

ЭКОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра геоэкологии

ЭКОЛОГИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 504.06 (073)

ЭКОЛОГИЯ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Иванов, А.В. Стриженок*. СПб, 2020. 45 с.

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Экология» содержат основные сведения о расчете выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации буровых установок, нефтегазового оборудования с учетом специфики сред, с которыми ведется обращение.

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует такие общепрофессиональные компетенции, как способность использовать основы правовых знаний, применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды, принимать меры по охране окружающей среды и недр при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профилей «Бурение нефтяных и газовых скважин», «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта», «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки».

Научный редактор проф. *М.А. Пашкевич*

Рецензент канд. техн. наук *Н.И. Горошкова* (Государственный гидрологический институт)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

Введение

Выбросы углеводородов, их производных, также сопутствующих газов – один из ключевых аспектов негативного воздействия предприятий нефтегазовой отрасли, объектов нефтегазотранспорта на компоненты природной среды. В этой связи актуальным вопросом подготовки бакалавров направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» является выработка навыков и освоение методик расчета параметров газовых сред и расчета выбросов из оборудования при различных технологических процессах. Широко применяемые для обезвреживания горючих газов факельные установки должны проектироваться в соответствии с нормативными характеристиками теплового воздействия. В методических указаниях содержатся применяемые на предприятиях отрасли расчетные методики, а выполнение представленных в материалах задач позволит сформировать соответствующие навыки у студентов и успешно применять их при выполнении выпускной квалификационной работы и реальных задач на производстве.

Задание 1. Определение основных свойств наружной и внутренней среды

Для расчетов количеств вредных веществ, выделяющихся из технологического оборудования в атмосферный воздух, необходимо знать основные свойства химических соединений и их смесей.

В *Приложении* приведены характеристические константы чистых веществ, которые используются для расчета свойств химических соединений и их смесей.

При температуре, отличающейся от 20 °С, плотность жидкости рассчитывается по формуле:

$$\rho_{iж} = \rho_{0ж} \frac{1}{1 + \beta_i (T - T_0)}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.1)$$

где β_i – коэффициент температурного расширения, выражающий относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на 1 °С.

Коэффициент температурного расширения капельных жидкостей незначителен. Для практических расчетов количеств вредных веществ, выделяющихся из оборудования и трубопроводов для жидкостей можно принять $\rho_{iж} = \rho_{0ж}$.

Плотность газа или пара при нормальных условиях ($t_0 = 0$ °С ($T_0 = 273$ °С) и $P_0 = 101\,325$ Па) рассчитывают по следующей формуле:

$$\rho_{0г} = \frac{M}{V_m}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.2)$$

где M – относительная молекулярная масса вещества, кг/кмоль;
 V_m – молярный объем газа при нормальных условиях,
 $V_m = 22,4$ м³/кмоль.

Для определения плотности газа или пара при температуре и давлении отличных от нормальных используют уравнение Клапейрона:

$$\rho_{тг} = \rho_{0г} \cdot \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.3)$$

Динамическую вязкость газов и паров при $t \neq 0$ °С рассчитывают по формуле:

$$\mu_{tг} = \mu_{0г} \cdot \frac{T_0 + Sat}{T + Sat} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5}, \text{ Па}\cdot\text{с} \quad (1.4)$$

где Sat – константа Сатерленда (*Приложение*), $\mu_{0г}$ – динамическая вязкость газа при нормальных условиях, Па·с. Динамическая вязкость - это единица измерения вязкости или вязкотекучести жидкости. Чем выше значение параметра вязкость, тем более тягучая (вязкая) жидкость; чем меньше вязкость, тем он более жидкий (текучий).

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

$$\mu_{тж} = \frac{\mu_{0ж}}{1 + 0,0368t + 0,000212t^2}, \text{ Па}\cdot\text{с} \quad (1.5)$$

Изменение динамической вязкости с изменением температуры является существенным. Так, с увеличением температуры от 0 до 100 °С вязкость воды уменьшается в 7 раз.

Кинематическая вязкость ν связана с динамической вязкостью μ соотношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (1.6)$$

где μ - динамическая вязкость, Па·с; ρ - плотность, кг/м³.

Коэффициент диффузии, который необходим для расчетов количества выделяющихся вредных веществ из оборудования, при нормальных условиях можно рассчитать по следующей зависимости:

$$D_0 = \frac{0,8}{\sqrt{M}} \cdot 0,36, \text{ м}^2/\text{ч} \quad (1.7)$$

Коэффициент диффузии при условиях, отличных от нормальных определяют по формуле:

$$D_t = D_0 \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2, \text{ м}^2/\text{ч} \quad (1.8)$$

Чтобы найти коэффициент диффузии при любой температуре, используют формулу:

$$D_t = D_{20} \cdot [1 + 0,02(t - 200)], \text{ м}^2/\text{ч} \quad (1.9)$$

где D_{20} - коэффициент диффузии при температуре 20 °С.

Часто на практике встречаются не чистые вещества, а их смеси. Состав среды в оборудовании или трубопроводе задается в массовых, объемных или мольных долях.

Мольная доля компонента:

$$N_i = \frac{n_i}{n_{\Sigma}}, \quad (1.10)$$

где n_i – количество вещества (число молей) i -го компонента, моль; n_{Σ} - количество вещества (число молей) всех компонентов смеси, моль.

Мольная доля компонента может быть определена из массовых долей по формуле:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum(a_i/M_i)} \quad (1.11)$$

где a_i – массовая доля компонента; M_i – молекулярная масса компонента, кг/кмоль.

Когда в трубопроводе или оборудовании находится смесь жидкостей, плотность этой смеси определяют по выражению:

$$\rho_{\Sigma ж} = \frac{1}{\sum(a_{i ж}/\rho_{i ж})}, \quad (1.12)$$

где $\rho_{i ж}$ – плотность i -го компонента жидкости, кг/м³.

Динамическая вязкость смеси нормальных жидкостей определяется из выражения:

$$\lg \mu_{\Sigma ж} = \sum(N_i \cdot \lg \mu_{i ж}) \quad (1.13)$$

Если в трубопроводе или оборудовании находится смесь газов или парогазовоздушная смесь, то вязкость газовых (паровых) смесей можно вычислить по приближенной формуле:

$$\mu_{\Sigma г} = \frac{M_{\Sigma г}}{\sum(v_{i г} \cdot M_{i г} / \mu_{i г})} \quad (1.14)$$

где $M_{\Sigma r}$ - молекулярная масса смеси газов, моль, M_{ir} – молекулярная масса i -го компонента смеси газов; v_{ir} – объемные доли компонентов в смеси (для газов объемные доли компонентов равны их мольным долям $v_{ir} = N_{ir}$),

Молярная масса смеси газов или жидкостей может быть вычислена по формуле:

$$M_{\Sigma} = \sum(N_{ir}/M_{ir}) \quad (1.15)$$

Кинематическая вязкость газовой смеси:

$$\nu_{\Sigma r} = \frac{1}{\sum(N_{ir}/\nu_{ir})} \quad (1.16)$$

или

$$\nu_{\Sigma r} = \mu_{\Sigma r} / \rho_{\Sigma r} \quad (1.17)$$

где ν_i – кинематическая вязкость i -го компонента газовой смеси, $\rho_{\Sigma r}$ - плотность газовой смеси, кг/м³

Плотность смеси газов определяется по формуле:

$$\rho_{\Sigma r} = \sum(N_{ir} \cdot \rho_{ir}) \quad (1.18)$$

где N_{ir} – мольные доли компонентов газовой смеси; ρ_{ir} – плотность соответствующих компонентов, кг/м³.

