-3} = 0,165;$$

$$G_B = 0,004135 \cdot 96258 \cdot 10^{-3} = 0,398;$$

$$G_D = 0,004135 \cdot 81710 \cdot 10^{-3} = 0,338;$$

$$G_B = 0,004135 \cdot 2131918 \cdot 10^{-3} = 8,815;$$

$$G_{NH_3} = 0,004135 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,00004.$$