

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов**

**Г.Р. Ганиева**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

**Учебно-методические указания**

**Казань-2019**

*Печатается по решению учебно-методической комиссии Института геологии и нефтегазовых технологий  
Протокол № 9 от 5 апреля 2019 года*

Практические работы по промышленной экологии: учебно-методические указания для дисциплины «Промышленная экология» (уровень бакалавриат) по направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело / Г.Р.Ганиева. – Казань: Казанский федеральный университет, 2019. – 96 с.

Представлены девять практических работ, которые проходят на IV курсе бакалавриата по курсу "Промышленная экология". В практических работах описываются современное состояние и пути совершенствования экологической безопасности в процессах добычи, подготовки, транспорта и хранения углеводородного сырья в нефтехимии. Так же приводятся основные понятия и определения защиты ОС. В каждой работе дается методическое указание и методика проведения расчетов. В конце каждой работы представлены задания и варианты с данными. Так же имеются вопросы, на которые студенту необходимо ответить.

©Казанский федеральный университет, 2019

## Содержание

Практическая работа №1	Основные понятия и определения защиты окружающей среды. правовые и организационные основы охраны окружающей природной среды. Расчет параметров среды производственного помещения»	4
Практическая работа №2	Определение параметров внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь	19
Практическая работа №3,4	Расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников	30
Практическая работа №5	Концентрация газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода	47
Практическая работа №6	Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом» и «малом дыхании» аппарата	53
Практическая работа №7	Определение классификационной группы пыли по дисперсности. Определение скорости витания частиц и расчет параметров пылеосадочной камеры	65
Практическая работа №8	Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию загрязняющих веществ	73
Практическая работа №9	Нефтеволовушки, продуктоловушки	80
Практическая работа №10	Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию загрязняющих веществ	85
	Список литературы	96

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

**ТЕМА: «ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ»**

***Цель работы:***

1. Ознакомиться с методикой определения параметров среды производственного помещения.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

Ежегодно в атмосферу из технологических оборудований сбрасывается большое количество газов, содержащие вредные вещества. Для расчета количеств выделяющихся вредных веществ из технологического оборудования в атмосферный воздух необходимо знать основные свойства химических соединений и их смесей [1].

Плотность жидкости при температуре 20<sup>0</sup>С рассчитывается по формуле

$$\rho_{i\text{ж}} = \rho_{0\text{ж}} \frac{1}{1 + \beta_i(T - T_0)} \quad (1)$$

$\beta_i$  – коэффициент температурного расширения, выражающий относительное увеличение объёма жидкости при увеличении температуры на 1 градус.

Коэффициент температурного расширения капельных жидкостей незначителен. При t=10 - 20<sup>0</sup>С и P=100 кПа, коэффициент температурного расширения для воды  $\beta = 0,00015$  (1/<sup>0</sup>С)

Количества вредных веществ, выделяющихся из оборудования и трубопроводов  $\rho_{t\text{ж}} = \rho_{0\text{ж}}$

Плотность газа или пара при t=0<sup>0</sup>С и P<sub>0</sub>=100 кПа определяется по формуле:

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4}, \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

где, M – относительная молекулярная масса вещества, (кг/кмоль)

22.4 – объем 1 кмоля газа или пара при н.у., м<sup>3</sup>

Для определения плотности газа или пара при температуре  $t \neq 0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P \neq 100 \text{ кПа}$  используют уравнение Клапейрона:

$$\rho_{tr} = \rho_{0r} \frac{T_0 P}{T P_0} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273 \cdot P}{P_0 \cdot T} \quad (3)$$

Динамическая вязкость газов и паров определяется по формуле:

$$\mu_{tr} = \mu_{0r} \frac{273 + Sat}{T + Sat} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5} \quad (4)$$

где  $Sat$  – константа Сатерленда (Приложение 1)

В практических расчетах для расчета динамической вязкости жидкости при определении количества вредных веществ, выделяющихся через неплотности соединений трубопроводов и оборудования, применяется формула Пуазейля:

$$\mu_{tж} = \frac{\mu_{0ж}}{1 + 0,0368t + 0.000212t^2} \quad (5)$$

Изменение динамической вязкости с изменением температуры является существенным, так, с увеличением температуры от 0 до  $100^{\circ}\text{C}$  вязкость воды уменьшается в 7 раз.

Кинематическая вязкость –  $\nu$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) связана с динамической вязкостью  $\mu$  соотношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

$\mu$  - динамическая вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$

$\rho$  - плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$

Коэффициент диффузии, который необходим для расчетов количества выделяющихся вредных веществ из оборудования, можно рассчитать по след. зависимости:

$$D_0 = \frac{0.8}{\sqrt{M}} \cdot 0.36 \quad (\text{м}^2/\text{ч}) \quad (7)$$

$D_0$  – коэффициент диффузии при н. у.  $t=0^{\circ}\text{C}$  и  $P_0=100\text{кПа}$ .

$M$  –молекулярная масса вещества, кг/кмоль.

Коэффициент диффузии при  $t \neq 0^0$  С и  $P_0 \neq 100$ кПа определяют по формуле:

$$D_t = \frac{D_0 * P_0}{p} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \quad (8)$$

При  $P_0 = 100$ кПа;  $T_0 = 273$ К;

$p$  – давление в оборудовании и трубопроводе;

$T$  – температура в оборудовании и трубопроводе.

Для определения коэффициента диффузии при любой температуре, используют формулу:

$$D_t = D_{20} [1 + 0,02(t - 200)] \quad (9)$$

В технологических процессах выделяются смеси газов. Как известно, с литературных источников, состав среды в оборудовании и или трубопроводе задается в массовых, объемных или мольных долях. Следовательно,

Мольная доля компонента  $N_i$ :

$$N_i = \frac{\text{число молей компонентов}}{\text{число молей всех компонентов смеси}} \quad (10)$$

Массовые доли компонентов пересчитывают в мольные - по формуле:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum a_i/M_i} \quad (11)$$

Где  $N_i$  - мольная доля компонента;

$a_i$  - массовая доля компонента;

$M_i$  -молекулярная масса компонента.

Плотность смеси в трубопроводе или в оборудовании определяют по следующей формуле:

$$\rho_{\text{см.ж.}} = \frac{1}{\sum a_i/\rho_{i\text{ж}}} \quad (12)$$

$\rho_{i\text{ж}}$  – плотность  $i$ -го компонента в смеси.

Динамическая вязкость смеси нормальных жидкостей определяется по формуле (Па с):

$$\lg \mu_{\text{см.ж}} = \sum N_i * \lg \mu_{i\text{ж}} \quad (13)$$

где  $N_i$  - мольная доля компонента в смеси;

$\mu_{i\text{ж}}$  - соответствующий коэффициент динамической вязкости.

Парогазовоздушная смесь (вязкость газовых или паровых смесей в трубопроводе) определяется по приближенной формуле (14):

$$\mu_{\text{см.г}} = \frac{M_{\text{см.г}}}{\sum \left( \frac{\nu_{i\text{г}} * M_i}{\mu_{i\text{г}}} \right)} \quad (14)$$

где  $M_{\text{см.г}}$  – молекулярная масса смеси газов;

$M_i$  – молекулярная масса отдельных компонентов;

$\nu_i$  - объемные (молярные) доли компонентов в смеси ( $\nu_{i\text{г}}=N_{i\text{г}}$ );

$\mu_{\text{см.г}}$  – коэффициент динамической вязкости смеси газов;

$\mu_{i\text{г}}$  – коэффициент динамической вязкости отдельных компонентов.

$$M_{\text{см.г}} = \sum (N_{i\text{г}} * M_i) \quad (15)$$

Кинематическая вязкость газовой смеси определяется по формуле:

$$\nu_{\text{см}} = \frac{1}{\sum \left( \frac{N_i}{\nu_i} \right)} \quad (\text{м}^2/\text{с}) \quad (16)$$

Или

$$\nu_{\text{см}} = \frac{\mu_{\text{см.г}}}{\rho_{\text{см.г}}} \quad (17)$$

$\nu_i$  - кинематическая вязкость компонента газовой смеси.

Плотность смеси газов определяется по формуле:

$$\rho_{\text{см.г}} = \sum (N_{i\text{г}} / \rho_{i\text{г}}) \quad \text{кг/м}^3 \quad (18)$$

$N_i$  – мольные доли компонентов газовой смеси;

$\rho_{i,g}$  – плотность соответствующих компонентов.

Как известно, вредные вещества – это смесь веществ, состав которых зависит от температуры, давления, от объемной (мольной) доли каждого вещества в растворе. Поэтому, при расчете количества вредных веществ, выделяющихся со свободной поверхности жидкости, необходимо учесть данный факт.

Давление газовой смеси над раствором равно:

$$P_{cm} = \sum P_i \quad \text{кг/м}^3 \quad (19)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента смеси.

Согласно закону Рауля парциальное давление компонента, входящего в состав смеси, определяется по формуле:

$$P_i = N_i * P_i^h \quad (20)$$

$N_i$  – мольная доля компонента в растворе;

$P_i^h$  – давление насыщенного пара вещества над чистым компонентом при заданной температуре.

Зависимость давления насыщенного пара чистого вещества от температуры описывается уравнением:

$$\lg P_i^h = A - \frac{B}{(C + t)} \quad \text{мм.рт.ст} \quad (21)$$

или

$$\lg P_i^h = A - \frac{B}{T} \quad (22)$$

Значения эмпирических коэффициентов А, В, С (константы Антуана) для чистых веществ приведены в Таблице 1.

Парциальное давление насыщенных водяных паров в наружной среде (т. е. в газовой фазе) определяется по формуле:

$$\lg P_{H2O}^h = 0,622 + \frac{7,5 * t}{(238 + t)} \quad (23)$$

где  $t$  - температура наружной среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Парциальное давление водяных паров при заданной влажности наружной среды определяется по формуле:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}} * \varphi \quad \text{мм.рт.ст.} \quad (24)$$

где  $\varphi$  - влажность наружной среды, %.

Количественный состав газовой смеси над поверхностью жидкости можно определить если известен объемный или массовый состав смеси в оборудовании и данные о давлении насыщенных паров веществ, составляющих смесь.

Концентрацию насыщенных паров компонента, выраженную в единицах давления, можно пересчитать в объемную концентрацию по следующей формуле:

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i * 1000}{(273 + t) * 133.3} \quad \text{мг/м}^3 \quad (25)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента газовой смеси при заданной температуре и давлении, Па;

$M_i$  - молекулярная масса данного вещества;

1 мм рт. ст. = 133,322 Па.

При температуре 20 градусов формула количественного состава газовой смеси принимает следующий вид [1]:

$$C_i = 0,4096 * P_i^{\text{H}} * M_i \quad \text{мг/м}^3 \quad (25)$$

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

### Задание 1. Определить параметры среды производственного помещения.

1. Выписать из таблицы 1 данные по веществу. (Номер варианта задания соответствует порядковому номеру фамилии в журнале).
2. Рассчитать относительную молекулярную массу составляющих сред. Как известно, среда состоит из воды, воздуха и вещества (который необходимо выбрать из таблицы 1).
3. Определяем давление насыщенных водяных паров в воздухе производственного помещения.
4. Определить давление водяных паров при заданной влажности в помещении.
5. Определить парциальное давление примеси вещества (выбранного из таблицы 1).

6. Определить парциальное давление основного компонента наружной среды – воздуха
7. Определить объемные доли составляющих наружную среду (находим для каждого компонента). Сумма мольной доли составляющей должен быть равным 1.
8. Определить концентрацию составляющих наружной среды для каждого вещества.
9. Определить произведение  $N_i \times P_i$  для газовых составляющих наружной среды. Полученный результат необходимо перевести из  $\text{мг}/\text{м}^3$  в  $(\text{кг}/\text{м}^3)$ .
10. Определить плотность наружной среды.
11. Данные по динамической вязкости газовых составляющих при  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}$  выписываем из таблицы 1.
12. Данные по константе Сатерленда выписываем из таблицы 1.
13. Определить динамическую вязкость газовых составляющих при  $t^\circ\text{C}$ , данные по температуре берем из условия задачи.
14. Рассчитать относительную молекулярную массу смеси газов наружной среды.
15. Определить динамическую вязкость смеси газов наружной среды.
16. Определить динамическую вязкость смеси газов.
17. Определить кинематическую вязкость смеси газов наружной среды.
18. Определить коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ\text{C}$ .
19. Определить коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t$ , заданной из условий задания.

Влажность производственного помещения  $\varphi=60\%$ , концентрация дихлорэтана в воздухе  $C_d = 5 \text{ мг}/\text{м}^3$ ; температура  $t=15^\circ\text{C}$ ; давление среды  $B=101,3 \text{ кПа}$ . Необходимо определить параметры среды в производственном помещении [1].

#### **Последовательность расчета**

1. Первым этапом определяем относительную молекулярную массу составляющих среды. Среда состоит из дихлорэтана, воды и воздуха:

$$M_{(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2)} = 99 \text{ г/моль}$$

$$M_{(\text{H}_2\text{O})} = 18 \text{ г/моль}$$

$M_{O_2N_2ArCO_2}$  воздух = 29 г/моль

В воздухе содержится 21%  $O_2$ , 78%  $N_2$ , 0.5% Ar, 0.5%  $CO_2$ . С помощью закона Авагадро выразим:

$$M_{cp} = \frac{M_1 \nu_1 + M_2 \nu_2 + M_3 \nu_3}{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3}$$

$$M_{cp} = \frac{0,21 * 32 + 0,78 * 28 + 0,005 * 40 + 0,005 * 44}{0,21 + 0,78 + 0,005 + 0,005} = 29$$

2. Определяем давление насыщенных водяных паров в воздухе производственного помещения:

$$1) \lg P_{H_2O}^H = 0,622 + \frac{7,5*t}{238+t}$$

$$\lg P_{H_2O}^H = 0,622 + \frac{7,5*16}{238+16} = 1.09$$

$$\lg P_{H_2O}^H = 12.4 \text{ мм.рт.ст., или } 1640 \text{ Па}$$

3. Давление водяных паров при заданной влажности в помещении:  
 $P_{H_2O}^H = P_{H_2O}^H * \varphi$

$$P_{H_2O} = 1640 \cdot 0,6 = 984 \text{ Па}$$

Парциальное давление примеси (дихлорэтана):

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i}{(273 + t) * 133.3} \quad \text{находим } P_i$$

$$P_i = \frac{C_t * (273 + t) * 133.3}{M_t * 16 * 1000}$$

$$P_D = \frac{5 * (273 + 16) * 133.3}{99 * 16 * 1000} = 0,12 \text{ Па}$$

Парциальное давление основного компонента наружной среды – воздуха

$$P_B = B - \sum P_i = 101325 - (992 + 0.12) = 100333 \text{ Па}$$

Объемные доли составляющих наружную среду (находим для каждого компонента):

$$N_i = P_i / B$$

$$N_D = \frac{100333}{101325} = 0,9902$$

$$N_{H_2O} = \frac{993}{101325} = 0,00979$$

$$N_{\Delta} = \frac{0,12}{101325} = 0,00001$$

Сумма мольной доли составляющей должен быть равным 1, т.е.

$$\sum N_i = 1$$

Концентрация составляющих наружной среды, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i}{(273 + t) * 133.3}$$

Концентрацию составляющих находим для каждого вещества:

$$C_B = \frac{16 \cdot 100333 \cdot 28,96 \cdot 1000}{(273 + 16) \cdot 133,3} = 1206800;$$

$$C_{H_2O} = \frac{16 \cdot 992 \cdot 18,015 \cdot 1000}{(273 + 16) \cdot 133,3} = 7422;$$

$$C_{\Delta} = \frac{16 \cdot 0,12 \cdot 98,97 \cdot 1000}{(273 + 16) \times 133,3} = 5,0.$$

Произведение  $N_i \times P_i$  для газовых составляющих наружной среды, переводим из мг/м<sup>3</sup> в (кг/м<sup>3</sup>):

$$N_i \cdot P_i = 1206800(1,207);$$

$$N_{H_2O} \cdot P_{H_2O} = 7422(0,0074).$$

$$N_{\Delta} \cdot P_{\Delta} = 0,000005$$

Плотность наружной среды:

$$\rho_{cm} = 1,207 + 0,0074 + 0,000005 \approx 1,214 \text{ кг/м}^3.$$

Динамическая вязкость газовых составляющих при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ , Па · с (Таблица 1):

$$\mu_{oB} = 171 \cdot 10^{-2};$$

$$\mu_{oH_2O} = 82 \cdot 10^{-2};$$

$$\mu_{o\Delta} = 61 \cdot 10^{-2}.$$

Константы Сатерленда (Таблица 1):

$$\begin{aligned} Sat_B &= 107; \\ Sat_{H_2O} &= 82 \cdot 10^{-2}; \\ Sat_{\text{од}} &= 524 \end{aligned}$$

Динамическая вязкость газовых составляющих при  $t = 16^\circ\text{C}$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}$

$$\begin{aligned} \mu_t &= \mu_0 \cdot \frac{273 + Sat}{T + Sat} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5}; \\ \mu_t &= 171 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{273 + 107}{(273 + 16)107} \left( \frac{289}{273} \right)^{1,5} = 177,38 \cdot 10^{-2}; \\ \mu_{H_2O} &= 82 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{273 + 673}{289 + 673} \left( \frac{289}{273} \right)^{1,5} = 87,35 \cdot 10^{-2}; \\ \mu_{\text{д}} &= 61 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{273 + 524}{289 + 524} \left( \frac{289}{273} \right)^{1,5} = 64,6 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Относительная молекулярная масса смеси газов наружной среды:

$$M_{cm} = \sum \frac{N_i \cdot M_i}{\mu_i};$$

$$M_{cm} = 28,96 \cdot 0,9902 + 0,00979 \cdot 18,015 + 0,000001 \cdot 98,97 = 28,85.$$

Динамическая вязкость смеси газов наружной среды:

$$\mu_{cm} = \frac{M_{cm}}{\sum \frac{N_i \cdot M_i}{\mu_i}}$$

Подставляем значения в уравнение и определяем динамическую вязкость смеси газов

$$\begin{aligned} \mu_{cm} &= \frac{28,85}{\frac{0,9902 \cdot 28,96}{177,38 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,00979 \cdot 18,015}{87,35 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,000001 \cdot 98,97}{64,6 \cdot 10^{-2}}} \\ &= 176,25 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

Кинематическая вязкость смеси газов наружной среды:

$$\begin{aligned} \nu_{cm} &= \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}}; \\ \nu_{cm} &= \frac{176,25 \cdot 10^{-2}}{1,214} = 145,18 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \end{aligned}$$

Коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ\text{C}$  и

$$P = 101308 \text{Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}:$$

$$D = \frac{0,8}{\sqrt{M}} \cdot 0,36;$$

$$D_{oB} = \frac{0,8}{\sqrt{28,96}} \cdot 0,36 = 0,0535;$$

$$D_{oH_2O} = \frac{0,8}{\sqrt{18,015}} \cdot 0,36 = 0,0679;$$

$$D_{oD} = \frac{0,8}{\sqrt{98,97}} \cdot 0,36 = 0,0289.$$

Коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 16^{\circ}C$  и  $P = B = 101325 \text{ Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ :

$$D_t = D_o \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^2 \frac{101308}{P};$$

$$D_B = 0,0535 \cdot \left( \frac{273 + 16}{273} \right)^2 \frac{101308}{101325} = 0,0599;$$

$$D_{H_2O} = 0,0679 \cdot \left( \frac{273 + 16}{273} \right)^2 \frac{101308}{101325} = 0,0761;$$

$$D_D = 0,0289 \cdot \left( \frac{273 + 16}{273} \right)^2 \frac{101308}{101325} = 0,0324.$$

По окончании проведения всех расчетов необходимо сформулировать выводы о проделанной работе.