При расчете количеств вредных веществ, выделяющихся со свободной поверхности жидкости, необходимо помнить, что они состоят из смеси веществ, состав которых зависит от температуры, давления, а так же от объемной (мольной) доли каждого вещества в растворе.

Давление газовой смеси равно:

$$P_{\Sigma} = \sum P_i, \text{ Па} \quad (1.19)$$

где P_i – парциальное давление i -го компонента газовой смеси, Па. Парциальное давление — давление отдельно взятого компонента газовой смеси. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений её компонентов.

Мольная доля i -го компонента газовой смеси равна:

$$N_i = \frac{P_i}{P_{\Sigma}} \quad (1.20)$$

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

$$P_i = N_i \cdot P_i^H \quad (1.21)$$

где N_i – мольная доля компонента в растворе; P_i^H – давление насыщенного пара вещества над чистым компонентом при заданной температуре, Па.

Зависимость давления насыщенного пара чистого вещества от температуры описывается уравнениями (парциальное давление в формулах выражается в мм.рт.ст., $1 \text{ мм.рт.ст.} = 133,322 \text{ Па}$):

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{(C+t)} \quad (1.22)$$

или

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{T} \quad (1.23)$$

где значения эмпирических коэффициентов A , B , C (константы Антуана) для чистых веществ приведены в *Приложении*.

Парциальное давление насыщенных водяных паров в наружной газовой среде определяется по формуле (парциальное давление в формуле выражается в мм.рт.ст.):

$$\lg P_{H_2O}^H = 0,622 - \frac{7,5 \cdot t}{(238+t)} \quad (1.24)$$

где t – температура наружной среды, °С.

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

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}^H \cdot \varphi \quad (1.25)$$

где φ - влажность наружной среды, %.

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

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

$$C_i = \frac{16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000}{(273+t) \cdot 133,3} \text{ мг/м}^3 \quad (1.26)$$

где P_i – парциальное давление i -го компонента газовой смеси при заданной температуре и давлении, Па; M_i – молекулярная масса данного вещества.

Задача 1.1. Определить параметры среды в производственном помещении: мольные доли, парциальные давления, плотности, концентрации, кинематические вязкости, динамические вязкости, коэффициенты диффузии каждого компонента газовой смеси, молярную массу, плотность, кинематическую вязкость и динамическую вязкость газовой смеси. Исходные данные к задаче 1.1 представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1

Исходные данные к задаче 1.1.

| № | Примесь | Характеристика среды | | |
|----|------------------|-----------------------------------------|-----------------|--------------|
| | | Концентрация примеси, мг/м ³ | Температура, °С | Влажность, % |
| 1 | Пропан | 10 | 22 | 40 |
| 2 | Бутан | 16 | 24 | 36 |
| 3 | Метан | 12 | 18 | 38 |
| 4 | Оксид азота | 20 | 16 | 32 |
| 5 | Диоксид азота | 11 | 20 | 50 |
| 6 | Аммиак | 17 | 17 | 60 |
| 7 | Бензол | 20 | 23 | 74 |
| 8 | Бензин | 14 | 26 | 70 |
| 9 | Бром | 18 | 15 | 65 |
| 10 | Ацетон | 13 | 21 | 58 |
| 11 | Гексан | 19 | 18 | 45 |
| 12 | Гептан | 17 | 17 | 49 |
| 13 | СО | 9 | 25 | 52 |
| 14 | Метанол | 16 | 30 | 61 |
| 15 | SO ₂ | 10 | 19 | 44 |
| 16 | SO ₃ | 18 | 29 | 30 |
| 17 | H ₂ S | 10 | 18 | 40 |
| 18 | Хлор | 16 | 22 | 53 |
| 19 | Этанол | 12 | 25 | 48 |

Окончание таблицы 1.1

| № | Примесь | Характеристика среды | | |
|----|------------------|-----------------------------------------|-----------------|--------------|
| | | Концентрация примеси, мг/м ³ | Температура, °С | Влажность, % |
| 20 | Фенол | 20 | 28 | 45 |
| 21 | Формальдегид | 11 | 27 | 39 |
| 22 | Этан | 17 | 19 | 47 |
| 23 | Эфир петролейный | 20 | 17 | 50 |
| 24 | Пентан | 14 | 24 | 48 |
| 25 | Ацетилен | 18 | 25 | 45 |
| 26 | Водород | 13 | 14 | 63 |
| 27 | Гидразин | 19 | 27 | 39 |
| 28 | Кислота уксусная | 15 | 26 | 46 |
| 29 | Тиофен | 9 | 30 | 56 |
| 30 | Формальдегид | 16 | 28 | 53 |

Задача 1.2. Определить параметры внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь: мольные доли, парциальные давления, плотности, концентрации, кинематические вязкости, динамические вязкости, коэффициенты диффузии каждого компонента газовой смеси, молярную массу, плотность, кинематическую вязкость и динамическую вязкость газовой смеси. Исходные данные к задаче 1.2 представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2

Исходные данные к задаче 1.2.

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па |
|---|--------------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| | Компоненты | Массовая доля | | |
| 1 | Метан | 0,4 | 50 | 201 000 |
| | Этан | 0,3 | | |
| | Пропан | 0,3 | | |
| 2 | Этан | 0,5 | 60 | 100 000 |
| | Пропан | 0,4 | | |
| | Бутан | 0,1 | | |
| 3 | Метан | 0,6 | 45 | 150 000 |
| | Этан | 0,1 | | |
| | Азот | 0,3 | | |
| 4 | Метан | 0,6 | 30 | 240 000 |
| | Этан | 0,3 | | |
| | Оксид азота | 0,1 | | |

Продолжение таблицы 1.2

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па |
|----|------------------|-----|-----------------------|-------------------------|
| | | | | |
| 5 | Метан | 0,4 | 55 | 80 000 |
| | Этан | 0,2 | | |
| | Пропан | 0,4 | | |
| 6 | Этан | 0,3 | 46 | 120 000 |
| | Пропан | 0,2 | | |
| | Азот | 0,5 | | |
| 7 | Этан | 0,5 | 24 | 160 000 |
| | Пропан | 0,3 | | |
| | Гелий | 0,2 | | |
| 8 | Этан | 0,6 | 15 | 210 000 |
| | Пропан | 0,3 | | |
| | Водород | 0,1 | | |
| 9 | Метан | 0,7 | 10 | 150 000 |
| | Этан | 0,2 | | |
| | Пропан | 0,1 | | |
| 10 | Метан | 0,6 | 42 | 200 000 |
| | Этан | 0,2 | | |
| | Водород | 0,2 | | |
| 11 | Этан | 0,7 | 38 | 170 000 |
| | Пропан | 0,1 | | |
| | Аргон | 0,2 | | |
| 12 | Этан | 0,4 | 20 | 70 000 |
| | Пропан | 0,4 | | |
| | Бутан | 0,2 | | |
| 13 | Этан | 0,5 | 28 | 130 000 |
| | Пропан | 0,1 | | |
| | СО | 0,4 | | |
| 14 | Этан | 0,6 | 44 | 90 000 |
| | Пропан | 0,2 | | |
| | СО ₂ | 0,2 | | |
| 15 | Метан | 0,8 | 52 | 220 000 |
| | Этан | 0,1 | | |
| | SO ₂ | 0,1 | | |
| 16 | Метан | 0,7 | 22 | 140 000 |
| | Этан | 0,2 | | |
| | SO ₃ | 0,1 | | |
| 17 | Этан | 0,7 | 40 | 100 000 |
| | Пропан | 0,1 | | |
| | H ₂ S | 0,2 | | |

Окончание таблицы 1.2

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па |
|----|------------------|-----|-----------------------|-------------------------|
| | | | | |
| 18 | Этан | 0,6 | 26 | 175 000 |
| | Пропан | 0,2 | | |
| | Хлор | 0,2 | | |
| 19 | Метан | 0,2 | 35 | 230 000 |
| | Пропан | 0,4 | | |
| | Азот | 0,4 | | |
| 20 | Этан | 0,4 | 44 | 176 000 |
| | Азот | 0,4 | | |
| | H ₂ S | 0,2 | | |
| 21 | Пропан | 0,5 | 18 | 150 000 |
| | Азот | 0,3 | | |
| | H ₂ S | 0,2 | | |
| 22 | Этан | 0,3 | 29 | 105 000 |
| | Азот | 0,4 | | |
| | СО | 0,3 | | |
| 23 | Пропан | 0,1 | 37 | 217 000 |
| | Азот | 0,7 | | |
| | СО | 0,2 | | |
| 24 | Метан | 0,2 | 16 | 99 000 |
| | Пропан | 0,3 | | |
| | Пентан | 0,5 | | |
| 25 | Азот | 0,6 | 41 | 134 000 |
| | Водород | 0,1 | | |
| | Метан | 0,4 | | |
| 26 | Аргон | 0,2 | 58 | 187 000 |
| | Водород | 0,7 | | |
| | Оксид азота | 0,1 | | |
| 27 | Метан | 0,3 | 70 | 215 000 |
| | Этан | 0,5 | | |
| | СО | 0,2 | | |
| 28 | Этан | 0,5 | 40 | 85 000 |
| | Пропан | 0,3 | | |
| | Пентан | 0,2 | | |
| 29 | Метан | 0,6 | 20 | 166 000 |
| | Этан | 0,3 | | |
| | Водород | 0,1 | | |
| 30 | Этан | 0,4 | 54 | 140 000 |
| | Пропан | 0,3 | | |
| | Гелий | 0,3 | | |

Задача 1.3. Определить параметры среды над открытой поверхностью жидкости в наружной среде: мольные доли, парциальные давления, плотности, концентрации, кинематические вязкости, динамические вязкости, коэффициенты диффузии каждого компонента газовой смеси, молярную массу, плотность, кинематическую вязкость и динамическую вязкость газовой смеси. Привести таблицу сопоставления мольного состава жидкости и мольного состав газа над ней. Исходные данные к задаче 1.3 представлены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Исходные данные к задаче 1.3.

| № | Состав жидкости | | Температура жидкости, °C | Влажность воздуха, % |
|---|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовая доля | | |
| 1 | Вода | 0,4 | 40 | 70 |
| | Тридекан C ₁₃ H ₂₈ | 0,3 | | |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 0,3 | | |
| 2 | Вода | 0,2 | 50 | 65 |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 0,4 | | |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 0,4 | | |
| 3 | Вода | 0,6 | 60 | 60 |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 0,2 | | |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 0,2 | | |
| 4 | Вода | 0,6 | 44 | 66 |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 0,1 | | |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 0,3 | | |
| 5 | Вода | 0,1 | 38 | 50 |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 0,5 | | |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 0,4 | | |
| 6 | Вода | 0,2 | 57 | 49 |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 0,3 | | |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 0,5 | | |
| 7 | Вода | 0,3 | 63 | 50 |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 0,4 | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 0,3 | | |
| 8 | Вода | 0,6 | 42 | 60 |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 0,3 | | |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 0,1 | | |
| 9 | Вода | 0,8 | 33 | 72 |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₃ | 0,1 | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 0,1 | | |

Продолжение таблицы 1.3

| № | Состав жидкости | | Температура жидкости, °С | Влажность воздуха, % |
|----|------------------------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовая доля | | |
| 10 | Вода | 0,5 | 64 | 45 |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 0,2 | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 0,3 | | |
| 11 | Вода | 0,4 | 70 | 56 |
| | Метанол CH ₄ O | 0,2 | | |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 0,4 | | |
| 12 | Вода | 0,2 | 38 | 59 |
| | Октанол-2 C ₈ H ₁₈ O | 0,6 | | |
| | Пропанол C ₃ H ₈ O | 0,2 | | |
| 13 | Вода | 0,2 | 43 | 61 |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 0,5 | | |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 0,3 | | |
| 14 | Вода | 0,4 | 39 | 48 |
| | Циклопентан C ₅ H ₁₀ | 0,1 | | |
| | Этанол C ₂ H ₆ O | 0,5 | | |
| 15 | Вода | 0,3 | 56 | 42 |
| | Этиламин C ₂ H ₇ N | 0,3 | | |
| | Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 0,4 | | |
| 16 | Вода | 0,8 | 51 | 44 |
| | 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ | 0,1 | | |
| | Этоксibenзол C ₈ H ₁₀ O | 0,1 | | |
| 17 | Вода | 0,3 | 47 | 40 |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 0,3 | | |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 0,4 | | |
| 18 | Вода | 0,5 | 36 | 53 |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 0,3 | | |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 0,2 | | |
| 19 | Вода | 0,1 | 54 | 56 |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 0,2 | | |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 0,7 | | |
| 20 | Вода | 0,4 | 42 | 59 |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 0,2 | | |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 0,4 | | |
| 21 | Вода | 0,1 | 30 | 41 |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 0,3 | | |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 0,6 | | |
| 22 | Вода | 0,7 | 46 | 51 |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 0,1 | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 0,2 | | |

Продолжение таблицы 1.3

| № | Состав жидкости | | Температура жидкости, °С | Влажность воздуха, % |
|----|--------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовая доля | | |
| 23 | Вода | 0,8 | 58 | 67 |
| | Декан $C_{10}H_{22}$ | 0,1 | | |
| | Деканол $C_{10}H_{22}O$ | 0,1 | | |
| 24 | Вода | 0,3 | 69 | 42 |
| | Диэтиламин $C_4H_{11}N$ | 0,3 | | |
| | Диэтиленгликоль $C_4H_{10}O_3$ | 0,4 | | |
| 25 | Вода | 0,2 | 40 | 53 |
| | Додеканол $C_{12}H_{26}O$ | 0,4 | | |
| | Изопропилбензол C_9H_{12} | 0,4 | | |
| 26 | Вода | 0,6 | 55 | 43 |
| | м-Ксилол C_8H_{10} | 0,3 | | |
| | Метанол CH_4O | 0,1 | | |
| 27 | Вода | 0,5 | 66 | 56 |
| | Октанол-1 $C_8H_{18}O$ | 0,2 | | |
| | Тиофен C_4H_4S | 0,3 | | |
| 28 | Вода | 0,2 | 78 | 44 |
| | Толуол C_7H_8 | 0,4 | | |
| | Гептан C_7H_{16} | 0,4 | | |
| 29 | Вода | 0,3 | 37 | 59 |
| | Этанол C_2H_6O | 0,1 | | |
| | Этиламин C_2H_7N | 0,6 | | |
| 30 | Вода | 0,4 | 28 | 62 |
| | Этилбензол C_8H_{10} | 0,1 | | |
| | 3-этилгексан C_8H_{18} | 0,5 | | |
| 31 | Вода | 0,1 | 34 | 63 |
| | Этоксibenзол $C_8H_{10}O$ | 0,3 | | |
| | Пропанол C_3H_8O | 0,6 | | |
| 32 | Вода | 0,4 | 49 | 65 |
| | Бензол C_6H_6 | 0,2 | | |
| | Тридекан $C_{13}H_{28}$ | 0,4 | | |
| 33 | Вода | 0,2 | 22 | 68 |
| | Этиламин C_2H_7N | 0,2 | | |
| | Додекан $C_{12}H_{26}$ | 0,6 | | |
| 34 | Вода | 0,3 | 51 | 39 |
| | Тиофен C_4H_4S | 0,3 | | |
| | Пентадекан $C_{15}H_{32}$ | 0,4 | | |
| 35 | Вода | 0,1 | 68 | 44 |
| | Метанол CH_4O | 0,4 | | |
| | Толуол C_7H_8 | 0,5 | | |

| № | Состав жидкости | | Температура жидкости, °С | Влажность воздуха, % |
|----|------------------------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовая доля | | |
| 36 | Вода | 0,4 | 72 | 48 |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 0,4 | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 0,2 | | |
| 37 | Вода | 0,3 | 33 | 49 |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 0,4 | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 0,3 | | |
| 38 | Вода | 0,5 | 46 | 46 |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 0,1 | | |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 0,4 | | |
| 39 | Вода | 0,5 | 53 | 55 |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 0,4 | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 0,1 | | |
| 40 | Вода | 0,3 | 58 | 58 |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 0,5 | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 0,2 | | |