### **Задание на самостоятельную работу по теме 1.**

**Задача 1.** Для безопасной работы в производственном цеху в нефтехимической отрасли необходимо определить параметры среды в производственном помещении.

Влажность производственного помещения  $\phi, \%$

Концентрация вещества в воздухе  $C_i \text{ мг/м}^3$ ;

Температура  $t^0, \text{C}$ ;

Давление среды  $B=101,3 \text{ кПа}$ .

Данные для задачи необходимо взять из таблицы 1 и воспользоваться последовательностью расчета.

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Концепция подхода к проблемам охраны окружающей среды в нефтегазовой отрасли.
2. Что такое экология? Задачи экологии.
3. Метод регулирования – управление качеством окружающей природной среды.
4. Воздействие нефтегазовой отрасли на атмосферу
5. Воздействие нефтегазовой отрасли на гидросферу
6. Воздействие нефтегазовых объектов на земли и почвенный покров.
7. Мероприятия по охране окружающей среды при бурении скважин
8. Обеспечение экологичности промышленных предприятий на предпроектных и проектных этапах строительных работ.
9. Критерии экологической эффективности производства.
10. Экологическая политика предприятия

Исходные данные к задаче 1 представлены в таблице 1.

Вариант	Вещество	Формула	Молек. масса	Плотность	Температура плавления, $T_{пл, К}$	Температура кипения, $T_k, К$	Динамическая вязкость $\mu=10^{-7}$ , $\text{Па}\cdot\text{с}$ при $0^\circ\text{C}$ $\rho=101,3\text{кПа}$	Const Сатерленда Sat	Влажность помещеия, $\varphi\%$	Концентрация вещества в воздухе, $C_i \text{ мг}/\text{м}^3$	Температура, $t^0 \text{ C}$	Const определение парциального давления паров жидкости (Const Антуана)		
											Const	Const	Const	
											A	B	C	
1	Азот	$\text{N}_2$	28,01	820	63,15	77,35	165	104	52	0,06	15	4,428	52,7	230
2	Азота диоксид	$\text{NO}_2$	46,01	1447	261,9	294,3	111	433	54	0,085	16	8,9170	1798,5	270
3	Азота оксид	$\text{NO}$	30,01	1280	109,5	121,4	183	178	56	0,4	13	8,7429	682,93	268
4	Бензол	$\text{C}_6\text{H}_6$	78,12	879	278,7	353,3	70	380	60	1,5	14	6,984	1252,8	225
5	Бутанол	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	74,12	824,6	183,2	390,7	51900	574	61	2	17	9,5973	2664,7	280
6	Вода	$\text{H}_2\text{O}$	18,01	1000	273,2	373,2	82	673	55	2	18	7,9608	1678	230
7	Винилацетат	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	86,09	938	173	345,7	68,4	508	50	0,3	15	8,091	1797,4	273
8	Водород	$\text{H}_2$	2,02	71	13,96	20,35	83	30	51	0,2	16	5,9208	71,614	270
9	Дихлорэтан	$\text{C}_4\text{H}_4\text{Cl}_2$	89,97	1254	273,2	356,7	61	524	52	0,1	15	7,661	1640,2	260
10	Диэтиламин	$\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$	73,14	707	223,4	328,6	66,2	484	52	0,1	16	7,2231	1267,5	236
11	Кислород	$\text{O}_2$	31,99	1149	54,4	90,15	191	133	51	-	19	6,6913	319,01	267

Продолжение таблицы 1

	Вещество	Формул а	Молек. масса	Плот ность	Темпера тура плавлен ия, $T_{пл}, К$	Темпе ратура кипени я, $T_{к}, К$	Динамическая вязкость $\mu=10^{-7}$ , Па·с при $0^{\circ}C$ $p=101,3$ кПа	Const Сатерле нда Sat	Влажнос ть помещен ия, $\varphi\%$	Концентра ция вещества в воздухе, $C_i$ мг/м <sup>3</sup>	Темп ерату ра, $t^{\circ} C$	Const определение парциального давления паров жидкости (Const Антуана)		
												Const A	Const B	Const C
12	Метан	CH <sub>4</sub>	16,03	425	90,7	111,7	101	164	50	0,1	15	6,6118	389,92	266
13	Кислота уксусная	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60,05	1049	289,8	391,1	72	575	50	0,2	15	7,557	1642,5	273
14	Неон	NE	201	1204	24,5	26,95	294	40	51	0,1	14	271	24	29
15	Метанол	CH <sub>4</sub> O	32,04	792	175,5	337,9	87	487	52	0,01	13	8,349	1835	273
16	Пропанол	C <sub>3</sub> H <sub>x</sub> O	60,09	805	146,9	370,4	68	518	53	3	12	9,518	2469,1	273
17	Сероводород	H <sub>2</sub> S	34,08	960	136,5	263,0	116	331	49	0,008	17	8,50	1175 ,3	273
18	Серы диоксид	SO <sub>2</sub>	64,06	1383	197,7	263	117	396	48	0,5	18	4,898	1227	273
19	Стирол	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104,15	906	242,5	418,4	61,7	614	50	0,002	19	7,267	1604 ,6	222
20	Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,14	866	178	383,8	76,5	518	47	0,6	15	6,9530	1343 ,9	219
21	Формальдегид	CH <sub>2</sub> O	30,03	815	156	254	89,7	373	55	0,003	14	6,9050	847, 1	230
22	Хлор	Cl <sub>2</sub>	70,91	1408	172,1	239,4	123	351	54	0,1	16	9,950	1530	273
23	Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46,07	789	159,1	351,6	78,5	407	52	0,2	17	9,274	2239	273
24	Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	546		184,6	86	252	50	0,2	15	7,637	1096 ,9	320
25	Этилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,11	901	189,6	350,3	69	714	50	0,3	13	7,306	1357 ,7	230
26	2-Этилгексанол	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	130,23	833	203,	456,7	52	671	50	0,02	15	6,6713	1204 ,5	133
27	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,16	779	279,7	353,9	65,3	520	51	0,2	14	6,8450	1203, 223	

# Методические указания по выполнению практической работы №2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ В ТРУБОПРОВОДЕ, ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ ГАЗОВУЮ СМЕСЬ.

### Цель работы:

1. Ознакомиться с методикой определения параметров внутренней среды.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении данных расчетов.

### Общие положения

Ежегодно в атмосферу из технологических оборудований сбрасывается большое количество газов, содержащие вредные вещества. Для расчета количеств выделяющихся вредных веществ из технологического оборудования в атмосферный воздух необходимо знать основные свойства химических соединений и их смесей [1,2].

Плотность жидкости при температуре, отличающейся от  $20^{\circ}\text{C}$ , рассчитывается по формуле

$$\rho_{t\text{ж}} = \rho_{0\text{ж}} \frac{1}{1 + \beta_i(T - T_0)} \quad (1)$$

$\beta_i$  – коэффициент температурного расширения, выражающий относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на 1 градус.

Коэффициент температурного расширения капельных жидкостей незначителен.

При  $t=10 - 20^{\circ}\text{C}$  и  $P=100$  кПа, коэффициент температурного расширения для воды  $\beta = 0,00015$  ( $1/{}^{\circ}\text{C}$ )

Количества вредных веществ, выделяющихся из оборудования и трубопроводов можно принять:

$$\rho_{t\text{ж}} = \rho_{0\text{ж}}$$

Плотность газа или пара при  $t=0^{\circ}\text{C}$  и  $P_0=100$  кПа рассчитывают по формуле:

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4} \quad \text{кг/м}^3 \quad (2)$$

$M$  – относительная молекулярная масса вещества, (кг/кмоль)

22.4 – объем 1 кмоля газа или пара при н.у.,  $\text{м}^3$

Для определения плотности газа или пара при температуре  $t \neq 0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P \neq 100$  кПа используют уравнение Клапейрона:

$$\rho_{tr} = \rho_{0r} \frac{T_0 P}{T P_0} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273 \cdot P}{P_0 \cdot T} \quad (3)$$

Динамическую вязкость газов и паров при  $t \neq 0^{\circ}\text{C}$  рассчитывают по формуле:

$$\mu_{tr} = \mu_{0r} \frac{273 + Sat}{T + Sat} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5} \quad (4)$$

Где  $Sat$  – константа Сатерленда (Таблица 2)

В практических расчетах для расчета динамической вязкости жидкости при  $t \neq 0^{\circ}\text{C}$  при определении количества вредных веществ, выделяющихся через неплотности соединений трубопроводов и оборудования, применяется формула Пуазейля:

$$\mu_{tж} = \frac{\mu_{0ж}}{1 + 0,0368t + 0,000212t^2} \quad (5)$$

Изменение динамической вязкости с изменением температуры является существенным, так, с увеличением температуры от 0 до  $100^{\circ}\text{C}$  вязкость воды уменьшается в 7 раз.

Кинематическая вязкость –  $\nu$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) связана с динамической вязкостью  $\mu$  соотношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

$\mu$  - динамическая вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$

$\rho$  - плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$

Коэффициент диффузии, который необходим для расчетов количества выделяющихся вредных веществ из оборудования, можно рассчитать по след. зависимости:

$$D_0 = \frac{0.8}{\sqrt{M}} \cdot 0.36 \quad (\text{м}^2/\text{ч}) \quad (7)$$

$D_0$  – коэффициент диффузии при н. у.  $t=0^{\circ}\text{C}$  и  $P_0=100\text{kPa}$ .

$M$  – молекулярная масса вещества, [ $\text{кг}/\text{кмоль}$ ].

Коэффициент диффузии при  $t \neq 0^{\circ}\text{C}$  и  $P_0 \neq 100\text{kPa}$  определяют по формуле:

$$D_t = \frac{D_0 * P_0}{p} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \quad (8)$$

При  $P_0 = 100\text{kPa}$ ;  $T_0 = 273\text{K}$ ;

р – давление в оборудовании и трубопроводе;

Т – температура в оборудовании и трубопроводе.

Для определения коэффициента диффузии при любой температуре, используют формулу:

$$D_t = D_{20} [1 + 0,02(t - 200)] \quad (9)$$

В технологических процессах выделяются смеси газов. Как известно, с литературных источников, состав среды в оборудовании и или трубопроводе задается в массовых, объемных или мольных долях. Следовательно, Мольная доля компонента:

$$N_i = \frac{\text{число молей компонентов}}{\text{число молей всех компонентов смеси}} \quad (10)$$

Массовые доли компонентов пересчитывают в мольные – по формуле:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum a_i/M_i} \quad (11)$$

Где  $N_i$  - мольная доля компонента;

$a_i$  - массовая доля компонента;

$M_i$  -молекулярная масса компонента.

Плотность смеси в трубопроводе или в оборудовании определяют по следующей формуле:

$$\rho_{\text{см.ж.}} = \frac{1}{\sum a_i/\rho_{i\text{ж}}} \quad (12)$$

$\rho_{i\text{ж}}$  – плотность  $i$ -го компонента в смеси.

Динамическая вязкость смеси нормальных жидкостей определяется по формуле (Па с):

$$\lg \mu_{\text{см.ж.}} = \sum N_i * \lg \mu_{i\text{ж}} \quad (13)$$

где  $N_i$  - мольная доля компонента в смеси;

$\mu_{i\text{ж}}$  - соответствующий коэффициент динамической вязкости.

Вязкость газовых или паровых смесей в трубопроводе, другими словами парогазовоздушная смесь, определяется по приближенной формуле (14):

$$\mu_{\text{см.г}} = \frac{M_{\text{см.г}}}{\sum \left( \frac{\nu_{i\Gamma} * M_i}{\mu_{i\Gamma}} \right)} \quad (14)$$

где  $M_{\text{см.г}}$  – молекулярная масса смеси газов;

$M_i$  – молекулярная масса отдельных компонентов;

$\nu_i$  - объемные (молярные) доли компонентов в смеси ( $\nu_{i\Gamma} = N_{i\Gamma}$ );  $\mu_{\text{см.г}}$  – коэффициент динамической вязкости смеси газов;

$\mu_{i\Gamma}$  – коэффициент динамической вязкости отдельных компонентов.

$$M_{\text{см.г}} = \sum (N_{i\Gamma} * M_i) \quad (15)$$

Кинематическая вязкость газовой смеси определяется по формуле:

$$\nu_{\text{см}} = \frac{1}{\sum \left( \frac{N_i}{\mu_{i\Gamma}} \right)} \quad (\text{м}^2/\text{с}) \quad (16)$$

Или

$$\nu_{\text{см}} = \frac{\mu_{\text{см.г}}}{\rho_{\text{см.г}}} \quad (17)$$

$\nu_i$  - кинематическая вязкость компонента газовой смеси.

Плотность смеси газов определяется по формуле:

$$\rho_{\text{см.г}} = \sum (N_{i\Gamma} / \rho_{i\Gamma}) \quad \text{кг/м}^3 \quad (18)$$

$N_i$  – мольные доли компонентов газовой смеси;

$\rho_{i\Gamma}$  – плотность соответствующих компонентов.

Как известно, вредные вещества – это смесь веществ, состав которых зависит от температуры, давления, от объемной (мольной) доли каждого вещества в растворе. Поэтому, при расчете количества вредных веществ, выделяющихся со свободной поверхности жидкости, необходимо учесть данный факт.

Давление газовой смеси над раствором равно:

$$P_{\text{см}} = \sum P_i \quad \text{кг/м}^3 \quad (19)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента смеси.

Согласно закону Рауля парциальное давление компонента, входящего в состав смеси, определяется по формуле:

$$P_i = N_i * P_i^{\text{H}} \quad (20)$$

$N_i$  – мольная доля компонента в растворе;

$P_i^H$  – давление насыщенного пара вещества над чистым компонентом при заданной температуре.

Зависимость давления насыщенного пара чистого вещества от температуры описывается уравнением:

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{(C + t)} \quad \text{мм.рт.ст} \quad (21)$$

или

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{T} \quad (22)$$

Значения эмпирических коэффициентов А, В, С (константы Антуана) для чистых веществ приведены в таблице 1.

Парциальное давление насыщенных водяных паров в наружной среде (т. е. в газовой фазе) определяется по формуле:

$$\lg P_{H2O}^H = 0,622 + \frac{7,5 * t}{(238 + t)} \quad (23)$$

где  $t$  - температура наружной среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Парциальное давление водяных паров при заданной влажности наружной среды определяется по формуле:

$$P_{H2O} = P_{H2O}^H * \varphi \quad \text{мм.рт.ст.} \quad (24)$$

где  $\varphi$  - влажность наружной среды, %.

Количественный состав газовой смеси над поверхностью жидкости можно определить если известен объемный или массовый состав смеси в оборудовании и данные о давлении насыщенных паров веществ, составляющих смесь.

Концентрацию насыщенных паров компонента, выраженную в единицах давления, можно пересчитать в объемную концентрацию по следующей формуле:

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i * 1000}{(273 + t) * 133.3} \quad \text{мг/м}^3 \quad (25)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента газовой смеси при заданной температуре и давлении, Па;

$M_i$  - молекулярная масса данного вещества;

1 мм рт. ст. = 133,322 Па.

При температуре 20 градусов формула количественного состава газовой смеси принимает следующий вид [1]:

$$C_i = 0,4096 * P_i^H * M_i \quad \text{мг/м}^3 \quad (25)$$

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

**Задание 1. Определить параметры внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь.**

1. Определить молекулярные массы составляющих газовой смеси.
2. Определить объемные доли составляющих газовой смеси для каждого вещества.
3. Рассчитываем абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе.
4. Определяем парциальное давление составляющей газовой смеси.
5. Определить для каждого вещества концентрацию составляющих газовой смеси.
6. Произведение  $N_i * \rho_i$  для составляющих газовой смеси,  $\text{мг/м}^3$  необходимо перевести в  $\text{кг/м}^3$
7. Определить плотность газовой смеси в трубопроводе.
8. Данные по динамической вязкости составляющих газовой смеси и константу Сатерленда выбираем по таблице.
9. Определить динамическую вязкость составляющих газовой смеси при температуре, заданной по условию задачи.
10. Определить молекулярную массу смеси газов в трубопроводе.
11. Определить динамическую вязкость смеси газов в трубопроводе.
12. Определить кинематическую вязкость смеси газов наружной среды.
13. Определить коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 101308 \text{ Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$
14. Определить коэффициент диффузии составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 202650 \text{ Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ :
15. Определить количество газовой смеси, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений аппарата, г/ч

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

*Исходные данные.* Давление наружной среды  $B = 101325\text{Па}$ ; состав смеси, % масс.: водород 58,9,  $a_{H_2} = 0,589$ ; оксид углерода 7,1,  $a_{CO} = 0,071$ ; метан 34,  $a_{CH_4} = 0,34$ . Температура газовой смеси  $t = 50^\circ\text{C}$ . Избыточное давление в трубопроводе  $P_{изб} = 101325\text{Па}$  [1].