Задание 2. Расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников

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

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

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

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

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

Допустимые значения коэффициентов негерметичности приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Допустимые значения коэффициентов негерметичности

| Емкость | Среда | Коэффициент негерметичности, ч^{-1} | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-------|
| Газовые компрессоры, технологическое оборудование с трубопроводами и другое оборудование, работающее под давлением: - вновь установленные | Токсичная | 0,001 | |
| | Пожаро- и взрывоопасная | 0,002 | |
| | То же | 0,005 | |
| Трубопроводы для горючих, токсичных и сжиженных газов и паров: - цеховые | Токсичная и горючая | 0,0005 | |
| | Горючая | 0,001 | |
| | - межцеховые | Токсичная и горючая | 0,001 |
| | | Горючая | 0,001 |

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

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

где 3,57 – коэффициент, $^{\circ}\text{C}^{1/2} \cdot \text{см}^2 / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$; η – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5; $P_{\text{изб}}$ – избыточное давление, создаваемое в трубопроводе, Па; m – коэффициент негерметичности,

характеризующий падение давления в аппарате, ч^{-1} ; V – объем аппарата, занимаемый газовой (паровой) фазой, м^3 ; T – абсолютная температура газа или пара в аппарате, К ; M – молярная масса газа или пара, кг/кмоль .

Задача 2.1. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода. Исходные данные к задаче 2.1 представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2

Исходные данные к задаче 2.1

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па | Параметры трубопровода | |
|---|------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------|
| | Компоненты | Массовая доля | | | Диаметр внутренний, мм | Длина, м |
| 1 | Метан Этан Пропан | 0,4 0,3 0,3 | 50 | 201 000 | 119 | 800 |
| 2 | Этан Пропан Бутан | 0,5 0,4 0,1 | 60 | 100 000 | 90 | 500 |
| 3 | Метан Этан Азот | 0,6 0,1 0,3 | 45 | 150 000 | 80 | 1000 |
| 4 | Метан Этан Оксид азота | 0,6 0,3 0,1 | 30 | 240 000 | 75 | 300 |
| 5 | Метан Этан Пропан | 0,4 0,2 0,4 | 55 | 80 000 | 257 | 900 |
| 6 | Этан Пропан Азот | 0,3 0,2 0,5 | 46 | 120 000 | 150 | 750 |
| 7 | Этан Пропан Гелий | 0,5 0,3 0,2 | 24 | 160 000 | 120 | 1200 |
| 8 | Этан Пропан Водород | 0,6 0,3 0,1 | 15 | 210 000 | 70 | 540 |

Продолжение таблицы 2.2

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па | Параметры трубопровода | |
|----|------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------|
| | Компоненты | Массовая доля | | | Диаметр внутренний, мм | Длина, м |
| 9 | Метан Этан Пропан | 0,7 0,2 0,1 | 10 | 150 000 | 100 | 300 |
| 10 | Метан Этан Водород | 0,6 0,2 0,2 | 42 | 200 000 | 87 | 150 |
| 11 | Этан Пропан Аргон | 0,7 0,1 0,2 | 38 | 170 000 | 210 | 860 |
| 12 | Этан Пропан Бутан | 0,4 0,4 0,2 | 20 | 70 000 | 140 | 900 |
| 13 | Этан Пропан СО | 0,5 0,1 0,4 | 28 | 130 000 | 90 | 475 |
| 14 | Этан Пропан СО ₂ | 0,6 0,2 0,2 | 44 | 90 000 | 75 | 360 |
| 15 | Метан Этан SO ₂ | 0,8 0,1 0,1 | 52 | 220 000 | 130 | 700 |
| 16 | Метан Этан SO ₃ | 0,7 0,2 0,1 | 22 | 140 000 | 150 | 950 |
| 17 | Этан Пропан H ₂ S | 0,7 0,1 0,2 | 40 | 100 000 | 210 | 1100 |
| 18 | Этан Пропан Хлор | 0,6 0,2 0,2 | 26 | 175 000 | 240 | 490 |
| 19 | Метан Пропан Азот | 0,2 0,4 0,4 | 35 | 230 000 | 90 | 970 |
| 20 | Этан Азот H ₂ S | 0,4 0,4 0,2 | 44 | 176 000 | 160 | 850 |

Окончание таблицы 2.2

| № | Состав смеси | | Температура смеси, °С | Давление избыточное, Па | Параметры трубопровода | |
|----|------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------|
| | Компоненты | Массовая доля | | | Диаметр внутренний, мм | Длина, м |
| 21 | Пропан Азот H ₂ S | 0,5 0,3 0,2 | 18 | 150 000 | 190 | 600 |
| 22 | Этан Азот СО | 0,3 0,4 0,3 | 29 | 105 000 | 80 | 830 |
| 23 | Пропан Азот СО | 0,1 0,7 0,2 | 37 | 217 000 | 108 | 490 |
| 24 | Метан Пропан Пентан | 0,2 0,3 0,5 | 16 | 99 000 | 90 | 580 |
| 25 | Азот Водород Метан | 0,6 0,1 0,4 | 41 | 134 000 | 120 | 250 |
| 26 | Аргон Водород Оксид азота | 0,2 0,7 0,1 | 58 | 187 000 | 110 | 120 |
| 27 | Метан Этан СО | 0,3 0,5 0,2 | 70 | 215 000 | 95 | 300 |
| 28 | Этан Пропан Пентан | 0,5 0,3 0,2 | 40 | 85 000 | 125 | 400 |
| 29 | Метан Этан Водород | 0,6 0,3 0,1 | 20 | 166 000 | 250 | 820 |
| 30 | Этан Пропан Гелий | 0,4 0,3 0,3 | 54 | 140 000 | 200 | 414 |

Задача 2.2. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений из аппарата. Построить зависимости количества газовой смеси, выделившейся из аппарата, от давления и температуры. Исходные данные к задаче 2.2 представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные к задаче 2.2

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Температура, °С | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|-------------------------|----|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Давление избыточное, Па | | | |
| 1 | Вода | 40 | 2 | 1 | 0,8 | 200 000 | 40 | 70 | |
| | Тридекан C ₁₃ H ₂₈ | 30 | | | | | | | |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 30 | | | | | | | |
| 2 | Вода | 20 | 8 | 2,5 | 0,5 | 100 000 | 50 | 65 | |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 40 | | | | | | | |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 40 | | | | | | | |
| 3 | Вода | 60 | 4 | 2,8 | 0,9 | 250 000 | 60 | 60 | |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 20 | | | | | | | |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 20 | | | | | | | |
| 4 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,6 | 170 000 | 44 | 66 | |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 10 | | | | | | | |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 30 | | | | | | | |
| 5 | Вода | 10 | 3 | 2,6 | 0,4 | 130 000 | 38 | 50 | |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 50 | | | | | | | |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 40 | | | | | | | |
| 6 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,3 | 190 000 | 57 | 49 | |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 30 | | | | | | | |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 50 | | | | | | | |
| 7 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,7 | 220 000 | 63 | 50 | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 40 | | | | | | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 30 | | | | | | | |
| 8 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,4 | 175 000 | 42 | 60 | |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 30 | | | | | | | |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 10 | | | | | | | |
| 9 | Вода | 80 | 12 | 4 | 0,2 | 126 000 | 33 | 72 | |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₃ | 10 | | | | | | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 10 | | | | | | | |
| 10 | Вода | 50 | 2 | 1 | 0,3 | 190 000 | 64 | 45 | |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 20 | | | | | | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 30 | | | | | | | |
| 11 | Вода | 40 | 5 | 3 | 0,5 | 230 000 | 70 | 56 | |
| | Метанол CH ₄ O | 20 | | | | | | | |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 40 | | | | | | | |

Продолжение таблицы 2.3

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 12 | Вода Октанол-2 C ₈ H ₁₈ O Пропанол C ₃ H ₈ O | 20 60 20 | 3 | 2,6 | 0,7 | 140 000 | 38 | 59 |
| 13 | Вода Тиофен C ₄ H ₄ S Толуол C ₇ H ₈ | 20 50 30 | 12 | 4 | 0,6 | 217 000 | 43 | 61 |
| 14 | Вода Циклопентан C ₅ H ₁₀ Этанол C ₂ H ₆ O | 40 10 50 | 4 | 2,8 | 0,4 | 110 000 | 39 | 48 |
| 15 | Вода Этиламин C ₂ H ₇ N Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 30 30 40 | 6 | 3,2 | 0,8 | 300 000 | 56 | 42 |
| 16 | Вода 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ Этоксibenзол C ₈ H ₁₀ O | 80 10 10 | 8 | 2,5 | 0,6 | 164 000 | 51 | 44 |
| 17 | Вода Ундекан C ₁₁ H ₂₄ Циклобутан C ₄ H ₈ | 30 30 40 | 5 | 3 | 0,4 | 244 000 | 47 | 40 |
| 18 | Вода 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ Октан C ₈ H ₁₈ | 50 30 20 | 6 | 3,2 | 0,7 | 166 000 | 36 | 53 |
| 19 | Вода Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 10 20 70 | 7 | 3,4 | 0,5 | 80 000 | 54 | 56 |
| 20 | Вода Дифенил C ₁₂ H ₁₀ Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 40 20 40 | 10 | 3,8 | 0,2 | 180 000 | 42 | 59 |
| 21 | Вода Додекан C ₁₂ H ₂₆ Бензол C ₆ H ₆ | 10 30 60 | 5 | 3 | 0,4 | 218 000 | 30 | 41 |
| 22 | Вода н-Гексан C ₆ H ₁₄ Гептан C ₇ H ₁₆ | 70 10 20 | 12 | 4 | 0,5 | 260 000 | 46 | 51 |

Продолжение таблицы 2.3

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|--------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 23 | Вода | 80 | 8 | 2,5 | 0,7 | 182 000 | 58 | 67 |
| | Декан $C_{10}H_{22}$ | 10 | | | | | | |
| | Деканол $C_{10}H_{22}O$ | 10 | | | | | | |
| 24 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,3 | 138 000 | 69 | 42 |
| | Диэтиламин $C_4H_{11}N$ | 30 | | | | | | |
| | Диэтиленгликоль $C_4H_{10}O_3$ | 40 | | | | | | |
| 25 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,8 | 220 000 | 40 | 53 |
| | Додеканол $C_{12}H_{26}O$ | 40 | | | | | | |
| | Изопропилбензол C_9H_{12} | 40 | | | | | | |
| 26 | Вода | 60 | 10 | 3,8 | 0,4 | 190 000 | 55 | 43 |
| | м-Ксилол C_8H_{10} | 30 | | | | | | |
| | Метанол CH_4O | 10 | | | | | | |
| 27 | Вода | 50 | 5 | 3 | 0,7 | 244 000 | 66 | 56 |
| | Октанол-1 $C_8H_{18}O$ | 20 | | | | | | |
| | Тиофен C_4H_4S | 30 | | | | | | |
| 28 | Вода | 20 | 7 | 3,4 | 0,5 | 142 000 | 78 | 44 |
| | Толуол C_7H_8 | 40 | | | | | | |
| | Гептан C_7H_{16} | 40 | | | | | | |
| 29 | Вода | 30 | 10 | 3,8 | 0,9 | 95 000 | 37 | 59 |
| | Этанол C_2H_6O | 10 | | | | | | |
| | Этиламин C_2H_7N | 60 | | | | | | |
| 30 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,2 | 116 000 | 28 | 62 |
| | Этилбензол C_8H_{10} | 10 | | | | | | |
| | 3-этилгексан C_8H_{18} | 50 | | | | | | |
| 31 | Вода | 10 | 6 | 3,2 | 0,4 | 218 000 | 34 | 63 |
| | Этоксibenзол $C_8H_{10}O$ | 30 | | | | | | |
| | Пропанол C_3H_8O | 60 | | | | | | |
| 32 | Вода | 40 | 8 | 2,5 | 0,3 | 234 000 | 49 | 65 |
| | Бензол C_6H_6 | 20 | | | | | | |
| | Тридекан $C_{13}H_{28}$ | 40 | | | | | | |
| 33 | Вода | 20 | 5 | 3 | 0,8 | 186 000 | 22 | 68 |
| | Этиламин C_2H_7N | 20 | | | | | | |
| | Додекан $C_{12}H_{26}$ | 60 | | | | | | |

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 34 | Вода | 30 | 7 | 3,4 | 0,6 | 205 000 | 51 | 39 |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 30 | | | | | | |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 40 | | | | | | |
| 35 | Вода | 10 | 9 | 2,6 | 0,7 | 140 000 | 68 | 44 |
| | Метанол CH ₄ O | 40 | | | | | | |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 50 | | | | | | |
| 36 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,3 | 238 000 | 72 | 48 |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 40 | | | | | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 20 | | | | | | |
| 37 | Вода | 30 | 6 | 3,2 | 0,4 | 270 000 | 33 | 49 |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 40 | | | | | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 30 | | | | | | |
| 38 | Вода | 50 | 10 | 3,8 | 0,6 | 248 000 | 46 | 46 |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 10 | | | | | | |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 40 | | | | | | |
| 39 | Вода | 50 | 5 | 3 | 0,5 | 116 000 | 53 | 55 |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 40 | | | | | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 10 | | | | | | |
| 40 | Вода | 30 | 7 | 3,4 | 0,7 | 94 000 | 58 | 58 |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 50 | | | | | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 20 | | | | | | |

Задание 3. Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом» и «малом дыхании» аппарата

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

$$V_r = V_1 - V_2 \quad (3.1)$$

где V_1 и V_2 – объем газов или паров в аппарате перед и после его наполнения, м³.

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

$$G_{\Sigma r} = V_r \cdot \rho_{\Sigma r} = (V_1 - V_2) \cdot \rho_{\Sigma r} \quad (3.2)$$

где $\rho_{\Sigma r}$ – плотность газов или паров, кг/м³.

«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 изменяются очень незначительно, следовательно, объем газового или парового пространства аппарата остается постоянным. Давление газовой смеси $P_{\text{раб}}$ в аппарате также остается неизменным, так как её избыток удаляется через систему дыхательных клапанов.