### **Решение**

Молекулярные массы составляющих газовой смеси:

$$M_{H_2} = 2; M_{CO} = 28; M_{CH} = 16.$$

Объемные доли составляющих газовой смеси:

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

Находим для каждого вещества:

$$N_i = \frac{0,589/2}{\sum\left(\frac{0,589}{2} + \frac{0,071}{28} + \frac{0,034}{16}\right)} = 0,92$$

$$N_i = \frac{0,34/16}{0,319} = 0,06$$

$$N_i = \frac{0,071/28}{0,319} = 0,009.$$

Абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе определяется по формуле:

$$P_{abc} = B + P_{изб} = 101325 + 101325 = 202\ 650\ \text{Па},$$

Парциальное давление составляющей газовой смеси определяется по формуле:

$$P_i = n_i * P_{abc}$$

$$P_{H_2} = 202650 * 0,925 = 187451\text{Па}$$

$$P_{CO} = 202650 * 0,009 = 1824\text{Па}$$

$$P_{CH_4} = 202650 * 0,066 = 13745\text{Па}$$

Концентрация составляющих газовой смеси,  $\text{мг}/\text{м}^3$ :

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i}{(273 + t) * 133.3}$$

Находим для каждого вещества:

$$C_B = \frac{16 * 187451 * 2 * 1000}{323 * 133,3} = 139317;$$

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{16 * 13745 * 16 * 1000}{323 * 133,3} = 81724;$$

$$C_{\text{CO}} = \frac{16 * 1824 * 28 * 1000}{323 * 133,3} = 18979.$$

Произведение  $N_i * \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> необходимо перевести в кг/ м<sup>3</sup>

$$N_{\text{H}_2} * \rho_{\text{H}_2} = 139317 (0,1393)$$

$$N_{\text{CH}_4} * \rho_{\text{CH}_4} = 81724 (0,0817)$$

$$N_{\text{CO}} * \rho_{\text{CO}} = 18979 (0,0189)$$

Плотность газовой смеси в трубопроводе:

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

$$\rho_{\text{см}} = 0,1393 + 0,0189 + 0,0817 = 0,24 \text{ кг/м}^3.$$

Динамическая вязкость составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P_0 = 101308 \text{ Па, Па} \cdot \text{с}$ :

$$\mu_{\text{O}_2} = 4,9 \cdot 10^{-6}; \mu_{\text{CO}} = 17,15 \cdot 10^{-6}; \mu_{\text{CH}_4} = 10,29 \cdot 10^{-6}.$$

Константы Сатерленда:

$$Sat_{\text{H}_2} = -528$$

$$Sat_{\text{CO}} = 116$$

$$Sat_{\text{CH}_4} = 118$$

Динамическая вязкость составляющих газовой смеси при температуре  $t = 50^\circ\text{C}$ , Па · с

$$\mu_t = \mu_0 \cdot \frac{273 + Sat}{T + Sat} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5};$$

$$\mu_{H_2} = 4,9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + (-528)}{(273 + 50 - 528)} \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^{1,5} = 7,84 \cdot 10^{-6};$$

$$\mu_{CO} = 17,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 116}{289 + 50 + 116} \left( \frac{323}{273} \right)^{1,5} = 20,10 \cdot 10^{-6};$$

$$\mu_{CH_4} = 10,29 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 118}{289 + 50 + 118} \left( \frac{323}{273} \right)^{1,5} = 12 \cdot 10^{-6}$$

Молекулярная масса смеси газов в трубопроводе:

$$M_{cm} = \sum N_i \cdot M_i —;$$

$$M_{cm} = 0,925 * 2 + 0,009 \cdot 28 + 0,066 \cdot 16 = 3,2.$$

Динамическая вязкость смеси газов в трубопроводе:

$$\mu_{cm} = \frac{M_{cm}}{\sum \frac{N_i \cdot M_i}{\mu_i}}$$

Подставляем значения в уравнение и определяем динамическую вязкость смеси газов

$$\mu_{cm} = \frac{3,2}{\frac{0,925 * 2}{7,84 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,009 \cdot 28}{20 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,066 \cdot 16}{12 \cdot 10^{-6}}} = 9,51 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Кинематическая вязкость смеси газов наружной среды:

$$\nu_{cm} = \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}};$$

$$\nu_{cm} = \frac{9,51 \cdot 10^{-6}}{0,24} = 39,60 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ C$  и

$$P = 101308 \text{ Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}:$$

$$D = \frac{0,8}{\sqrt{M}} \cdot 0,36;$$

$$D_{oH_2} = \frac{0,8}{\sqrt{2}} \cdot 0,36 = 0,204;$$

$$D_{\text{O}_\text{CO}} = \frac{0,8}{\sqrt{28}} \cdot 0,36 = 0,054;$$

$$D_{\text{O}_\text{CH}_4} = \frac{0,8}{\sqrt{16}} \cdot 0,36 = 0,072.$$

Коэффициент диффузии составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 202650\text{Па}$ ,  $\frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ :

$$D_t = D_0 \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^2 \frac{101308}{P};$$

$$D_{H_2} = 0,204 \cdot \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,143;$$

$$D_{\text{CO}} = 0,054 \cdot \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,038;$$

$$D_{H_2} = 0,072 \cdot \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,050.$$

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

$$G_i = V_{\text{см}} * C_i$$

*Задача для самостоятельного решения по лабораторному практикуму №2:*

**Задача 1.** Определить параметры внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь.

*Исходные данные.* Давление наружной среды  $B = 101325\text{Па}$ ; состав смеси, % масс.:  $a, b, c$  (в сумме 100);. Температура газовой смеси  $t, {}^\circ\text{C}$ . Избыточное давление в трубопроводе  $P_{\text{изб}} = 101325\text{Па}$ .

Значения эмпирических коэффициентов  $A, B, C$  (константы Антуана) для чистых веществ приведены в таблице 1 в практической работе №1.

Таблица 2

№ п/п	Жидкость	Химическая формула	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Температура газовой смеси	Константы уравнения Антуана		
					A	B	C
1.	Амиловый спирт	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	811	30	6,3073	1287,625	161,330
2.	Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	1022	40	6,04622	1457,02	176,195
3.	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	791	32	6,37551	1281,721	237,088
4.	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	874	31	5,61391	902,275	178,099
5.	Бутанол	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	806	35	8,72232	2664,684	279,638
6.	Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	655	36	5,99517	1166,274	223,661
7.	Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	684	37	6,07647	1295,405	219,819
8.	Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1260		-	-	-
9.	Диэтиловый эфир	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	714	38	6,9979	1098,945	232,372
10.	Изопрен	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	681	41	6,02825	1080,996	234,668
11.	Ксиол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	876	42	6,58807	1906,796	234,917
12.	Метилацетат	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	933	43	6,19017	1157,63	219,726
13.	Метанол	CH <sub>3</sub> OH	787	44	7,3527	1660,454	245,818
14.	Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	703	45	6,09396	1379,556	211,896
15.	Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	621	46	5,97208	1062,555	231,805
16.	Пропанол	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	801	47	7,44201	1751,981	225,125
17.	Сероуглерод	CS <sub>2</sub>	1260	48	6,12537	1202,471	245,616
18.	Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	867	49	6,0507	1328,171	217,713
19.	Хлороформ	CHCl <sub>3</sub>	1483	35	-	-	-
20.	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	773	36	5,96991	1203,526	222,863
21.	Циклогексанон	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	950	37	6,33089	1670,009	230,312
22.	Этилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	900	38	6,22672	1244,951	217,881
23.	Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	785	32	7,81158	1918,508	252,125
24.	Этилформиат	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	917	36	6,13395	1123,943	218,247

**Вопросы для самоконтроля по теме 2:**

1. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе добычи нефти.
2. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе транспортировки нефти.
3. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе хранении нефти и нефтепродуктов.
4. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе сборе переработки нефти.
5. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе обезвреживания отходов нефтепереработки.
6. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе обезвреживания отходов газопереработки.
7. Замкнутая система водооборота на предприятиях нефтегазового комплекса.
8. Химические реагенты в технологии добычи нефти и газа. Влияние на окружающую среду и охрана окружающей среды
9. Экологические последствия подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на объектах нефтегазового комплекса
10. Защита водного бассейна от загрязнений нефтегазовых предприятий

# **Методические указания по выполнению практической работы №3,4**

## **«РАСЧЕТЫ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ»**

### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с методикой расчетов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Поступление вредных веществ в воздух может быть вызвано следующими физико-химическими процессами: истечением вследствие разности давлений в оборудовании и наружной среде, 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, газовоздушных балансов, а также расчетным путем [1,2].

### **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 [1]:

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

где 3,57 – коэффициент,  $^{\circ}\text{C}^{1/2}$   $\text{см}^2/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ ;  $\eta$  – коэффициент запаса, принимаемый равным 2;  $P_{изб}$  – избыточное давление, Па;  $m$  – коэффициент негерметичности, характеризующий падение давления в аппарате,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $V$  – объем аппарата, занимаемый газовой (паровой) фазой,  $\text{м}^3$ ;  $T$  – абсолютная температура газа или пара в аппарате, К;  $M$  – молярная масса газа или пара.

Допустимые значения коэффициентов негерметичности приведены в табл. 1.

Таблица 1 Допустимые значения коэффициентов негерметичности

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч <sup>-1</sup>
цеховые	Токсичная и горючая	0,0005
	Горючая	0,001
межцеховые	Токсичная и горючая	0,001
	Горючая	0,001

*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  $\eta = 1,5$ :

$$G = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 \cdot P_{изб} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ кг/ч}, \quad (2)$$

Таблица 2 Допустимые значения коэффициентов негерметичности

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч <sup>-1</sup>
Газовые компрессоры, технологическое оборудование с трубопроводами и другое оборудование, работающее под давлением:		
вновь установленные	Горючая Пожаро- и взрывоопасная	0,001 0,002
повторное испытание	То же	0,005
Трубопроводы для горючих, токсичных и сжиженных газов и паров:		
цеховые	Токсичная и горючая Горючая	0,005 0,001

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 1.** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода.

1. Определить относительные молекулярные массы составляющих газовой смеси. (Номер варианта задания соответствует порядковому номеру фамилии в журнале)
2. Определить мольные доли составляющих газовой смеси.
3. Определить абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе.
4. Определить парциальное давление составляющих газовой смеси.
5. Определить концентрации составляющих газовой смеси.
6. Произведение  $\nu_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси из  $\text{мг/м}^3$  перевести в  $(\text{кг/м}^3)$ .
7. Определить плотность газовой смеси в трубопроводе.
8. Определить молекулярную массу газовой смеси в трубопроводе.
9. Определить объем газов в трубопроводе. Коэффициент негерметичности фланцевых соединений трубопровода (табл. 2.1).
10. Определить количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.
11. Определить объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов.
12. Определить количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

**Пример 1.** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода ( $d = 108 \text{ мм}$ . 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  $t = 50^\circ\text{C}$ . Избыточное давление в трубопроводе  $P_{изб} = 209060 \text{ Па}$ . Давление наружной среды  $B = 101325 \text{ Па}$ .

### 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:

$$N_{H_2} = \frac{0,589 / 2}{0,589 / 2 + 0,71 / 28 + 0,34 / 16} = 0,925;$$

$$N_{CO} = \frac{0,071 / 28}{0,319} = 0,009;$$

$$N_{CH_4} = \frac{0,34 / 16}{0,319} = 0,066.$$

Абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе:

$$P_{\text{абс}} = B + P_{\text{изб}};$$

$$P_{\text{абс}} = 209060 + 101325 = 310385 \text{ Па.}$$

Парциальное давление составляющих газовой смеси:

$$P_i = n_i \cdot P_{\text{абс}} \text{ Па;}$$

$$P_{H_2} = 310385 \cdot 0,925 = 287106;$$

$$P_{CO} = 310385 \cdot 0,009 = 2794;$$

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

Концентрации составляющих газовой смеси:

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

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

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

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

Произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси,  $\text{мг/м}^3$  ( $\text{кг/м}^3$ ):

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

$$v_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4} = 29072(0,029).$$

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

Плотность газовой смеси в трубопроводе:

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

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

Молекулярная масса газовой смеси в трубопроводе:

$$M_{\text{см}} = \sum (N_i \cdot M_i);$$

$$M_{\text{см}} = 0,925 \cdot 2 + 0,009 \cdot 28 + 0,066 \cdot 16 = 3,2.$$

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:

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

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

Объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов:

$$V_{\text{см}} = \frac{G_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}};$$

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

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

$$G_i = V_{\text{см}} \cdot C_i;$$

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

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

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

По окончании проведения всех расчетов необходимо сформулировать выводы о проделанной работе.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 2.** Определить количество вредных веществ через неплотности фланцевых соединений. При известной степени заполнения.

1. Определить молекулярные массы составляющих газовой среды.
2. Определить мольные доли составляющих жидкости.
3. Из Приложения находим эмпирические коэффициенты А, В, С для каждого компонента смеси жидкости.
4. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами.
5. Определить парциальное давление паров компонента над смесью жидкостей (поступивших из жидкости).
6. Определить парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде.
7. Определить давление водяных паров в газовой среде при заданной влажности.
8. Определить полное давление среды в аппарате.
9. Определить парциальное давление примеси (аммиака) в газовой фазе.
10. Определить парциальное давление основного газового компонента – воздуха.
11. Определить объемные доли газовых составляющих.
12. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
13. Определить произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, и перевести мг/м<sup>3</sup> в (кг/м<sup>3</sup>)
14. Определить плотность газовой смеси в аппарате.
15. Определить молекулярную массу смеси газов в аппарате.
16. Определить объем, занимаемый газовой фазой в аппарате.
17. Определить количество газовой смеси, выделяющейся из аппарата. При определении данного параметра необходимо посмотреть условия задачи.

**Пример 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, дихлорэтан 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\phi = 50 \%$ . Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Давление наружной среды  $B = 101325 \text{ Па}$ . Избыточное давление среды в аппарате  $P_{изб} = 101325 \text{ Па}$ .

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

Молекулярные массы составляющих газовой среды:

$$M_{H_2O} = 18,015; M_B = 78,10; M_D = 98,97; M_B = 28,96; M_{NH_3} = 17,81.$$

Мольные доли составляющих жидкости:

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

$$N_{H_2O} = \frac{0,4 / 18,015}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,7637;$$

$$N_B = \frac{0,3 / 78,10}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,1321;$$

$$N_D = \frac{0,3 / 98,7}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,1042.$$

Из Приложения находим эмпирические коэффициенты A, B, C для каждого компонента смеси жидкости:

$$\text{Вода} \quad A = 7,9608; \quad B = 1678,0; \quad C = 230,0;$$

$$\text{Бензол} \quad A = 6,9120; \quad B = 1214,6; \quad C = 221,2;$$

$$\text{Дихлорэтан} \quad A = 7,1840; \quad B = 1358,5; \quad C = 232,0.$$

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами:

$$\lg P_i'' = A - \frac{B}{C + t};$$

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678/(230 + 40) = 1,746;$$

$$P_{H_2O}'' = 56,7 \text{ммрт. ст.}, \text{или} 7541,1 \text{Па};$$

$$\lg P_B'' = 6,912 - 1214,6/(221,2 + 40) = 2,262;$$

$$P_B'' = 182,5 \text{ммрт. ст.}, \text{или} 24272,5 \text{Па};$$

$$\lg P_D'' = 7,184 - 1358,5/(232 + 40) = 2,190;$$

$$P_D'' = 155 \text{ммрт. ст.}, \text{или} 20615 \text{Па}.$$

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

$$P_i = N_i \cdot P_i'';$$

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

$$P_B = 24272,5 \cdot 0,1321 = 3206,4 \text{ Па};$$

$$P_D = 20615 \cdot 0,1042 = 2148,04 \text{ Па.}$$

Парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде:

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot t / (238 + t);$$

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

$$P_{H_2O}'' = 50,2 \text{ ммрт. ст. , или} 6876 \text{ Па.}$$

Давление водяных паров в газовой среде при заданной влажности:

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}'' \cdot \varphi;$$

$$P_{\text{г}H_2O} = 50,2 \cdot 0,5 = 25,1 \text{ ммрт. ст. , или} 3338 \text{ Па.}$$

Полное давление среды в аппарате:

$$P_{\text{абс}} = B + P_{\text{изб}};$$

$$P_{\text{абс}} = 101325 + 101325 = 202650 \text{ Па.}$$

Парциальное давление примеси (аммиака) в газовой фазе:

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

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

В табл. 3 приведены возможные парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью.