Если весь период малого дыхания 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:

$$V_r = V \cdot \beta \cdot (t_2 - t_1) = V \cdot \frac{\Delta t}{273} \quad (3.3)$$

где V – объем газа или пара в аппарате над жидкостью, м³; β – коэффициент объемного расширения; Δt – изменение температуры газа или пара над жидкостью, °С.

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

$$G_i = V_r \cdot C_{i \text{ ср}} \quad (3.4)$$

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

$$C_{i\text{cp}} = \frac{(C_{it_1} + C_{it_2})}{2} \quad (3.5)$$

где C_{it_1} и C_{it_2} – концентрации насыщенных паров при t_1 и t_2 , кг/м^3

Задача 3.1. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через воздушный клапан при «большом дыхании» аппарата. Исходные данные к задаче 3.1 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные к задаче 3.1

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | | Влажность воздуха, % | |
|---|-----------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Уровень перед заполнением, м | Время заполнения, м | Давление избыточное, Па | | Температура, °С |
| 1 | Вода | 40 | 2 | 1 | 0,8 | 0,1 | 35 | 200 000 | 40 | 70 |
| | Тридекан $\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ | 30 | | | | | | | | |
| | Ундекан $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ | 30 | | | | | | | | |
| 2 | Вода | 20 | 8 | 2,5 | 0,5 | 0,2 | 20 | 100 000 | 50 | 65 |
| | Циклобутан C_4H_8 | 40 | | | | | | | | |
| | 2-метилпентан C_6H_{14} | 40 | | | | | | | | |
| 3 | Вода | 60 | 4 | 2,8 | 0,9 | 0,3 | 45 | 250 000 | 60 | 60 |
| | Октан C_8H_{18} | 20 | | | | | | | | |
| | Пентадекан $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ | 20 | | | | | | | | |
| 4 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,6 | 0,2 | 50 | 170 000 | 44 | 66 |
| | Циклогексан C_6H_{12} | 10 | | | | | | | | |
| | Дифенил $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$ | 30 | | | | | | | | |
| 5 | Вода | 10 | 3 | 2,6 | 0,4 | 0,4 | 30 | 130 000 | 38 | 50 |
| | Диметилсульфид $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ | 50 | | | | | | | | |
| | Додекан $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ | 40 | | | | | | | | |
| 6 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,3 | 0,7 | 35 | 190 000 | 57 | 49 |
| | Бензол C_6H_6 | 30 | | | | | | | | |
| | н-Гексан C_6H_{14} | 50 | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.1

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Уровень перед заполнением, м | Время заполнения, м | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 7 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,7 | 0,5 | 25 | 220 000 | 63 | 50 |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 40 | | | | | | | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 30 | | | | | | | | |
| 8 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,4 | 0,1 | 45 | 175 000 | 42 | 60 |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 30 | | | | | | | | |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 10 | | | | | | | | |
| 9 | Вода | 80 | 12 | 4 | 0,2 | 0,8 | 40 | 126 000 | 33 | 72 |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₃ | 10 | | | | | | | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 10 | | | | | | | | |
| 10 | Вода | 50 | 2 | 1 | 0,3 | 0,1 | 55 | 190 000 | 64 | 45 |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 20 | | | | | | | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 30 | | | | | | | | |
| 11 | Вода | 40 | 5 | 3 | 0,5 | 0,2 | 30 | 230 000 | 70 | 56 |
| | Метанол CH ₄ O | 20 | | | | | | | | |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 40 | | | | | | | | |
| 12 | Вода | 20 | 3 | 2,6 | 0,7 | 0,4 | 40 | 140 000 | 38 | 59 |
| | Октанол-2 C ₈ H ₁₈ O | 60 | | | | | | | | |
| | Пропанол C ₃ H ₈ O | 20 | | | | | | | | |
| 13 | Вода | 20 | 12 | 4 | 0,6 | 0,9 | 50 | 217 000 | 43 | 61 |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 50 | | | | | | | | |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 30 | | | | | | | | |
| 14 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,4 | 0,2 | 25 | 110 000 | 39 | 48 |
| | Циклопентан C ₅ H ₁₀ | 10 | | | | | | | | |
| | Этанол C ₂ H ₆ O | 50 | | | | | | | | |
| 15 | Вода | 30 | 6 | 3,2 | 0,8 | 0,3 | 35 | 300 000 | 56 | 42 |
| | Этиламин C ₂ H ₇ N | 30 | | | | | | | | |
| | Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 40 | | | | | | | | |
| 16 | Вода | 80 | 8 | 2,5 | 0,6 | 0,6 | 45 | 164 000 | 51 | 44 |
| | 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ | 10 | | | | | | | | |
| | Этоксibenзол C ₈ H ₁₀ O | 10 | | | | | | | | |
| 17 | Вода | 30 | 5 | 3 | 0,4 | 0,2 | 55 | 244 000 | 47 | 40 |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 30 | | | | | | | | |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 40 | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.1

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Уровень перед заполнением, м | Время заполнения, м | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 18 | Вода | 50 | 6 | 3,2 | 0,7 | 0,4 | 40 | 166 000 | 36 | 53 |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 30 | | | | | | | | |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 20 | | | | | | | | |
| 19 | Вода | 10 | 7 | 3,4 | 0,5 | 0,9 | 30 | 80 000 | 54 | 56 |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 20 | | | | | | | | |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 70 | | | | | | | | |
| 20 | Вода | 40 | 10 | 3,8 | 0,2 | 0,5 | 20 | 180 000 | 42 | 59 |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 20 | | | | | | | | |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 40 | | | | | | | | |
| 21 | Вода | 10 | 5 | 3 | 0,4 | 0,2 | 48 | 218 000 | 30 | 41 |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 30 | | | | | | | | |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 60 | | | | | | | | |
| 22 | Вода | 70 | 12 | 4 | 0,5 | 0,1 | 32 | 260 000 | 46 | 51 |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 10 | | | | | | | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 20 | | | | | | | | |
| 23 | Вода | 80 | 8 | 2,5 | 0,7 | 0,3 | 40 | 182 000 | 58 | 67 |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 10 | | | | | | | | |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 10 | | | | | | | | |
| 24 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,3 | 0,5 | 30 | 138 000 | 69 | 42 |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 30 | | | | | | | | |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₃ | 40 | | | | | | | | |
| 25 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,8 | 0,7 | 28 | 220 000 | 40 | 53 |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 40 | | | | | | | | |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 40 | | | | | | | | |
| 26 | Вода | 60 | 10 | 3,8 | 0,4 | 0,8 | 35 | 190 000 | 55 | 43 |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 30 | | | | | | | | |
| | Метанол CH ₄ O | 10 | | | | | | | | |
| 27 | Вода | 50 | 5 | 3 | 0,7 | 0,1 | 50 | 244 000 | 66 | 56 |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 20 | | | | | | | | |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 30 | | | | | | | | |
| 28 | Вода | 20 | 7 | 3,4 | 0,5 | 0,3 | 36 | 142 000 | 78 | 44 |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 40 | | | | | | | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 40 | | | | | | | | |

Окончание таблицы 3.1

| № | Состав жидкости | | | Аппарат | | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Уровень перед заполнением, м | Время заполнения, м | Давление избыточное, Па | Температура, °С | |
| 29 | Вода | 30 | 10 | 3,8 | 0,9 | 0,2 | 30 | 95 000 | 37 | 59 |
| | Этанол C ₂ H ₆ O | 10 | | | | | | | | |
| | Этиламин C ₂ H ₇ N | 60 | | | | | | | | |
| 30 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,2 | 0,4 | 60 | 116 000 | 28 | 62 |
| | Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 10 | | | | | | | | |
| | 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ | 50 | | | | | | | | |