Таблица 3 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:

$$P_B = 202650 - (5759 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 191535,5 \text{ Па.}$$

Объемные доли газовых составляющих:

$$\nu_i = \frac{P_i}{P_{\text{абс}}};$$

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

$$\nu_B = 3206/202650 = 0,0158;$$

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

$$\nu_D = 2148/202650 = 0,0106;$$

$$\nu_B = 191535,5/202650 = 0,9451.$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

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

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

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

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

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

$$C_{NH_3} = 10.$$

Произведение  $\nu_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>):

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

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

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

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

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

Плотность газовой смеси в аппарате:

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

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

Молекулярная масса смеси газов в аппарате:

$$M_{cm} = \sum (N_i \cdot M_i);$$

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

Объем, занимаемый газовой фазой в аппарате:

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

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

Количество газовой смеси, выделяющейся из аппарата:

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

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

Объем газовой смеси, вылевающейся из аппарата:

$$V_{cm} = \frac{G_{cm}}{\rho_{cm}};$$

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

Таблица 1 Дополнительная информация

Вещество	Формула	Молекулярная масса	Плотность жидкости при Н.У., кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, К	Температура кипения, К	Динамическая вязкость * 10 <sup>7</sup> , Па * с, при Н.У.	Константа Сатерленда	Константы Антуана для определения парциального давления паров жидкости			Интервал температур для констант Антуана	
								Sat	A	B	C	min
Дихлорметан	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,94	1325	178,1	313	91	425	7,071	1134,6	231	—	
1,2-Дихлорпропан	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub>	112,99	1150	172,7	370,0	77	544	6,9654	1296,4	221	288	408
1,1-Дихлоретан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,97	1168	176,2	330,5	86	486	6,9852	1171,4	228	242	352
1,2-Дихлоретан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,97	1254	273,2	356,7	61	524	7,661	1640,2	260	252	356
Диэтиламин	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	73,14	707	223,4	328,6	66,2	484	7,2231	1267,5	236	240	332
Диэтиленгликоль	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	106,12	1116	265	519	60	632	8,1527	2727,3	273	—	—
Додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,34	763,3	263,6	489,4	22 640	719	8,1708	2463,7	254	321	490
Додеканол	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O	186,33	835	297,1	533,1	43	789	6,6289	1408	116	407	580
Изопропиламин	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> N	59,11	717	190	307,2	70	452	6,9468	1108,2	224	235	350
Изопропилбензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,18	878,6	177,2	425,5	10 750	625	6,9377	1461,0	208	276	926
Йод	I <sub>2</sub>	253,80	4940	386,8	458,7	123	568	16,250	3158	2,0	—	—
Керосин	Смесь		819	—	568,7	52,5	650	6,0000	1223,9	203	—	—
Кислород	O <sub>2</sub>	31,99	1149	54,4	90,15	191	133	6,6913	319,01	267	63	100
Кислота уксусная	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60,05	1049	289,8	391,1	72	575	7,557	1642,5	273	273	391
Кислота хлороводородная	HCl	36,46	1149	—	358,3	137	356	8,443	1023,1	273	—	—
Кислота хлоруксусная	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Cl	94,50	1580	—	462,3	78,5	679	12,486	3160	273	—	—
м-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1034	285,4	475,9	—	700	7,5079	1856,3	199	370	480
п-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1019	307,9	475,6	—	699	7,0350	1511,1	162	370	480
о-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1028	304,1	464,0	—	682	6,9116	1435,5	165	370	480

Вещество	Формула	Молекулярная масса	Плотность жидкости при Н.У., $\text{kg/m}^3$	Температура плавления, К	Температура кипения, К	Динамическая вязкость* 107, Па $\cdot$ с, при Н.У.	Константа Сатерлена	Константы Антуана для определения парциального давления паров жидкости			Интервал температур для констант Антуана	
								Sat	A	B	C	min
Водород	$\text{H}_2$	2,02	71	13,96	20,35	83	30	5,9208	71,614	270	14	25
Гексадекан	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	226,45	226,45	291,4	559,9	—	823	6,7875	1656,4	137	378	560
н-Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	86,18	660	177,8	341,9	59	436	6,870	1166,3	224	219	342
Гексанол-1	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	102,17	—	221,21	430,4	—	632	7,2780	1420,3	165	329	430
Гелий	He	4,003	123	1,75	4,25	190	6	5,3207	14,649	271	4	4
н-Гептадекан	$\text{C}_{17}\text{H}_{36}$	240,48	778	295	575,2	37	846	7,0142	1865,1	149	434	610
Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	100,20	700,5	182,2	371,6	5260	546	6,9515	1295,4	220	213	371
Гептанол-1	$\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O}$	116,20	822	239,2	449,0	54	660	6,6476	1140,6	127	333	449
Декалин (транс)	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}$	138,25	870	242,8	460,4	57	677	6,8613	1568,1	207	363	470
Декалин (цис)	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}$	138,25	897	230	468,9	57	689	6,8753	1594,5	203	368	495
Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	142,29	745,1	243,2	447,3	12 700	657	7,3953	1810,0	228	290	447
Деканол	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{O}$	158,28	830	280,1	503,4	46	740	6,9224	1472,0	134	376	503
2,2'-Диметилбутан	$\text{C}_8\text{H}_{14}$	86,178	649	173,3	323,1	63	475	6,7548	1081,2	229	230	350
2,3-Диметилбутан	$\text{C}_8\text{H}_{14}$	86,178	662	144,6	331,1	62	487	6,8098	1127,2	229	235	354
2,2-Диметилгексан	$\text{C}_9\text{H}_{18}$	114,23	645	152	382,0	55	562	6,8371	1273,6	215	276	405
2,3-Диметилгексан	$\text{C}_9\text{H}_{18}$	114,23	712	—	388,8	54	572	6,8700	1315,5	214	283	415
2,2-Диметилпентан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	100,21	674	149,4	352,2	58	518	6,8147	1190	223	254	378
2,3-Диметилпентан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	100,21	695	—	362,9	58	533	6,8537	1238	222	262	388
Дифенил	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$	154,22	1180	342,4	528,8	52	664	8,569	2565	273	—	—
Дифенилметан	$\text{C}_{13}\text{H}_{12}$	168,24	1006	300	537,5	—	790	6,2910	1260,5	105	473	563

**Задача для самостоятельного решения.**

1. В трубопроводе перекачивается смесь. В процессе эксплуатации произошла авария. При повторном испытании, после ремонта, произошла утечка вредных веществ, через неплотности фланцевых соединений.

Определить:

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.

Объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов.

Количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода

Данные для решения задачи

Размеры трубопровода.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
Диаметр, d мм	113	101	102	103	104	105	106	107	109	110
Толщина стенки, мм	4	4,5	3,5	3	3,7	3,8	4,5	4,6	4,3	3,9
Длина м	140	147	150	149	146	145	143	155	160	153

Состав смеси, перекачиваемой по трубопроводу

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
метан	58,9			8,2	24,4	41	7,7	11,9	20,9	49,6
этан	6,3	34,5		61,3		36,8			22,4	
пропан	34,8					22,2			56,7	
дихлорэтан		65,5			75,6		58,3	11,3		7,4
сера			53,3	30,5			34			10,9
бензол			46,7					76,8		32,1

Температура газовой смеси

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, °C	49	47	42	45	46	41	48	52	53	54

Избыточное давление в трубопроводе,  $P_{изб}$ , Па

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{изб}$ , Па	20906 0	20906 1	20905 7	20905 6	20905 8	20905 9	20906 1	20906 2	20906 3	20906 4

Давление наружной среды  $B = 101325$  Па.

Рассмотреть случаи из таблицы 4:

1. Цеховое помещение
2. Вновь смонтированное оборудование.
3. Повторное испытание.
4. Цеховое помещение
5. Вновь смонтированное оборудование
6. Вновь смонтированное оборудование
7. Цеховое помещение
8. Вновь смонтированное оборудование
9. Вновь смонтированное оборудование
10. Цеховое помещение

Таблица 4 Допустимые значения коэффициентов негерметичности

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

**Задача 2.** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений из аппарата диаметром и высотой. Степень заполнения жидкостью

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, в сумме должно быть 100. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\phi$ , %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3}$ , мг/м<sup>3</sup>. Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t$ , °С. Давление наружной среды  $B = 101325$  Па. Избыточное давление среды в аппарате  $P_{изб} = 101325$  Па.

Конструкция аппарата

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр, м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	1,3	1,45	1,35	1,62
Высота, м	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,4	2,5	2,6

Степень заполнения жидкостью,  $k_3$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень заполнения	0,6	0,5	0,4	0,6	0,63	0,65	0,59	0,64	0,67	0,7

Влажность воздуха  $\phi$ ,

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\phi$ %	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54

Температура жидкости и газовой среды в аппарате

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , $^{\circ}\text{C}$	37	38	39	41	42	43	44	36	35	34

Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3}$ , мг/м<sup>3</sup>

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_{NH_3}$ , мг/м <sup>3</sup>	9	8	7	8,5	7,6	9,5	8,7	11	10,6	12

**Рассмотреть случаи:**

1. Цеховое помещение
2. Вновь смонтированное оборудование.
3. Повторное испытание.
4. Цеховое помещение
5. Вновь смонтированное оборудование
6. Вновь смонтированное оборудование
7. Цеховое помещение
8. Вновь смонтированное оборудование
9. Вновь смонтированное оборудование
10. Цеховое помещение

**Вопросы для самоконтроля по теме 3,4**

1. Методы и технологические схемы очистки, обезвреживания и утилизации буровых сточных вод, отработанных растворов и шлама.
2. Мероприятия по охране окружающей среды при бурении скважин.
3. Мероприятия по охране окружающей природной среды при сборе, хранении, очистке и обезвреживании отходов.
4. Захоронение, обезвреживание и утилизация производственных шламов .

5. Принципы создания безотходных и малоотходных производств в нефтяной и газовой промышленности.
6. Химические реагенты в технологии добычи нефти и газа и охрана окружающей среды
7. Химические реагенты для буровых растворов
8. Химические реагенты для увеличения нефтеотдачи пластов
9. Химические реагенты для борьбы с соле-, асфальtosмолистыми и парафиновыми отложениями.
10. Методы переработки отходов нефтехимической промышленности

# **Методические указания по выполнению практической работы №5 «КОНЦЕНТРАЦИЯ ГАЗА В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВБЛИЗИ ПОВРЕЖДЕННОГО ГАЗОПРОВОДА»**

## **Цель работы:**

1. Ознакомиться с методикой определения параметров среды производственного помещения.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Основная причина рассеяния загрязнений в атмосфере турбулентность воздуха. С понижением температуры воздуха мере удаления от поверхности земли вертикальные потоки воздушных масс усиливаются, что способствует увеличению турбулентности и рассеиванию загрязнителей в атмосфере. Если же с высотой температура воздуха увеличивается (температура инверсия), то движение воздуха и рассеивание загрязнителя существенно сокращаются. В связи с этим в основу классификации устойчивости атмосферы положен температурный градиент (таблица 1) [3].

Классификация устойчивости атмосферы (по Пасквиллу)

Таблица 1

Категория устойчивости атмосферы		Температурный градиент, $\Delta T/\Delta z$ , $^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$
A	Наибольшая устойчивость	Менее -1,9
B	Умеренная устойчивость	-1,9; -1,7
C	Слабая неустойчивость	-1,7; -1,5
D	Нейтральная устойчивость	-1,5; -0,5
E	Слабая устойчивость	-0,5; 1,5
F	Умеренная устойчивость	1,5; 4
G	Наибольшая устойчивость	Более 4

Поврежденный газопровод можно рассматривать как точечный источник загрязнения в случае локального нарушения герметичности и как линейный источник – при протяженных разрушениях.

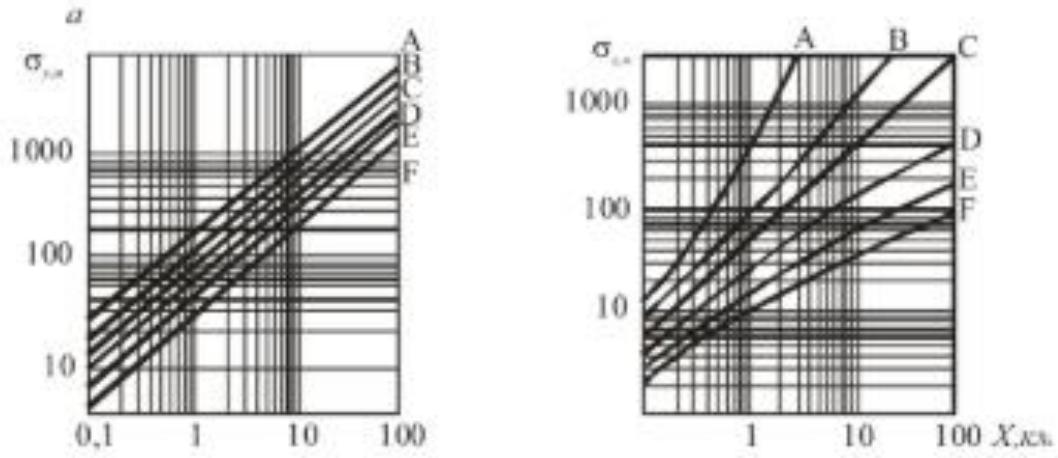


Рис.1 Номограммы для определения дисперсий распределения концентрации в направлении осей Y (а), Z (б),  
A, B, C, D, E, F – категории устойчивости атмосферы

Концентрация газа в точке М с координатами X, Y, Z при локальном повреждении газопроводов Белов и Требии рекомендуют определять по формуле (1)

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_o} \cdot \exp \left[ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right], \quad (1)$$

где Q-количество газа, выделенного источником;  $\sigma_y, \sigma_z$ -дисперсии распределения концентрации в направлении осей соответственно Y и Z,

$u_o$ - средняя скорость ветра в направлении оси x.

В случае линейного источника загрязнения длиной l, расположенного под прямым углом к направлению ветра (рис.1, а), концентрацию газа в точке М можно определить по формуле Шаприцкого:

$$C(x, y, z) \approx \frac{500Q}{\pi^{0,5} \cdot \sigma_z \cdot u_o \cdot x} \left\{ \exp \left[ -\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2 \cdot x^2} \right] + \exp \left[ -\frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2 \cdot x^2} \right] \right\} \times \times \left[ \operatorname{erf} \frac{y + 0,5 l}{\sigma_y \cdot x} - \operatorname{erf} \frac{y - 0,5 l}{\sigma_y \cdot x} \right] \quad (2)$$

где H-высота источника над землей, м.

Для подземных и наземных трубопроводов H в формуле (2) принимают равной нулю.

Точная оценка мощности линейного источника затруднительна, поскольку она является функцией давления и температуры газа, которые в рассматриваемом случае переменны во времени. Однако для приближенных

расчетов  $Q$  можно оценить по максимальному объему газа, выделяющегося из газопровода, и средней продолжительности его истечения.

Контур области загрязнения, в пределах которого концентрация ингредиента равна или выше ПДК, можно определить, если приравнять левую часть выражений (1) и (2) к значению ПДК, установленного для данного ингредиента, и вычислить  $X$  при фиксированных значениях  $Y$ .

В тех случаях, если направление ветра образует некоторый угол  $\varphi$  с осью газопровода (рис. 1, б), то расчетная длина источника в формуле (2)  $l' = l \cdot \sin \varphi$ .

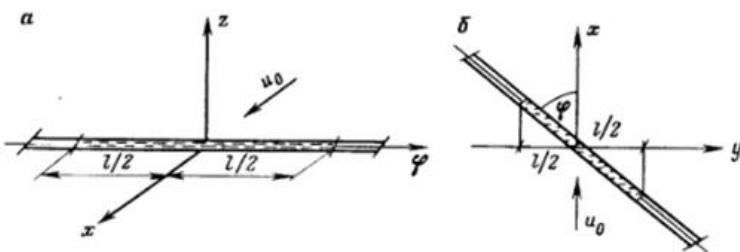


Рис. 2. Расчетная схема для определения области загрязнения от линейного источника

## РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВБЛИЗИ ПОВРЕЖДЕННОГО ГАЗОПРОВОДА

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

**Задание 1. Расчет концентрации газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода.**

1. Определить по номограмме (рисунок 1) распределение концентрации.
2. Определить концентрацию газа.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

Рассматривая поврежденный газопровод как точечный источник загрязнения, определить концентрацию газа в точке с координатами  $Y=2$  км,  $Z=2$  км на расстоянии  $X=2$  км от места утечки. Средняя скорость ветра в направлении оси  $X$  составляет 4 м/с, количество газа, выделяющегося из газопровода, -1 кг/ч.

#### Решение

По номограммам (рис. 1) определим дисперсии распределения концентрации газа в направлении осей  $Y$  и  $Z$  в зависимости от удаленности точки от места утечки ( $X$ ) и устойчивости атмосферы ( $F$ ):  $\sigma_y = 60$  м,  $\sigma_z = 17$  м.