Задача 3.2. Определить количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух через воздушный клапан аппарата при изменении в течение 1 часа температуры жидкости и газовой среды в аппарате. Исходные данные к задаче 3.2 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные к задаче 3.2

| № | Состав жидкости | | | Аппарат | | | | Влажность воздуха, % |
|---|------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Начальная температура, °С | Конечная температура, °С | |
| 1 | Вода | 40 | 2 | 1 | 0,8 | 39 | 41 | 70 |
| | Тридекан C ₁₃ H ₂₈ | 30 | | | | | | |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 30 | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.2

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Начальная температура, °С | Конечная температура, °С | |
| 2 | Вода | 20 | 8 | 2,5 | 0,5 | 50 | 51 | 65 |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 40 | | | | | | |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 40 | | | | | | |
| 3 | Вода | 60 | 4 | 2,8 | 0,9 | 38 | 40 | 60 |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 20 | | | | | | |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 20 | | | | | | |
| 4 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,6 | 44 | 45 | 66 |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 10 | | | | | | |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 30 | | | | | | |
| 5 | Вода | 10 | 3 | 2,6 | 0,4 | 36 | 38 | 50 |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 50 | | | | | | |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 40 | | | | | | |
| 6 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,3 | 49 | 50 | 49 |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 30 | | | | | | |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 50 | | | | | | |
| 7 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,7 | 33 | 35 | 50 |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 40 | | | | | | |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 30 | | | | | | |
| 8 | Вода | 60 | 5 | 3 | 0,4 | 42 | 44 | 60 |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 30 | | | | | | |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 10 | | | | | | |
| 9 | Вода | 80 | 12 | 4 | 0,2 | 33 | 35 | 72 |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₃ | 10 | | | | | | |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 10 | | | | | | |
| 10 | Вода | 50 | 2 | 1 | 0,3 | 34 | 36 | 45 |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 20 | | | | | | |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 30 | | | | | | |
| 11 | Вода | 40 | 5 | 3 | 0,5 | 30 | 37 | 56 |
| | Метанол CH ₄ O | 20 | | | | | | |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 40 | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.2

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Начальная температура, °С | Конечная температура, °С | |
| 12 | Вода | 20 | 3 | 2,6 | 0,7 | 35 | 38 | 59 |
| | Октанол-2 C ₈ H ₁₈ O | 60 | | | | | | |
| | Пропанол C ₃ H ₈ O | 20 | | | | | | |
| 13 | Вода | 20 | 12 | 4 | 0,6 | 43 | 45 | 61 |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 50 | | | | | | |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 30 | | | | | | |
| 14 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,4 | 37 | 39 | 48 |
| | Циклопентан C ₅ H ₁₀ | 10 | | | | | | |
| | Этанол C ₂ H ₆ O | 50 | | | | | | |
| 15 | Вода | 30 | 6 | 3,2 | 0,8 | 26 | 28 | 42 |
| | Этиламин C ₂ H ₇ N | 30 | | | | | | |
| | Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 40 | | | | | | |
| 16 | Вода | 80 | 8 | 2,5 | 0,6 | 21 | 25 | 44 |
| | 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ | 10 | | | | | | |
| | Этоксibenзол C ₈ H ₁₀ O | 10 | | | | | | |
| 17 | Вода | 30 | 5 | 3 | 0,4 | 17 | 27 | 40 |
| | Ундекан C ₁₁ H ₂₄ | 30 | | | | | | |
| | Циклобутан C ₄ H ₈ | 40 | | | | | | |
| 18 | Вода | 50 | 6 | 3,2 | 0,7 | 26 | 29 | 53 |
| | 2-метилпентан C ₆ H ₁₄ | 30 | | | | | | |
| | Октан C ₈ H ₁₈ | 20 | | | | | | |
| 19 | Вода | 10 | 7 | 3,4 | 0,5 | 34 | 37 | 56 |
| | Пентадекан C ₁₅ H ₃₂ | 20 | | | | | | |
| | Циклогексан C ₆ H ₁₂ | 70 | | | | | | |
| 20 | Вода | 40 | 10 | 3,8 | 0,2 | 40 | 42 | 59 |
| | Дифенил C ₁₂ H ₁₀ | 20 | | | | | | |
| | Диметилсульфид C ₂ H ₆ S | 40 | | | | | | |
| 21 | Вода | 10 | 5 | 3 | 0,4 | 25 | 30 | 41 |
| | Додекан C ₁₂ H ₂₆ | 30 | | | | | | |
| | Бензол C ₆ H ₆ | 60 | | | | | | |

| № | Состав жидкости | | Аппарат | | | | | Влажность воздуха, % |
|----|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Компоненты | Массовое содержание, % | Высота, м | Диаметр, м | Степень заполнения | Начальная температура, °С | Конечная температура, °С | |
| 22 | Вода | 70 | 12 | 4 | 0,5 | 34 | 36 | 51 |
| | н-Гексан C ₆ H ₁₄ | 10 | | | | | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 20 | | | | | | |
| 23 | Вода | 80 | 8 | 2,5 | 0,7 | 18 | 28 | 67 |
| | Декан C ₁₀ H ₂₂ | 10 | | | | | | |
| | Деканол C ₁₀ H ₂₂ O | 10 | | | | | | |
| 24 | Вода | 30 | 4 | 2,8 | 0,3 | 16 | 19 | 42 |
| | Диэтиламин C ₄ H ₁₁ N | 30 | | | | | | |
| | Диэтиленгликоль C ₄ H ₁₀ O ₂ | 40 | | | | | | |
| 25 | Вода | 20 | 6 | 3,2 | 0,8 | 24 | 27 | 53 |
| | Додеканол C ₁₂ H ₂₆ O | 40 | | | | | | |
| | Изопропилбензол C ₉ H ₁₂ | 40 | | | | | | |
| 26 | Вода | 60 | 10 | 3,8 | 0,4 | 15 | 25 | 43 |
| | м-Ксилол C ₈ H ₁₀ | 30 | | | | | | |
| | Метанол CH ₄ O | 10 | | | | | | |
| 27 | Вода | 50 | 5 | 3 | 0,7 | 26 | 32 | 56 |
| | Октанол-1 C ₈ H ₁₈ O | 20 | | | | | | |
| | Тиофен C ₄ H ₄ S | 30 | | | | | | |
| 28 | Вода | 20 | 7 | 3,4 | 0,5 | 18 | 22 | 44 |
| | Толуол C ₇ H ₈ | 40 | | | | | | |
| | Гептан C ₇ H ₁₆ | 40 | | | | | | |
| 29 | Вода | 30 | 10 | 3,8 | 0,9 | 37 | 39 | 59 |
| | Этанол C ₂ H ₆ O | 10 | | | | | | |
| | Этиламин C ₂ H ₇ N | 60 | | | | | | |
| 30 | Вода | 40 | 4 | 2,8 | 0,2 | 28 | 32 | 62 |
| | Этилбензол C ₈ H ₁₀ | 10 | | | | | | |
| | 3-этилгексан C ₈ H ₁₈ | 50 | | | | | | |

Задание 4. Расчет элементов факельной системы

Скорость движения газа в факельной трубе независимо от колебаний нагрузки всегда должна быть больше скорости распространения пламени, но меньше некоторой предельной величины, при которой возможен отрыв пламени. На практике принимают, что пламя будет устойчивым при скорости газа на выходе из трубы, не превышающей 20—30% скорости звука.

Расход сбрасываемого газа определяется по формуле

$$G = 3600 \cdot \rho \cdot u \cdot S, \text{ кг/ч} \quad (4.1)$$

где ρ - плотность газа, кг/м^3 ; u - скорость газа в трубе, м/с ; S - площадь поперечного сечения трубы, м^2 .