С помощью формулы 1 можно рассчитать концентрацию газа в заданной точке пространства:

$$C = \frac{1 \cdot 10^6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 17 \cdot 60} \cdot \exp \left[ -\frac{4}{2 \cdot (60)^2} + \frac{4}{2 \cdot (17)^2} \right] = 0,021 \text{ мг/м}^3.$$

### Задание по лабораторному практикуму 5.

**Задача 1.** Рассматривая поврежденный газопровод как точечный источник загрязнения, определить концентрацию газа в точке с координатами  $Y$  км,  $Z$  км на расстоянии  $X$  км от места утечки. Средняя скорость ветра в направлении оси  $X$  составляет м/с, количество газа, выделяющегося из газопровода, -1 кг/ч.  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  определить из намограммы

Точка с координатами

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Y$ , км	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$Z$ , км	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5

Расстояние  $X$ , км от места утечки

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X$	2	3	4	5	1	2	4	5	3

Средняя скорость ветра в направлении оси  $X$ , м/с

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X$	3	4	5	2	3	4	5	6	4

Категория устойчивости атмосферы		Температурный градиент, $\Delta T/\Delta z, {}^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$
A	Наибольшая устойчивость	Менее -1,9
B	Умеренная устойчивость	-1,9; -1,7
C	Слабая неустойчивость	-1,7; -1,5
D	Нейтральная устойчивость	-1,5; -0,5
E	Слабая устойчивость	-0,5; 1,5
F	Умеренная устойчивость	1,5; 4
G	Наибольшая устойчивость	Более 4

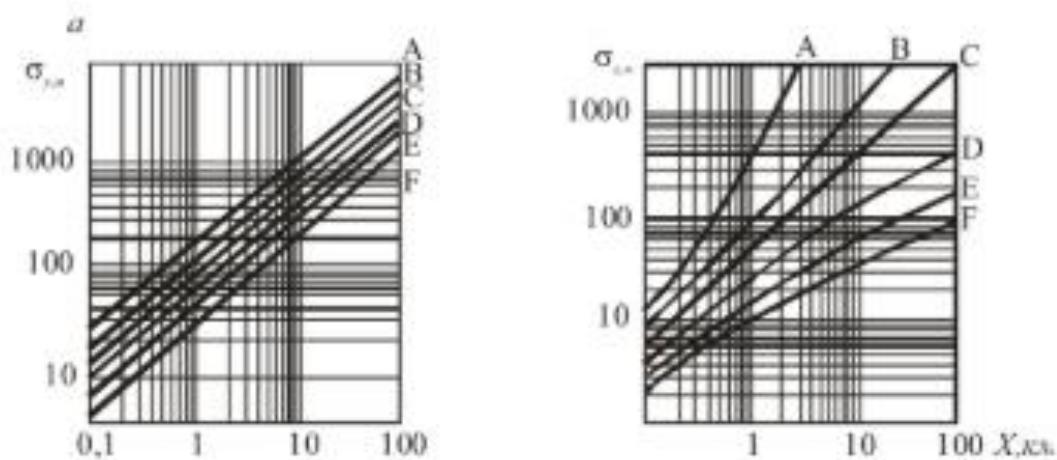


Рис.1 Номограммы для определения дисперсий распределения концентрации в направлении осей Y (а), Z (б),  
A, B, C, D, E, F – категории устойчивости атмосферы

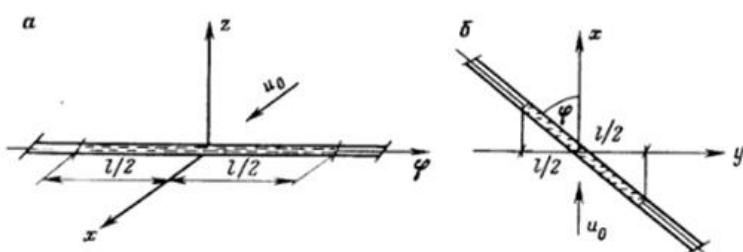


Рис. 2. Расчетная схема для определения области загрязнения от линейного источника

Вопросы для самоконтроля по теме 5:

1. Три основные категории, загрязняющие землю отходами.
2. Основные отходы нефте- газоперерабатывающей промышленности.
3. Классификация отработанных нефтепродуктов.
4. Строительство и эксплуатация амбаров. Последствия.
5. Источники загрязнения при бурении скважины.
6. Сбор и хранение отходов бурения.
7. Классификация отходов в нефте-, газохимической отрасли.
8. Основные моменты при строительстве амбаров, для хранения буровых растворов.
9. Приготовление буровых растворов. Применение реагентов.
10. Транспортировка буровых растворов

**Методические указания по выполнению практической работы №6**  
**«РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ В**  
**АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ «БОЛЬШОМ» И «МАЛОМ**  
**ДЫХАНИИ» АППАРАТА»**

***Цель работы:***

1. Ознакомиться с методикой расчета вредных веществ при большом и малом дыхании.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

*1. Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом дыхании» аппарата*

«Большим дыханием» называют вытеснение паров наружу или подсос воздуха внутрь аппаратов при изменении в них уровня жидкости [1]. Наполнение аппарата (например, резервуара) почти всегда происходит при постоянных температуре и давлении в ёмкости ( $P_{раб}$ ). Объём вытесняемых газов (или паров при наполнении аппарата) будет [3]:

$$V_\Gamma = V_1 - V_2, \quad (1)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объем газов или паров в аппарате до и после его наполнения,  $\text{м}^3$ .

Масса теряемых при дыхании газов или паров за цикл, кг/цикл:

$$G_{\text{CM}} = V_\Gamma \cdot \rho_{\Gamma_{\text{CM}}} = (V_1 - V_2) \cdot \rho_{\Gamma_{\text{CM}}}, \quad (2)$$

где  $\rho_{\Gamma_{\text{CM}}}$  – плотность газов или паров,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

*2. Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «малом дыхании» аппарата*

«Малым дыханием» называют вытеснение газов или паров наружу или подсос воздуха внутрь аппарата, вызываемые изменением температуры газов или паров под влиянием внешней среды. При «малом дыхании» уровень жидкости изменяется очень незначительно, следовательно, объем газового или парового пространства аппарата остается постоянным. Давление газовой смеси  $P_{раб}$  в аппарате также остается неизменным, так как ее избыток удаляется через систему дыхательных клапанов.

Если весь период при «малом дыхании» температура равномерно изменяется от  $t_1$  до  $t_2$ , то равномерно изменяется и концентрация насыщенных паров от  $C_1$  до  $C_2$ . Если температура при «малом дыхании» изменяется неравномерно, то весь период

делят на небольшие отрезки времени и находят изменение температуры и соответствующие потери газовой смеси за каждый промежуток времени, а затем определяют общие потери. «Малое дыхание» характерно, главным образом, для аппаратов, расположенных вне помещений. Объем вытесняемых газов или паров при «малом дыхании» можно найти из следующего выражения:

$$V_{\Gamma} = V \cdot \beta \cdot (t_2 - t_1) = V \cdot \frac{\Delta t}{273}, \quad (3)$$

где  $V_{\Gamma}$  – увеличение объема газа или паром,  $\text{м}^3$ ;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения;  $\Delta t$  – изменение температуры газа или пара над жидкостью.

Масса теряющегося при дыхании вещества, кг/цикл, определяется из выражения:

$$G_i = V_{\Gamma} \cdot C_{i \text{ cp}} \quad (4)$$

где  $C_{i \text{ cp}}$  – средняя концентрация насыщенных паров определяемого вещества за период дыхания,  $\text{г}/\text{м}^3$ :

$$C_{i \text{ cp}} = (C_{i1} + C_{i2})/2, \quad (5)$$

где  $C_{i1}$  и  $C_{i2}$  – концентрации насыщенных паров при  $t_1$  и  $t_2$ .

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 1. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через воздушку при «большом дыхании» аппарата.**

1. Определить парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью.
2. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
3. Определить объем газовой смеси перед заполнением аппарата.
4. Определить объем газовой смеси после заполнением аппарата.
5. Определить объем вытесненной газовой смеси из аппарата за 40 мин.
6. Определить количество составляющих газовой смеси, вытесненных из аппарата за 40 мин.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода – 40; бензол – 30 и дихлорэтан – 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ . Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t = 40^\circ\text{C}$ . Давление наружной среды  $B = 101\,325$  Па. Диаметр аппарата 1,4 м. Высота аппарата 2,5 м. Высота уровня жидкости перед заполнением 0,2 м. Время заполнения аппарата 40 мин при степени заполнения  $k_3 = 0,7$ .

### ***Решение***

Определяем возможные парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью:

$$P_{H_2O} = 5759; P_B = 3206; P_D = 2148; P_{NH_3} = 1,503 \text{ Па.}$$

Парциальное давление основного газового компонента – воздуха:

$$P_B = 101\,325 - (5759 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 90210,5 \text{ Па.}$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

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

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

$$C_B = 16 \cdot 3206,4 \cdot 78,10 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 96258;$$

$$C_D = 16 \cdot 2148 \cdot 98,87 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 81710;$$

$$C_{NH_3} = 10;$$

$$C_B = 16 \cdot 90210,5 \cdot 28,96 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 998800;$$

Объем газовой смеси перед заполнением аппарата:

$$V_1 = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3);$$

$$V_1 = 3,14 \cdot 1,4 \cdot (2,5 - 0,2) = 10,1 \text{ м}^3.$$

Объем газовой смеси после заполнением аппарата:

$$V_2 = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3);$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 1,4 \cdot (1 - 0,7) = 3,3 \text{ м}^3.$$

Объем вытесненной газовой смеси из аппарата за 40 мин:

$$V_\Gamma = V_1 - V_2;$$

$$V_\Gamma = 10,1 - 3,3 = 6,8 \text{ .}$$

Количество составляющих газовой смеси, вытесненных из аппарата за 40 мин:

$$G_i = V_T - C_i \cdot \varrho$$

$$G_{H_2O} = 6,8 \cdot 39876 \cdot 10^{-3} = 271;$$

$$G_B = 6,8 \cdot 96258 \cdot 10^{-3} = 655;$$

$$B = 6,8 \cdot 81710 \cdot 10^{-3} = 556;$$

$$G_{NH_2} = 6,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,068;$$

$$G_B = 6,8 \cdot 999800 \cdot 10^{-3} = 6800;$$

По окончании проведения всех расчетов необходимо сформулировать выводы о проделанной работе

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 2.** Определить количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух через воздушку аппарата при изменении в течение 1 ч температуры жидкости и газовой среды в аппарате с 40 до 42°C.

1. Определить относительные молекулярные массы составляющих газовой и жидких сред.
2. Найти эмпирические коэффициенты для каждого компонента смеси жидкостей.
3. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами.
4. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над смесью жидкостей.
5. Определить парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде.
6. Определить парциальное давление водяных паров при заданной влажности.
7. Определить парциальное давление примеси (аммиака) в газовой среде.
8. Определить парциальные давления основного газового компонента воздуха.
9. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
10. Определить среднюю концентрацию компонентов газовой смеси.
11. Определить объем газовой смеси в аппарате.
12. Определить увеличение объема газовой смеси при изменении температуры.

13. Определить изменение температуры газовой смеси в аппарате.
14. Определить увеличение объема газовой смеси при изменении температуры.
15. Определить количество составляющих газовой смеси, выделяющихся из аппарата при малом дыхании

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс): вода – 40; бензол – 30 и дихлорэтан – 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ . Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Давление наружной среды  $B = 101\ 325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата 1,4 м. Высота аппарата 2,5 м. Степень заполнения аппарата жидкостью  $k_3 = 0,7$ .

### *Решение*

Относительные молекулярные массы составляющих газовой и жидкой сред:

$$M_{H_2O} = 18,015; M_{Б} = 78,10; M_{Д} = 98,97; M_{В} = 28,96; M_{NH_3} = 17,31.$$

Мольные доли составляющих жидкости:

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

$$N_{H_2O} = \frac{0,4/18,015}{0,4/18,015+0,3/78,10+0,3/98,97} = 0,7637;$$

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

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

Из Приложения находим эмпирические коэффициенты для каждого компонента смеси жидкостей:

$$\text{Вода} \quad A = 7,9608; \quad B = 1678; \quad C = 230;$$

$$\text{Бензол} \quad A = 6,912; \quad B = 1214,6; \quad C = 221,2;$$

$$\text{Дихлорэтан} \quad A = 7,184; \quad B = 1358,5; \quad C = 232.$$

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами:

$$\lg P_i'' = A - B/(C+t); \text{ при } t = 40^\circ\text{C}:$$

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678/(230 + 40) = 1,746;$$

$$P_{H_2O}'' = 56 \text{ мм рт.ст., или } 7541,1 \text{ Па;}$$

$$\lg P_{\text{Б}}'' = 6,912 - 1213,6/(221,2 + 40) = 2,262;$$

$$P_{\text{Б}}'' = 182,5 \text{ мм рт.ст., или } 24272,5 \text{ Па;}$$

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

$$P_{\text{Д}}'' = 155 \text{ мм рт.ст., или } 20615 \text{ Па;}$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678/(230 + 42) = 1,792;$$

$$P_{H_2O}'' = 61,8 \text{ мм рт.ст., или } 8239 \text{ Па;}$$

$$\lg P_{\text{Б}}'' = 6,912 - 1214,6/(221,2 + 42) = 2,297;$$

$$P_{\text{Б}}'' = 198 \text{ мм рт.ст., или } 26397 \text{ Па;}$$

$$P_{\text{Д}}'' = 7,184 - 1358,5/(232+42) = 2,262;$$

$$P_{\text{Д}}'' = 182,5 \text{ мм рт.ст., или } 24331 \text{ Па;}$$

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над смесью жидкостей, Па:

$$P_i = N_i \cdot P_i'';$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$P_{H_2O} = 7541,1 \cdot 0,7637 = 5759; P_{\text{Б}} = 24272,5 \cdot 0,1321 = 3206,4;$$

$$P_{\text{Д}} = 20615 \cdot 0,1042 = 2148,0;$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$P_{H_2O} = 8239 \cdot 0,7637 = 6292; P_{\text{Б}} = 26397 \cdot 0,1321 = 3487;$$

$$P_{\text{Д}} = 24331 \cdot 0,1042 = 2535;$$

Таблица 1. Возможные парциальные давления компонентов газовой смеси над жидкостью

Компонент	Парциальное давление компонентов, Па		Возможное парциальное давление, Па
	Поступающих из жидкости	В первоначальной газовой среде	
При $t = 40^{\circ}\text{C}$			
Вода	5759	3328	5759
Бензол	3206,4	0	3206,4
Дихлорэтан	2148	0	2148
Аммиак	0	1,503	1,503
При $t = 42^{\circ}\text{C}$			
Вода	6292	3719,5	6292
Бензол	3487	0	3487
Дихлорэтан	2535	0	2535
Аммиак	0	1,52	1,52

Парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде:

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot t / (238 + t);$$

при  $t = 40^{\circ}\text{C}$ :

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

$$P_{H_2O}'' = 50,2 \text{ мм рт.ст., или } 6676,6 \text{ Па};$$

при  $t = 42^{\circ}\text{C}$ :

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot 42 / (238 + 42) = 1,747;$$

$$P_{H_2O}'' = 55,8 \text{ мм рт.ст., или } 7439 \text{ Па};$$

Парциальное давление водяных паров при заданной влажности:

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}'' \cdot \varphi;$$

при  $t = 40^{\circ}\text{C}$ :

$$P_{H_2O} = 6676,6 \cdot 0,5 = 3338 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ C$ ;

$$P_{H_2O} = 7439 \cdot 0,5 = 3719,5 \text{ Па};$$

Парциальное давление примеси (аммиака) в газовой среде:

$$P_i = \frac{C_i \cdot (273+t) \cdot 133,3}{16 \cdot M_i \cdot 1000};$$

при  $t = 40^\circ C$ ;

$$P_i = \frac{10 \cdot (273+40) \cdot 133,3}{16 \cdot 17 \cdot 1000} = 1,503 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ C$ ;

$$P_i = \frac{10 \cdot (273+42) \cdot 133,3}{16 \cdot 17 \cdot 1000} = 1,52 \text{ Па};$$

Возможные парциальные давления компонентов газовой смеси над жидкостью приведены в табл. 1.

Парциальные давления основного газового компонента воздуха:

при  $t = 40^\circ C$ ;

$$P_B = 101325 - (5759,14 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 90210 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ C$ ;

$$P_B = 101325 - (6292 + 3487 + 2535 + 1,52) = 89010 \text{ Па};$$

Концентрация составляющих газовой смеси:

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

при  $t = 40^\circ C$ ;

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

$$C_B = \frac{16 \cdot 3206,4 \cdot 78,10 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 96258;$$

$$C_D = \frac{16 \cdot 2148 \cdot 98,97 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 81710;$$

$$C_{NH_2} = 10;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 90210 \cdot 28,96 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 1001690 ;$$

нрн  $t = 42^\circ C$ ;

$$C_{H_2O} = \frac{16 \cdot 6292 \cdot 18,015 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 43186 ;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 3487 \cdot 78,10 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 103770 ;$$

$$C_D = \frac{16 \cdot 2535 \cdot 98,97 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 95588 ;$$

$$C_{NH_2} = 10;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 89010 \cdot 28,96 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 982115 ;$$

Средняя концентрация компонентов газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{cp\ H_2O} = (39876 + 43186) / 2 = 41531 ;$$

$$C_{cp\ B} = (96258 + 103770) / 2 = 100014 ;$$

$$C_{cp\ D} = (81710 + 95588) / 2 = 88634 ;$$

$$C_{cp\ NH_2} = 10 ;$$

$$C_{cp\ B} = (1001690 + 982115) / 2 = 991902 .$$

Объем газовой смеси в аппарате:

$$V = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3) ; V = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,7) = 3,3 \text{ м}^3 .$$

Изменение температуры газовой смеси в аппарате:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 42 - 40 = 2^\circ C .$$

Увеличение объема газовой смеси при изменении температуры:

$$V_\Gamma = V \cdot \frac{\Delta t}{273} = 3,3 \cdot \frac{2}{273} = 0,024 , \text{ м}^3 .$$

Количество составляющих газовой смеси, выделяющихся из аппарата при малом дыхании, г/ч:

$$G_i = V_\Gamma \cdot C_{cp\ i} ,$$

$$G_{H_2O} = 0,024 \cdot 41531 \cdot 10^{-3} = 0,984 ; G_B = 0,024 \cdot 100014 \cdot 10^{-3} = 2,400 ;$$

$$G_{\text{Д}} = 0,024 \cdot 88634 \cdot 10^{-3} = 2,127; G_{NH_3} = 0,024 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,00024;$$

$$G_{\text{В}} = 0,024 \cdot 991902 \cdot 10^{-3} = 23,806.$$

### Задание для самостоятельной работы по лабораторному практикуму 6

**Задание 1.** При «большом дыхании» аппарат через воздушку выделяются вредные вещества. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через воздушку при «большом дыхании» аппарата.

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода; бензол и дихлорэтан. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi$ , %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t$ , °С. Давление наружной среды  $B = 101\,325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата, м. Высота аппарата, м. Высота уровня жидкости перед заполнением, м. Время заполнения аппарата, мин при степени заполнения  $k_3$ .

Состав жидкости в аппарате, % (масс.)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вода	50	60	40	20	30	25	15	35	30	55
бензол	30	10	20	55	25	40	70	55	20	40
дихлорэтан	20	30	40	25	45	35	15	10	50	5
$\varphi$	40	35	30	55	45	60	50	53	54	52
$t$	30	35	45	43	42	39	38	44	37	41
Диаметр аппарата	1,2	1,1	1,3	1,2	1,6	1,5	1,7	1,8	1,9	2
Высота аппарата	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	2,4	2,5	2,6
Высота уровня жидкости перед заполнением	0,1	0,15	0,17	0,3	0,25	0,26	0,27	0,2	0,24	0,25
Время заполнения аппарата	30	35	33	34	42	45	46	47	48	50
$k_3$	0,5	0,55	0,6	0,62	0,65	0,75	0,8	0,85	0,86	0,9

**Задание 2.** Определить количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух через воздушку аппарата при изменении в течение 1 ч температуры жидкости и газовой среды в аппарате  $^{\circ}\text{C}$ .

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс): вода; бензол и дихлорэтан. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi$  %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{\text{NH}_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Давление наружной среды  $B = 101\ 325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата м. Высота аппарата, м. Степень заполнения аппарата жидкостью  $k_3$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вода	50	60	40	20	30	25	15	35	30	55
бензол	30	10	20	55	25	40	70	55	20	40
дихлорэтан	20	30	40	25	45	35	15	10	50	5
$\varphi$	40	35	30	55	45	60	50	53	54	52
$t$	30	35	45	43	42	39	38	44	37	41
Диаметр аппарата	1,2	1,1	1,3	1,2	1,6	1,5	1,7	1,8	1,9	2
Высота аппарата	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	2,4	2,5	2,6
Высота уровня жидкости перед заполнением	0,1	0,15	0,17	0,3	0,25	0,26	0,27	0,2	0,24	0,25
Время заполнения аппарата	30	35	33	34	42	45	46	47	48	50
$k_3$	0,5	0,55	0,6	0,62	0,65	0,75	0,8	0,85	0,86	0,9

Температуры жидкости и газовой среды в аппарате с 40 до  $42^{\circ}\text{C}$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T	41-43	39-40	42-44	38-40	37-39	40-42	38-40	36-38	37-39	41-43

### Вопросы для самоконтроля по теме 6:

Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.

2. Очистка газов дожиганием.

3. Природный цеолит. Его применение в очистке газа.

4. Цеолит как адсорбент и абсорбент в процессе очистки природного газа.
5. Защита литосферы от промышленных загрязнений.
6. Утилизация и обезвреживание твердых отходов.
7. ПДВ вредных веществ в атмосферу. Контроль.
8. Предельно допустимые концентрации некоторых технических композиций в воздухе.
9. Жидкий диоксид углерода. Очистка.
10. Методы и средства сухой очистки газовоздушных выбросов.
11. Аппараты мокрой очистки газов.

**Методические указания по выполнению практической работы №7**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ГРУППЫ ПЫЛИ ПО**  
**ДИСПЕРСНОСТИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВИТАНИЯ ЧАСТИЦ**  
**И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕОСАДОЧНОЙ КАМЕРЫ.**

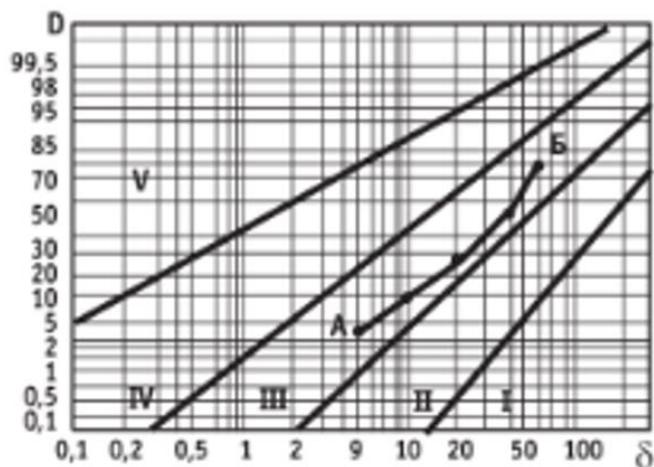
***Цель работы:***

1. Ознакомиться с методикой оценки дисперсионного состава пыли.
2. Определить группу дисперсности пыли и скорости витания частиц пыли с помощью номограммы,
3. Приобрести первоначальные навыки расчета параметров пылеосадочной камеры.

**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

***1. Определение классификационной группы пыли по дисперсности***

Дисперсность пыли – это совокупность размеров составляющих её частиц, т.е. распределение массы пыли по размерам частиц (рис. 1) [4].



**Рис. 1.** Номограмма для определения группы дисперсности пыли:

$\sigma$  – размер частиц пыли, мкм;

$D$  – суммарная масса всех частиц пыли, имеющих размер менее данного  $\sigma$ , % (от общей массы частиц пыли);

I-V – зоны, характеризующие группы дисперсности пыли

*По дисперсности различают следующие виды пыли:*

- Зона I – очень крупнодисперсная пыль с медианным размером диаметра более 150 мкм. Определяется при условии, что количество

частиц крупнее или мельче указанного медианного размера в пыли составляет 50%;

- Зона II – крупнодисперсная пыль диаметром от 40 до 150 мкм (например, кормовые дрожжи, моющие синтетические средства, мелкозернистый строительный песок для строительных растворов);
- Зона III – среднедисперсная пыль диаметром от 10 до 40 мкм (например, белково-витаминные концентраты, цемент);
- Зона IV – мелкодисперсная пыль от 1 до 10 мкм (например, сахарная пудра, крахмал, порошок какао, кварц вылесивидный);
- Зона V – очень мелкодисперсная пыль диаметром меньше 1 мкм.

Группу дисперсности пыли определяют при помощи номограммы, представленной на рис. 1, на основании данных о фракционном составе пылей, полученных опытным путем. Номограмма разбита на 5 зон (I-V), которые соответствуют классификационным группам пыли. Для определения группы заданной пыли на номограмму наносятся точки, соответствующие содержанию отдельных фракций пыли. Соединяя эти точки, получают прямую или ломаную линию, расположение которой в той или иной зоне номограммы обозначает принадлежность пыли к классификационной группе, соответствующей этой зоне. Если линия дисперсности, нанесенная на номограмму, не укладывается в пределах одной зоны, пересекая границы зон, пыль следует относить к классификационной группе верхней зоны.

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.**

**Задание 1.** Определить классификационную группу пыли, если она имеет следующий дисперсный состав, определенный по «частным остаткам»

1. По рисунку 1 наносим точки, соответствующие содержанию фракций по «полным проходам», на монограмму и, соединив их, получаем ломаную линию АБ.
2. Определить линию расположения в зоне.
3. Определить классификационную группу.

Таблица 1

Размер частиц, мкм.	<5	5-10	10-20	20-40	40-60	>60
Содержание фракций по «частным остаткам», % по массе	6	8	22	26	23	15

*Решение. Находим дисперсный состав пыли по «полным проходам»:*

Размер частиц, мкм.	<5	<10	<20	<40	<60
Содержание фракций по «полным проходам», % по массе	6	14	36	62	85

Наносим точки, соответствующие содержанию фракций по «полным проходам», на монограмму (рис. 1) и, соединив их, получаем ломаную линию АБ. Вся линия расположилась в зоне III, следовательно, данная пыль относится к классификационной группе III.

## 2. Определение скорости витания частиц.

*Скорость витания сферических частиц* – это скорость вертикального потока воздуха, при которой частица находится во взвешенном состоянии («витает»), можно определить по графику (рис. 2) или рассчитать по формуле (1).

Для частиц диаметром до 50-60 мкм ( $0 < Re < 1$ ) скорость витания, м/с:

$$v_s = \frac{d^2 \gamma}{18 \mu_b}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр пылевой частицы, м;

$\gamma$  – удельный вес частицы, кгс/м<sup>3</sup>;

$\mu_b$  – динамическая вязкость воздуха в данных условиях, кгс\*с/ м<sup>2</sup>.

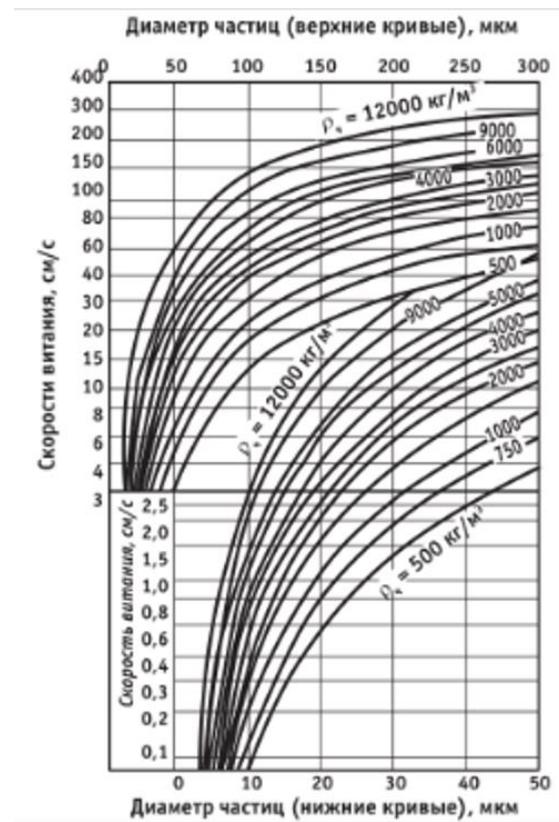


Рис. 2. График для определения скорости витания  $v_s$  частиц различного размера  $d$  и удельного веса  $\gamma$  при температуре 20°C.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 1.** Определить, пользуясь графиком на рис. 2 и формулой (1), скорость витания частицы диаметром 10 мкм =  $10 \cdot 10^{-6}$  м при её удельном весе  $\gamma = 2,5$  г/см<sup>3</sup> и температуре воздуха 50°C.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

**Решение.** По графику на рис. 2 скорость витания  $v_s = 0,76$  см/с. Для учета истинного значения вязкости воздуха  $\mu_v$  при  $t = 50^\circ\text{C}$  умножаем полученное значение на поправочный коэффициент  $K$ , определенный с помощью следующих данных (табл. 1):

Таблица 1

Температура воздуха, °C	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
Динамическая вязкость воздуха при давлении 760 мм рт.ст $10^{-6} \mu_B$ , кгс*с/м <sup>2</sup>	1,56	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,95	2,00	2,04

Значение коэффициента К рассчитывается по формуле

$$K = \frac{\mu_{B20}}{\mu_{B50}} = \frac{1,81 \cdot 10^{-6}}{1,95 \cdot 10^{-6}} = 0,928 \quad (2)$$

и тогда

$$v_{s50} = 0,76 * 0,928 = 0,705 \text{ см/с.} \quad (3)$$

По формуле (1) получаем

$$v_{s50} = \frac{(10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2500}{18 \cdot 1,95 \cdot 10^{-6}} = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с} = 0,7 \text{ см/с.} \quad (4)$$

### 3. Расчет параметров пылеосадочной камеры

Расчет пылеосадочных камер проводят в следующей последовательности. Сначала задают минимальные размеры пылевых частиц, которые необходимо уловить в пылеосадочной камере, и находится скорость их витания  $v_s$ , м/с, по монограмме (рис. 2).

Затем определяется площадь поперечного сечения пылеосадочной камеры,  $\text{м}^2$

$$S = bh = \frac{Q}{3600v}, \quad (5)$$

Где  $b$ ,  $h$  – соответственно ширина и высота камеры, м;

$Q$  – объем загрязненного воздуха, проходящего через камеры,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$v$  – скорость движения воздуха в камере должна быть в пределах 0,2-0,5 м/с, выбирается из условия обеспечения ламинарного режима течения.

Задавая высоту камеры  $h$ , находят её ширину  $b$ , м:

$$b = Sh. \quad (6)$$

Длина камеры, м:

$$l \geq \frac{h\nu}{\nu_{q_i}}. \quad (7)$$

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание** Рассчитать размеры пылеосадочной камеры для очистки воздуха, загрязненного пылью, проходящего через камеру объемом  $4500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , плотность частиц которой  $700 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а средний диаметр  $2*10^{-5} \text{ м}$ . Температура удаляемого воздуха  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

**Решение.** По номограмме (рис. 2) находится скорость витания частиц пыли:  $\nu_{q_i}=0,8 \text{ м}/\text{с}$ . Если температура удаляемого воздуха отличается от  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , вводится поправка в соответствии с формулой (2).

Приняв скорость движения воздуха в пылеосадочной камере  $\nu = 0,5 \text{ м}/\text{с}$ , находится площадь ее поперечного сечения:

$$S = \frac{4500}{3600*0,5} = 2,5 \text{ м}^2.$$

Задавая высоту камеры  $h = 2,5 \text{ м}$ , рассчитывается ее ширина:

$$b = \frac{S}{h} = \frac{2,5}{2,5} = 1 \text{ м.}$$

Минимальная длина камеры:

$$l = 2,5 * \frac{0,5}{2,8} = 1,563 \text{ м.}$$

Приняв  $l=1,6 \text{ м}$ , проверяется выполнение условия  $\nu < \frac{l\nu_{q_i}}{h}$ :

$$0,5 < 1,6 * \frac{0,8}{2,5} \text{ или } 0,5 < 0,512.$$

Условие выполняется, следовательно, размеры пылеосадочной камеры определены правильно.

## Задания для самостоятельного решения по лабораторному практикуму 7

Задания выполняются в соответствии с вариантом (табл. 2).

### Задание 1.

А) Определить группу дисперсности пыли при помощи номограммы (рис. 1).

Б) Определить скорость витания частицы по монограмме, приведенной на рис. 2, с учетом поправки на температуру, и по формуле 1. Сравните полученные значения.

### Задание 2.

Рассчитать параметры пылеосадочной камеры для условий задачи 2.

Таблица 2

### Задания для самостоятельного решения

Параметры		Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Задание 1	Размер частиц, мкм	Содержание фракций по «частным остаткам», % по массе									
	< 5	5	6	5	8	6	7	5	10	4	8
	5-10	9	8	8	12	10	15	10	12	8	8
	10-20	22	25	22	20	15	18	25	20	17	20
	20-40	26	26	29	22	21	22	18	24	30	28
	40-60	24	20	20	22	23	25	18	16	17	20
Задание 2	Диаметр пылевой частицы, мкм	10	15	10	15	10	20	10	20	15	10
	Удельный вес частицы, кгс/м <sup>3</sup>	1,5	2,5	3,8	1,2	2,0	4,0	0,9	1,0	1,5	2,5
	Температура воздуха, °С	10	20	30	50	70	40	60	20	50	30

## **Контрольные вопросы**

1. Какие характеристики пыли определяют выбор способа пылеулавливания?
2. Назовите основные физико-химические характеристики пыли. Охарактеризуйте их.
3. Что такое дисперсность пыли? Как классифицируются пыли по дисперсности?
4. Как определяется дисперсионная группа пыли?
5. Назовите основные механизмы пылеулавливания.
6. Назовите аппараты, в которых пылеулавливание происходит под действием силы гравитации. Для улавливания каких пылей они применяются?
7. Что называется эффективностью пылеулавливания? Какие характеристики пылеосадочных камер определяют эффективность пылеулавливания?
8. Мокрые методы пылеочистки с использованием явлений абсорбции и хемосорбции.
9. Методы адсорбционной очистки, каталитического и термического обезвреживания отходящих газов.
10. Скоростные газопромыватели (скруббера Вентури).

## Методические указания по выполнению практической работы №8

### «РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПО СОДЕРЖАНИЮ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ»

#### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с методикой расчета степени очистки сточных вод по содержанию загрязняющих веществ.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

Внесенные в реку загрязнения распределяются в воде водоема согласно следующему уравнению [5]:

$$a * Q * C_{\text{ВВ}} = (a * Q + q) * C_{\text{ПДК}}$$

где  $a$  – коэффициент смешения;

$Q$  – расход воды в реке  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q$  – количество сбрасываемых сточных вод  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_{\text{ВВ}}$  - концентрация загрязняющего вещества в воде водоема до смешения,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема после смешения,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{max}}$  - максимальная концентрация загрязняющего вещества, которая может быть допущена в сточных водах (или тот уровень очистки сточных вод, при котором после их смешения с водой водоема степень его загрязнения не превзойдет установленного норматива  $C_{\text{ПДК}}$ ),  $\text{г}/\text{м}^3$  ( $\text{мг}/\text{л}$ ).

Из этого уравнения следует:

$$C_{\text{max}} = \frac{a*Q}{q} * (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ВВ}}) + C_{\text{ПДК}}$$

#### *Расчет необходимой степени очистки производственных сточных вод по взвешенным веществам*

Необходимую степень очистки сточных вод по взвешенным веществам определяют из следующего баланса:

$$q * C_{\text{ПДК}} + a * Q + C_{\text{ВВ}} = (a * Q + q) * (C_{\text{Д}} + C_{\text{ВВ}})$$

где  $a$  – кэффициент смешения;

$Q$  расход воды и реке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$q$  – количество сбрасываемых сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_{\text{ВВ}}$ -концентрация взвешенных веществ в воде водоема до спуска скучных вод,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{max}}$  - максимальная концентрация взвешенных веществ в сточных волнах, при которой условия спуска их в водоем будут соответствовать санитарным требованиям,  $\text{г}/\text{м}^3$  ( $\text{мг}/\text{л}$ ).

$C_{\text{д}}$  - допустимое по нормативам увеличение содержания взвешенных веществ в воле водоема после спуска сточных вод в зависимости от категории водоема.

После преобразования уравнения получим:

$$C_{\text{max}} = C_{\text{д}} * \left( a * \frac{Q}{q} + 1 \right) + C_{\text{ВВ}}$$

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 1.** Рассчитать коэффициент смешения стоков с речными водами на заданном расстоянии от выпуска  $L = 3,5$  км. Определить кратность разбавления стоков на этом расстоянии и максимально допустимую концентрацию загрязняющего вещества в сточной воде.

Исходные данные.  $Q=30 \text{ м}^3/\text{с}$  - среднемесячный расход воды в реке;  $V_{\text{CP}}=0,64 \text{ м}/\text{с}$  - средняя скорость течения реки;

$H_{\text{CP}}=1-2 \text{ м}$  средняя глубина реки на этом участке;

$\phi = 1$ , то есть участок реки прямой, плес;

$q = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$  - количество сбрасываемой сточной воды;

$C_{\text{ВВ}}=0,01 \text{ г}/\text{м}^3$ , концентрация загрязняющего вещества в воде водоема до смешения:

$C_{\text{Pb}}=1,0 \text{ мг}/\text{л}$  - концентрация свинца в сточной воде;

$\text{ПДК}_{\text{Pb}}=0,03 \text{ мг}/\text{л}$ .

Выпуск береговой.

1. Определить коэффициент турбулентной диффузии для равнинных рек.
2. Рассчитать коэффициент, учитывающий влияние гидравлических факторов.
3. Рассчитать коэффициент смешения по формуле Родзиллера.

4. Рассчитать кратность разбавления сточной воды.
5. Определить концентрацию загрязняющих веществ в створе.
6. Определить максимально допустимую концентрацию загрязняющего вещества в сточной воде.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

1. Определяем коэффициент турбулентной диффузии для равнинных рек:

$$E = V_{CP} * \frac{H_{CP}}{200} = 0.64 * \frac{1.2}{200} = 0.00384$$

2. Рассчитываем коэффициент, учитывающий влияние гидравлических факторов:

$$m = \varepsilon * \varphi * \sqrt[3]{\frac{E}{q}} = 1 * 1 * \sqrt[3]{\frac{0,00384}{0,6}} = 0,185$$

3. Рассчитываем коэффициент смешения по формуле Родзиллера

$$e^{-m\sqrt[3]{L}} = 2.7^{-0.185*\sqrt[3]{3500}} = 0.061$$

$$a = \frac{1 - 0.061}{1 + \frac{30}{0.6} * 0.061} = 0.23$$

4. Рассчитываем кратность разбавления сточной воды:

$$n = \frac{a * Q + q}{q} = \frac{0.23 * 30 + 0.6}{0.6} = 12.6$$

Кратность разбавления стоков на расстоянии 3,5 км от места сброса составит 12.6 раз.

5. Концентрация загрязняющего вещества в створе составит:

$$C_{3,5} = \frac{1,0}{12,6} = 0,079 \text{ мг/л}$$

Учитывая, что ПДК<sub>Pb</sub>=0,03 мг/л, можно заключить, что на расстоянии 3,5 км от места сброса разбавления концентрации свинца до норм ПДК не произошло.

Для установления места (расстояния от сброса) полного разбавления свинца необходимо провести расчеты для большей величины L.

6. Максимально допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточной воде:

$$C_{max} = \frac{0.23 * 30}{0.6} * (0.03 - 0.01) + 0.03 = 0.26 \text{ г/м}^3$$

Вопросы для самоконтроля по теме 8:

1. Эколого-токсикологическая характеристика основных компонентов газовых выбросов.
2. Методы водоподготовки и водоочистки.
3. Отложения и коррозия в системах водоснабжения.
4. Замкнутые водооборотные циклы.
5. Экологические аспекты газонефтедобывающей отрасли.
6. Нефть. Состав, свойства, биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика.
7. Газовые месторождения. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика.
8. Экологические аспекты химической промышленности.
9. Производство серной кислоты.
10. Азотная промышленность.
11. Токсичные примеси в сточных водах нефтехимических производств.
12. Сточные воды в производстве этилбензола.

## Задание по лабораторному практикуму 8

Задание 1. В результате сброса производством сточных вод в водоем произошло смешение. Определить:

1. Рассчитать коэффициент смешения стоков с речными водами на заданном расстоянии от выпуска  $L$ , км (таблица 1).
2. Определить кратность разбавления стоков на этом расстоянии и максимально допустимую концентрацию загрязняющего вещества в сточной воде.

Исходные данные:

Расстояние от выпуска  $L$ , км

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$	23	27	25	24	26	28	29	32	33

Среднемесячный расход воды в реке,  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$	25	26	27	28	29	31	32	24	33

Средняя скорость течения реки,  $V_{CP}$ ,  $\text{м}/\text{с}$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{CP}$	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67

$H_{CP} = 1-2$  м средняя глубина реки на этом участке

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{CP}$	0,5-1	1-2,5	1-1,5	1-2	1-3	1-3,5	1-4	1-4,5	1-2,5

$\phi = 1$ , то есть участок реки прямой.

Количество сбрасываемой сточной воды,  $q$   $\text{м}^3/\text{с}$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q$	0,4	0,5	0,45	0,6	0,55	0,65	0,7	0,75	0,3

Концентрация загрязняющего вещества в воде водоема до смешения  $C_{BV}$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_{BV}$	0,012	0,011	0,01	0,03	0,015	0,0125	0,02	0,0135	0,0146

С мг/л - концентрация вещества в сточной воде;

N п/п	Название вещества	ПДК или ОДУ	ПДК, ОДУ, мг/л	Класс опасности
1	п-Аминометилбензойная кислота (Амбен)	ОДУ	0,2	2
2	N-Ациламиносаркозин C14 - C18 (Флоторе- агент OS-100)	ОДУ	0,4	4
3	N-Ациламиноэтансульфонат натрия C12 -C18 (Флотореагент ААСК)	ОДУ	0,5	4
4	N-Ацилпроизводное 6-аминогексановой кислоты (Флотореагент ААК)	ОДУ	0,5	4
5	Бензамид	ОДУ	0,2	3
6	Бензотиазолил-2-морфолин сульфид Сульфенамид М, Сантокюр-мор	ПДК	0,5	3
7	1,2-бис-(1,4,6,9- тетра-азотрицикло /4,4,1,1,4,9/- додекано)-этилиден дигидрохлорид (ДХТИ 150А)	ПДК	0,015	2
8	м-Бромбензальдегид	ПДК	0,02	2
9	Вотамол WS	ОДУ	0,5	4
10	Гексаметиленимин	ОДУ	0,1	2
11	Гидросульфид-ион	ПДК	3,0	2
12	1,3-Диаминопропанол-2	ПДК	0,2	4
13	1,1-дихлор-4-метил- пентадиен-1,3 (диен- 1,3)	ПДК	0,4	3
14	1,1-дихлор-4- метилпентадиен-1,4 (диен- 1,4)	ПДК	0,4	3
15	1,1-дихлор-2-окси-4-метилпентен-4 (ДХП-4)	ПДК	0,16	3
16	Ингибитор солеотложения фосфатный SP-181	ПДК	0,5	3
17	Ингибитор солеотложения фосфатный SP-191	ПДК	0,5	3
18	Ингибитор солеотложения фосфатный SP-203	ПДК	0,5	3
19	Катионный полиэлектролит К-131-35	ОДУ	0,1	4
20	Кислота изоникотиновая	ОДУ	0,02	2
21	Краситель кубовый золотисто-желтый КДХ	ОДУ	0,05	4
22	Лапроксид-303	ОДУ	0,3	4
23	Лапроп-10002-2-80	ОДУ	0,1	4
24	Метилкарбитол	ОДУ	1,0	4
25	Метилтриалкиламмония метилсульфат	ПДК	0,01	3
26	Метилтриалкиламмония нитрат	ПДК	0,01	2
27	Метилтриалкиламмония сульфат	ПДК	0,01	2

Продолжение таблицы

28	Оксигидрокрахмал	ПДК	1,0	3
29	Поли-2-карбонилнатрий-6,4- метиленфенол (ВРП-1)	ПДК	0,1	4
30	Пропантриол-1,2,3 (полиглицерин)	ОДУ	0,06	4
31	Сероводород	ПДК	0,003	4
32	Синтегол ФАУ-7	ОДУ	0,04	4
33	Словатон ЦР	ОДУ	0,25	4
34	Смесь "Алотерм-2"(высшие жирные алкилдифенилоксиды С8 - С10)	ОДУ	1,0	4
35	Смесь "Жарилек" (по монобензилтолуолу)	ПДК	0,01	2
36	Смесь ДХТИ-цинк 136	ОДУ	0,1	4
37	СНПХ 1004	ОДУ	0,1	3
38	Спирт 2-аллилокси- этиловый (2-Аллилоксиэтанол)	ОДУ	1,0	3
39	Спирт поливиниловый	ПДК	0,5	4
40	м-Толуидин	ПДК	0,6	2
41	о-Фенантролин	ОДУ	0,3	2
42	м-Феноксибензальдегид	ПДК	0,02	2
43	м-Фенокситолуол	ПДК	0,04	4
44	Ферроцианид железа (феррацин)	ОДУ	0,2	4
45	Флотореагент "Лилафлот OS-730М"	ОДУ	0,4	4
46	Флотореагент ОППГ-3	ОДУ	2,0	4
47	Флотореагент МКОП (смесь)	ОДУ	0,02	3
48	Хлорэтил (этилхлорид) (этил хлористый)	ПДК	0,2	4
49	Эмульсия димеркетена жирных кислот	ОДУ	0,6	3
50	Этилметатолуидин	ПДК	0,6	2

Выпуск береговой.

## **Методические указания по выполнению практической работы №9**

### **«Нефтепловушки, продуктоловушки»**

#### ***Цель работы:***

1. Ознакомиться с методикой расчета нефтепловушек.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

#### **Общие положения**

Для очистки производственных сточных вод, содержащих всплывающие грубодиспергированные примеси (нефть, легкие смолы, масла) в концентрации выше 100 мг/л, применяются специализированные отстойные сооружения, называемые нефтепловушками, смоло-маслоуловителями [6].

Грубодиспергированные примеси (частицы диаметром более 100 нм) обуславливают мутность воды. Она может вызываться присутствием таких неорганических частиц, как песок и глина, и некоторых органических компонентов, например продуктов распада растительных и животных организмов. Мутность присуща водам поверхностных водоемов с достаточно высокой скоростью течения.

Продуктоловушки используются с той же целью — для отстаивания из воды некоторых специфических веществ, например, парафина из стоков производства синтетических жирных кислот, а также для осаждения твердых механических примесей.

#### ***Расчет нефтепловушек.***

#### ***Горизонтальные нефтепловушки.***

1. Типовая ловушка определяется пропускной способности  $q$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), другими словами метрическая характеристика, показывающая соотношение предельного количества проходящих единиц (объёма) в единицу времени через канал, систему, узел. Другой подход, это индивидуальное проектирование нефтепловушки.

В табл. 1 приведены параметры типовых горизонтальных нефтепловушек. Для индивидуальных нефтепловушек количество секций нефтепловушки принимается равным  $n$ , но не менее двух. Расчет нефтепловушки:

Таблица 1 Основные параметры горизонтальных нефтевушек

Номер типового проекта	Глубина проточной части, м	Строительные размеры секций, м			Число секций	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч	
		ширина	длина	высота			
902-2-157	1.2	2	12	2.4 и 3.6	1	18	
902-2-158	1.2	2	12		2	36	
902-2-159	1.25	3	18		2	72	
902-2-160	1.5	3	24		2	108	
902-2-161	2	3	30		2	162	
902-2-2	2	6	36		2	396	
902-2-17					3	594	
902-2-18					4	792	

2. Определяется ширина секции  $B$  (м) и глубина отстаиваемого слоя воды  $H_{set}$ (м) в зависимости от пропускной способности нефтевушки  $q$ :

$q$ ,	< 162	> 162
$B$ , м	2-3	6
$H_{set}$	1,2—1,5	2

3. Рассчитывается гидравлическая крупность частиц нефти  $u_0$ :

$$u_0 = \frac{10^3(\gamma_v - \gamma_h)gd^2}{1.8\mu} \text{ мм/с} \quad (1)$$

( $\gamma_v$  $\gamma_h$ ) – объемные массы воды и нефти (0,76-0,85), т/м<sup>3</sup> ; d- крупность всплывающих нефтяных частиц, м;  $\mu$  - динамический коэффициент вязкости сточной воды, Па<sup>\*</sup>с.

При отсутствии данных по кинетике допускается принимать  $u_0 = 0,4-0,6$  мм/с.

4. Принимается скорость движения волы  $v = 3—10$  мм/с<sup>2</sup>. Определяется продолжительность всплыивания нефтяных частиц  $t_p$ :

$$t_p = \frac{H_{set}}{3.6v} \text{ ч} \quad (2)$$

5. В зависимости от соотношения  $v/u_0$  принимается коэффициент, учитывающий турбулентность потока воды а:

v/ $u_0$	0,1	10	15	20
a	1,2	1,5	1,65	1,75

6. Рассчитывается длина отстойной части нефтоловушки L:

$$L = a \frac{v}{u_0} H_{set} \quad \text{М} \quad (3)$$

7. Продолжительность отстаивания  $t_p'$  определяется:

$$t_p' = \frac{L}{3.6v} \quad \text{ч} \quad (4)$$

Рассчитанная  $t_p'$  должна быть не менее  $t_p$ . В противном случае изменяют глубину слоя воды  $H_{set}$  или скорость движения воды v.

8. Определяется количество осадка  $Q_{mud}$  выделяемого при отстаивании за 1 сут:

$$Q_{mud} = \frac{QC\mathcal{E}}{(100 - p_{mud})\gamma_{mud} 10^6} \quad \text{м}^3/\text{сут} \quad (5)$$

Где  $Q$  — суточный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $C$  — концентрация механических примесей в сточной воде, примерно равная 500  $\text{мг}/\text{л}$ ;  $\mathcal{E}$  — эффект задержания осаждающихся примесей, равный для горизонтальных ловушек 60—70%; для многоярусных и радиальных — до 75%;  $p_{mud}$  — влажность осадка, равная для свежевыпавшего осадка 95% и слежавшегося — 70%;  $\gamma_{mud}$  — объемная масса частиц осадка, равная  $2.65 \text{ т}/\text{м}^3$

9. Определяется количество нефтепродуктов  $Q_{oil}$  задержанных за I сут:

$$Q_{oil} = \frac{Q(A_{en} - A_{ex})}{\gamma_{oil} * 30 * 10^4} \quad \text{м}^3/\text{т} \quad (6)$$

где  $A_{en}$  и  $A_{ex}$  — концентрация нефтепродуктов соответственно в исходной и осветленной воде,  $\text{мг}/\text{л}$ ;  $\gamma_{oil}$  — объемная масса обводненных нефтепродуктов, равная  $0.95 \text{ т}/\text{м}^3$ .

### Многоярусные нефтоловушки.

1. Количество секций нефтоловушки принимается равным n, но не менее двух. Берется ширина секции  $B = 2—3 \text{ м}$ , и глубина отстаиваемого слоя воды  $H_{set} = 2,5—3 \text{ м}$ .

2. Берется ширина  $B_{bl} = 0,65—0,75$  м и высота тонкослойного блока  $H_{bl} = 1,5—1,6$  м. Находится площадь поперечного сечения тонкослойного блока  $F_{bl}$ :

$$F_{bl} = B_{bl}H_{bl} \quad \text{м}^2 \quad (7)$$

3. Рассчитывается скорость движения воды в нефтеловушке  $v$ :

$$v = \frac{q}{3.6F_{bl}n} \quad \text{мм/с} \quad (8)$$

где  $q$  — пропускная способность нефтеловушки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

4. Определяется число Рейнольдса  $Re$ :

$$Re = 10^{-6}v h_{ti}/\nu \quad (9)$$

где  $h_{ti}$  — высота яруса блока по перпендикуляру, равная 50 мм;  $\nu$  — кинематическая вязкость, равная  $8,04 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Величина  $Re$  должна быть близка к 700—800. В противном случае изменяют размеры тонкослойного блока или количество секций.

5. Рассчитывается продолжительность пребывания волы в тонкослойном блоке  $T$ :

$$T = \frac{h_{ti}}{u_0 \cos 45^\circ} \quad \text{с} \quad (10)$$

где  $u_0$  — гидравлическая крупность частиц нефти, равная 0,15 мм/с.

6. Определяется длина тонкослойного блока  $L_{bl}$ :

$$L_{bl} = kvT/1000 \quad \text{м} \quad 11$$

где  $k$  — коэффициент запаса, равный 1,3.

7. Находится общая длина нефтеловушки  $L_{общ}$

$$L_{общ} = L + (5—6), \quad \text{м} \quad (12)$$

8. По формулам (5) и (6) определяется количество осадка  $Q_{mud}$  и нефтепродуктов  $Q_{oil}$ , выделяемых при отстаивании за 1 сут.

Вопросы для самоконтроля по теме 9:

1. Эколого-токсикологическая характеристика основных компонентов газовых выбросов.
2. Методы водоподготовки и водоочистки.
3. Отложения и коррозия в системах водоснабжения.
4. Замкнутые водооборотные циклы.
5. Экологические аспекты газонефтедобывающей отрасли.
6. Нефть. Состав, свойства, биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика.
7. Газовые месторождения. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика.
8. Экологические аспекты химической промышленности.
9. Производство серной кислоты.
10. Азотная промышленность.

## **Методические указания по выполнению практической работы №10**

### **«Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию загрязняющих веществ»**

#### ***Цель работы:***

1. Ознакомиться с методикой экономической оценки экологического ущерба от загрязнения атмосферы.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

Экологический ущерб – отрицательные изменения в ОС, вызванные различного рода воздействиями (антропогенной деятельностью). Денежная оценка негативных изменений в окружающей среде будет формировать величину Экономического ущерба [7].

Экономический ущерб может быть фактическим, возможным и предотвращенным.

Фактический ущерб — это фактические потери, наносимые экономике в результате загрязнения окружающей среды.

Возможный ущерб — тот, который мог бы быть нанесен в случае отсутствия природоохранных мероприятий.

Предотвращенный ущерб — это разность между возможным и фактическим ущербом.

К определению величин ущерба существуют различные подходы в зависимости от цели: можно посчитать экономический ущерб для оценки затрат на восстановление окружающей среды, для возможности развития производства, ущерб окружающей среде от загрязнения, причиненного каким-либо объектом, можно определить размеры ущерба от конкретных воздействий (сбросов или выбросов) и т. д.

Экономическая оценка включает ряд последовательных этапов.

1. Находят уровень загрязнения окружающей среды (данные об источниках загрязнения, составе и количестве выбросов, сбросов, отходов).
2. Определяют области распространения загрязнения (строят зоны изменения концентраций).

3. При необходимости выбирают контрольный район.
4. Выясняют зависимость между уровнем загрязнения и качественным и количественным влиянием на человека, природу, объекты.
5. Рассчитывают натуральные показатели ущерба.
6. Оценивают затраты на устранение последствий.

В расчете ущерба по отдельным элементам используются величины затрат, связанных с «компенсацией» воздействия. В целом, величина экологического (эколого-экономического) ущерба от загрязнения ОС формируется как сумма составляющих, представленных на рис. 1

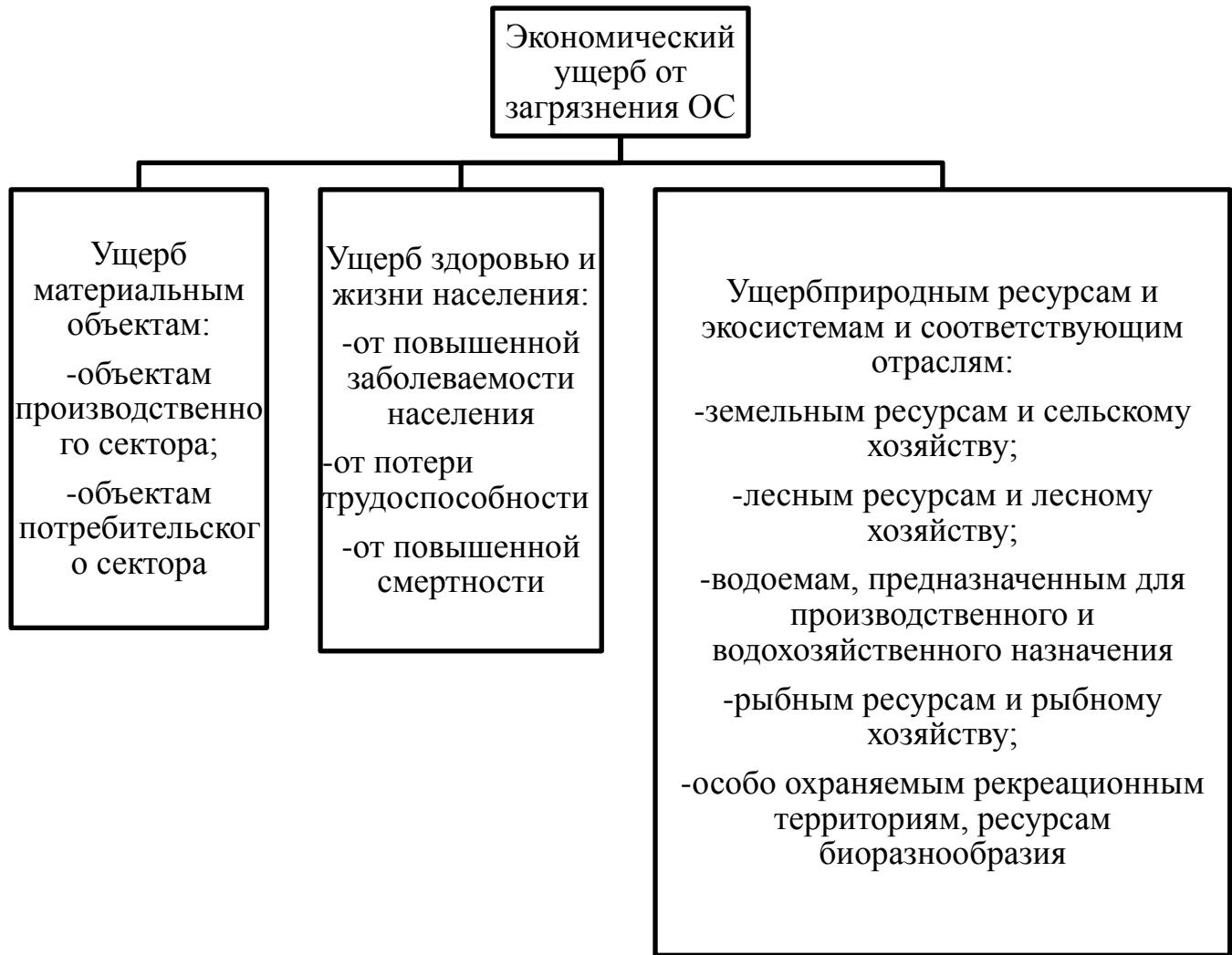


Рис. 1. Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды

Методы расчета экологического ущерба подразделяют на два метод:

- прямой счет (метод контрольных районов, аналитический метод, комбинированные методы);
- метод косвенных оценок.

На основе этой информации производится оценка натуральных ущербов в денежном выражении.

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.**

**Расчета экономического ущерба эмпирическим методом.** Для этого метода используют два подхода: оценка ущерба на основе валовых выбросов (расчет проводится по сумме ингредиентов) или оценка ущерба на основе концентраций ЗВ (расчет проводится по отдельным ингредиентам). **Достоинство метода** является достаточно высокая точность

**Недостаток метода** необходимость построения зон загрязнения и трудность точного определения вклада каждого загрязняющего вещества.

**Расчет экономического ущерба косвенным методом.** На практике, в том случае если расчеты не требуют большой точности, используются укрупненные методики определения экономического ущерба, основанные на валовых выбросах ЗВ (Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды; Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба).

Методика расчета экономического ущерба от загрязнения атмосферы (Временная типовая методика.)

Укрупненная оценка экономического ущерба (У) от загрязнения атмосферы, причиняемого годовыми выбросами в атмосферу, для любого источника определяется по формуле

$$Y_a = \gamma_a \sigma_a f_a M_a \quad (1)$$

где  $Y_a$  — величина экономического ущерба от загрязнения атмосферы, руб./год;

$\gamma_a$  — нормативный экологический ущерб от выбросов в атмосферу, руб./у.т (величина удельного ущерба от загрязнения ОС, руб./у.т);

$\sigma_a$  — безразмерная величина, характеризующая относительную опасность реципиентов, которые находятся в зоне активного загрязнения ( $0,05 < a < 30$ ), это поправка, учитывающая характер территории, на которую осуществляется воздействие;

$f_a$  — поправка, учитывающая характер рассеивания примеси в атмосфере. Величина поправки зависит от активной высоты источника, скорости ветра и скорости оседания веществ;

$M_a$  — приведенная масса годового выброса, у.т./год.

Величина удельного ущерба ( $ya$ ) от загрязнения атмосферы на момент разработки методики была принята равной 2,4 руб./у.т. В течение последующих лет за счет индексации она менялась. В современных расчетах по этой методике, возможно, наиболее обоснованным будет использование коэффициентов индексации, введенных для платежей за загрязнения ОС (А.П. Хаустов).

Коэффициент зоны активного загрязнения (параметр  $\sigma$ ) рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sum_i^n \frac{S_i}{S_o} \sigma_i, \quad (2)$$

где  $S_o$  — общая площадь зоны активного загрязнения;

$\sigma_i$  — табличное значение показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от типа территории (табл. 1);

$S_i$  — площадь  $i$ -й части загрязненной территории.

Таблица 1. Значения показателя  $\sigma_i$  в зависимости от типа территории

Территории	$\sigma_i$
Территория курортов, заповедников	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные кооперативы	8
Население места с плотностью населения $n$ чел./га	(0,1 га/чел) $n$
Населенные пункты свыше 300 тыс. чел. Независимо от плотности населения	8
Территории промышленных предприятий и узлов, включая защитные зоны	4
Леса:	
I группа	0,2
II группа	0,1
III группа	0,025
Пашни:	
Южная зона	0,25
Центральная и южная Сибирь	0,15
Другие территории	0,1
Сады и виноградники	0,5
Пастбища и сенокосы	0,05

Значение поправки  $f$  учитывающей характер рассеивания загрязнителей в атмосфере, при скорости оседания менее 1 м/с (для газообразных примесей и мелкодисперсных частиц с очень малой скоростью оседания) рассчитывают по формуле

$$f = \left[ \frac{100m}{60m + \varphi h} \right] * \left[ \frac{4^{\frac{m}{c}}}{1^{\frac{m}{c}} + u} \right], \quad (3)$$

где  $h$  — геометрическая высота источника, м;

$\varphi$  — поправка на тепловой объем факела выброса в атмосфере;

$u$  — среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с.

Если значение  $u$  неизвестно, то оно принимается равным 3 м/с; в противном случае табличное значение  $\Delta T$  и  $h$  умножаются на поправку

$$W = 4 \frac{M}{c} / (1 \frac{M}{c} + u). \quad (4)$$

Значение поправки  $\varphi$  определяется по формуле

$$\varphi = 1 + \Delta T / 75^{\circ}\text{C}, \quad (5)$$

где  $\Delta T$  — среднегодовое значение разности температур в устье источника и окружающей среде,  $^{\circ}\text{C}$

Для частиц, оседающих со скоростью выше 20 м/с, величина  $f$  принимается равной 10.

Для частиц, оседающих со скоростью 1—20 см/с. принимается:

$$f = \left[ \frac{100M}{60M + \varphi h} \right]^{0,5} * \left[ \frac{4 \frac{M}{c}}{1 \frac{M}{c} + u} \right] \quad (6)$$

Величина/для этих частиц находится в пределах 0,89—4, а для частиц, оседающих со скоростью меньше 1 см/с, — 1—0,08.

Скорость оседания продуктов горения в продуктах выброса при переработке нефти: диоксида серы, оксидов азота, углерода, углеводородов, по данным большинства исследователей, лежит в пределах 0,001-1 м/с.

Приведенная масса годового выброса загрязнений в атмосферу ( $M$ ), у.т/год, рассчитывается с учетом количеств веществ, поступающих в атмосферу, и показателей их относительной агрессивности по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i \quad (7)$$

где  $M$  — приведенная масса годового выброса источника, у.т/год;

$m_i$  — масса годового выброса  $i$ -го вещества, т/год;

$A_i$  — показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида;

$n$  — общее число примесей.

Коэффициент относительной агрессивности находится по формуле

$$A_i = a_i * \alpha_i * \delta_i * \lambda_i * \beta_i \quad (8)$$

где  $a_i$  — показатель относительной опасности присутствия вредного вещества в воздухе, вдыхаемом человеком,

$\alpha_i$  — поправка на вероятность накопления  $i$ -го вещества в окружающей среде;

$\delta_i$  — поправка, характеризующая влияние вредного воздействия вещества на всех остальных реципиентов, кроме человека;

$\lambda_i$  — поправка, учитывающая вероятность вторичного попадания вредных веществ в атмосферу;

$\beta_i$  — поправка, учитывающая вероятность образования из исходных вредных веществ вторичных загрязнителей с более токсичными свойствами.

Показатель относительной опасности находится по формуле

$$a_i = (60 / \text{ПДК}_{Cci} * \text{ПДК}_{Pzi})^{0,5} \quad (9)$$

где  $\text{ПДК}_{Cci}$  — среднесрочная предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества, справочная величина;

$\text{ПДК}_{Pzi}$  — предельно допустимое значение средней за рабочую смену концентрации  $i$ -го вещества на территории рабочей зоны, справочная величина.

Значения поправок и показателей относительной опасности и агрессивности для некоторых ЗВ приведены в прил. 1.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ.

**Задание 1.** Определить эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы выбросами пыли углерода и сажи от точечного источника загрязнения, расположенного на территории промышленного предприятия, если масса годового выброса взвешенных веществ (т) составляет 25 т/год, нормативный экологический ущерб ( $\gamma$ ) — 2,05 руб./у.т. Поправку  $f$  принять равной 1.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

1. Расчет эколого-экономического ущерба (У) выполняем по формуле (1):

$$U = \gamma * \sigma * f * M,$$

где  $\gamma$  — нормативный экологический ущерб, согласно условиям задачи равен 2,05 руб./у.т;

$\sigma$  — показатель относительной опасности территории промышленного предприятия равен 4 (табл.1);

$f$  — поправка, учитывая характер рассеивания, равна 1.

$M$  — приведенную массу выброса (у.т/год) рассчитываем по формуле:

$$M = A * m$$

где  $A$  — показатель относительной агрессивности пыли, равен 41.5 у.т/год (прил. 1);

$m$  — масса годового выброса пыли по условию задачи — 25 т/год.

Эти данные подставляем в уравнение (1):

$$U = 2,05 * 4 * 1 * 41,5 * 25 = 8507,5 \text{ руб.}$$

**Ответ:** эколого-экономический ущерб от выбросов пыли углерода и сажи в атмосферу точечным источником загрязнения, расположенным на территории промышленного предприятия, за год составит

8507,5 руб.

### **Задание по лабораторному практикуму 9**

Задание1. Определить эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы выбросами пыли углерода и сажи от точечного источника загрязнения, расположенного на территории промышленного предприятия, если масса годового выброса взвешенных веществ (m) составляет 25 т/год, нормативный экологический ущерб ( $\gamma$ ) — 2,05 руб./у.т. Поправку  $f$  принять равной 1.

## Приложение 1

Наименование вещества	$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ МГ/М <sup>3</sup>	$\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ МГ/М <sup>3</sup>	$a_i$	$\lambda_i$	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\delta_i$	$A_i$
Оксид углерода	3	20	1	1	1	1	1	1
Метан	200			1	2		1	316
Летучие низкомол.углеводороды (пары жидких топлив-бензинов) в пересчете на углерод	1,5	100	0,63	1	1	2(5)	1	1,3 (3,2)
Ацетон	0,3	200	0,93	1	1	2(5)	1	1,9 (4,6)
Аммиак	0,04	20	3,87	1	1	1	1,2	4,64
Пыль нетоксичная	0,15	10	6,3	1	2	1	1,2	15,1
Диоксид серы	0,05	10	11,0	1	1	1	1,5	16,5
Диоксид азота	0,85	5	11,9	1	1	1	1,2	19,6
Древесная пыль. Цемент. Фосфорит. Нефелин, кокс, бокситы, глина, абразивы, асбоцементы	0,15	6	8,16	1	2	1	1,2	19,6
Асбест природный и искусственный	0,15	2	14,1	1	2	1	1,2	33,8
Сероводород	0,008	10	27,4	1	1	1	1,5	41,1
Пыль углерода, сажа	0,05	4	17,3	1	2	1	1,2	41,5
Серная кислота	0,1	1	24,5	1	1	1	2	49,0
Диоксид кремния	0,05	1	35,5	1	2	1	1,2	83,2
Метилмеркаптан	$9,10^{-6}$	0,8	2890	1	1	1	1	2890
Фенол	0,003	0,3	258	1	1	1	1,2	2890
Хлор молекулярный	0,03	1	44,7	1	1	1	2	89,4
Цианистый водород	0,01	0,3	141	1	1	1	2	282
Никель и его оксиды	0,001	0,5	346	1	5	1	1	1730

Продолжение приложения 1

Наименование вещества	$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	$\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ , мг/м <sup>3</sup>	$a_i$	$\lambda_i$	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\delta_i$	$A_i$
Соединения шестивалентного хрома в пересчете на Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0015	0,01	2000	1	5	1	1	1000 0
Неорганические соединения ртути в пересчете на ртуть	0,0003	0,01	4472	1	5	1	1	2240 0
3,4-бенз(а)пирен	$10^{-6}$	$1,5^*$ $10^{-4}$	$6,3^*$ $10^{-5}$	1	2	1	1	1260 000
Газовый конденсат	5	300		1	2	1	1	
Пятиокись ванадия (пыль)	0,002	0,5	245	1	5	1	1	1225
Оксиды натрия, калия, кальция, магния, железа, стронция, молибдена, висмута, вольфрама	0,15	10	6,3	1	2	1	1,2	15,1
О-ксилол	0,2	50		1	2	10	1,2	2,9
Трихлорэтилен	1,0	10		1	2	1	1,2	
Толуол	0,6	50		1	2	1	1,2	1,7
Акролеин	0,03	0,2		1	2	1	1,2	100
Бензол	0,8	5		1	1	1	2	15,5
Щелочи едкие		0,5		1	1	1	2	219
Марганец и его оксиды в пересчете на марганец для аэрозоля	0,001	0,03	1414	1	5	1	1	7070
Спирт метиловый	0,5	5		1				9,8
Сероуглерод	0,005	1		1	2		1,5	
Метанол	1,0			1	2		1	9,8
Диэтиленгликоль	0,2			1	1		1	4,6

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как понимаете «экологический ущерб».
2. В каких случаях используется термин «экономический ущерб»?
3. Из каких составляющих формируется величина эколого-экономического ущерба?
4. Какие методы расчета экологического ущерба существуют?
5. Какие коэффициенты пересчета используются при расчете эколого-экономического ущерба атмосферы?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
2. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – С.20-21. <https://www.c-o-k.ru/library/document/12290>
3. Практикум по экологии нефтедобывающего комплекса: Учебное пособие / Шишмина Л.В., Ельчанинова Е.А., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 144 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=701941> С.27-34
4. Промышленная экология. Практикум : учеб. пособие / С.С. Тимофеева, О.В. Тюкарова. ? М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. ? 128 с. ? (Высшее образование: Бакалавриат). С.14-20- Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=858602>
5. Литература Практикум по экологии нефтедобывающего комплекса: Учебное пособие / Шишмина Л.В., Ельчанинова Е.А., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. – 58-60 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=701941>
6. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков : учеб. пособие / А. В. Луканин. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 605 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; URL: <http://www.znanium.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org](http://www.dx.doi.org) / 10.12737 / 22139. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=556200>
7. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки газовоздушных выбросов : учеб. пособие / А.В. Луканин. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 523 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org](http://www.dx.doi.org)/10.12737/24376. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=924676>
8. Приведены расчетные методы определения вредных веществ, поступающих в окружающую среду через неплотности в оборудовании. Книга предназначена для инженерно-технических работников предприятий, занимающихся проектированием систем вентиляции. Источник - <https://www.c-o-k.ru/library/document/12290> <https://www.c-o-k.ru/library/document/12290>