Плотность газа может быть определена по формуле:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}, \text{ кг/м}^3 \quad (4.2)$$

где M - молекулярная масса газа, кг/кмоль ; P - давление газа, Па ; T - температура, К ; R - универсальная газовая постоянная, равная $8314,8 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / (\text{кмоль} \cdot \text{К})$.

Скорость газа на выходе из факельной трубы принимается равной 20% скорости звука в этом же газе. В идеальном газе скорость звука может быть выражена формулой

$$u_{\text{зв}} = 91,5 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot T}{M}}, \text{ м/с} \quad (4.3)$$

тогда скорость газа на выходе из факельной трубы:

$$u = 0,2 \cdot u_{\text{зв}} = 18,3 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot T}{M}}, \text{ м/с} \quad (4.4)$$

где k - показатель адиабаты ($k = C_p / C_v$).

Площадь поперечного сечения факельной трубы:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

где D - диаметр факельной трубы, м .

После подстановки уравнений 4.2 – 4.5 в уравнение 4.1, получим:

$$S = 0,4 \cdot \left(\frac{T}{k \cdot M}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{G}{P}\right)^{0,5}, \text{ м}^2 \quad (4.6)$$

Если сжигаются газы, не выделяющие дыма, расчетный диаметр можно уменьшить на 15%.

Основные параметры расчета геометрических параметров и безопасных расстояний факельной установки в отсутствии ветра и при наличии ветра представлены на рисунке 1. За нулевую высотную отметку принята высота приземного слоя атмосферы 2 м.

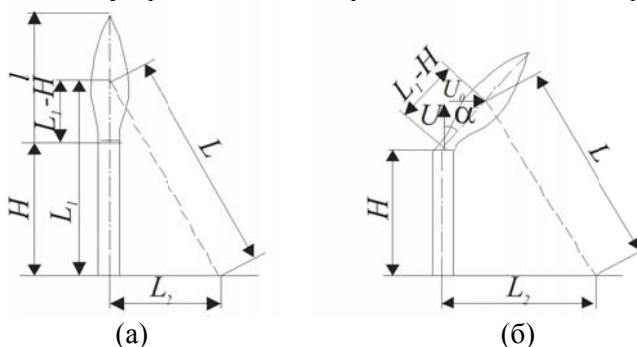


Рисунок 1 - Расположение факела в отсутствие ветра (а) и при наличии ветра (б).

Высота факельной трубы H должна обеспечить безопасность радиационно-теплового воздействия на персонал. Максимальная удельная интенсивность теплоизлучения q , которую может выдерживать персонал в течение короткого промежутка времени воздействия, составляет 17 МДж/(м²·ч). Данный норматив должен выполняться во всех точках под факельной установкой на высоте приземного слоя атмосферы.

Безопасная удельная интенсивность теплоизлучения q , при которой персонал может находиться неограниченное время в течение рабочей смены, составляет 5 МДж/(м²·ч). Данный норматив должен выполняться во всех точках на границе опасной зоны факельной установки на высоте приземного слоя атмосферы.

Длина пламени l (рисунок 1) рассчитывают по формуле:

$$l = 118 \cdot D, \text{ м} \quad (4.7)$$

Интенсивность теплоизлучения пламени определяется уравнением:

$$q = \frac{\Psi \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot L^2}, \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \quad (4.8)$$

где Ψ - коэффициент светового излучения; Q - количество тепла, выделяемого пламенем, МДж/ч; L - расстояние от центра пламени до рассматриваемой точки на высоте приземной зоны, м.

Коэффициент излучения Ψ выражается эмпирическим уравнением:

$$\Psi = 0,2 \cdot \left(Q_n \cdot \frac{26,9}{900} \right)^{0,5} \quad (4.9)$$

где Q_n - низшая теплота сгорания факельного газа, МДж/м³, определяемая по формуле:

$$Q_n = \left(\frac{1}{26,9} \right) \cdot (50 \cdot M + 100), \text{ МДж}/\text{м}^3 \quad (4.10)$$

где M - молекулярная масса газа, кг/кмоль.

Для газовых смесей низшая теплота сгорания определяется формулой:

$$Q_{n\Sigma} = \sum (N_i \cdot Q_{ni}), \text{ МДж}/\text{м}^3 \quad (4.11)$$

где N_i - мольная доля i -го компонента в смеси; Q_{ni} - низшая теплота сгорания компонента, МДж/м³.

Количество тепла, выделяемого пламенем:

$$Q = \frac{G \cdot Q_n}{\rho}, \text{ МДж}/\text{ч} \quad (4.12)$$

где G - расход факельного газа, кг/ч; ρ - плотность газа в факельной трубе, кг/м³.

Расстояние от центра пламени до основания факельной трубы L_1 (рисунок 1а) рассчитывается по формуле:

$$L_1 = \sqrt{H \cdot (H + l)}, \text{ м} \quad (4.13)$$

где H - высота факельной трубы, м.

Расстояние от основания факельной трубы до границы опасной зоны L_2 (рисунок 1а) можно вычислить как длину катета в прямоугольном треугольнике:

$$L_2 = \sqrt{L^2 - L_1^2}, \text{ м} \quad (4.14)$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа производится в неподвижную атмосферу.

При ветре (рисунок 1б) пламя будет отклонено под углом α к оси трубы. Площадь у основания трубы, на которой интенсивность излучения будет выше допустимого предела, примет форму эллипса. Таким образом, расстояние от факельной трубы до границы опасной зоны L_2 увеличивается. Тангенс угла наклона факела относительно вертикальной оси определяется формулой:

$$\operatorname{tg}\alpha = u_{\text{В}}/u \quad (4.15)$$

где $u_{\text{В}}$ – скорость ветра, м/с; u – скорость выхода газа из факельной трубы, м/с.

$$L_2 = \sqrt{L^2 - (H + (L_1 - H) \cdot \cos \alpha)^2} + (L_1 - H) \cdot \sin \alpha, \text{ м/с} \quad (4.16)$$

Задача 4.1. Определить размеры факельной трубы для разгрузки предохранительных клапанов и безопасные расстояния. Характеристику выбросов и свойства сбросного газа принять по расчетным данным задачи 3.1, давление газа в сбросной трубе и температуру окружающего воздуха – по таблице 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные к задаче 4.1

| № | Температура окружающего воздуха, °С | Давление газа в сбросной трубе, кПа |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 15 | 98 |
| 2 | 22 | 80 |
| 3 | 27 | 87 |
| 4 | 30 | 99 |
| 5 | 23 | 88 |
| 6 | 18 | 97 |
| 7 | 24 | 86 |
| 8 | 15 | 90 |
| 9 | 10 | 92 |
| 10 | 26 | 95 |
| 11 | 38 | 99 |
| 12 | 20 | 96 |
| 13 | 28 | 85 |
| 14 | 37 | 88 |
| 15 | -10 | 99 |
| 16 | -22 | 90 |

Окончание таблицы 4.1

| № | Температура окружающего воздуха, °С | Давление газа в сбросной трубе, кПа |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 17 | -40 | 86 |
| 18 | -26 | 84 |
| 19 | -35 | 95 |
| 20 | 25 | 97 |
| 21 | -18 | 82 |
| 22 | 29 | 96 |
| 23 | -32 | 70 |
| 24 | 16 | 72 |
| 25 | -21 | 84 |
| 26 | 24 | 76 |
| 27 | -28 | 99 |
| 28 | 19 | 74 |
| 29 | -20 | 87 |
| 30 | 5 | 100 |

Приложение

Физико-химические свойства некоторых веществ

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁷ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|--------------------|----------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Азот | N ₂ | 28,01 | 820 | 63,15 | 77,35 | 165 | 104 | 4,428 | 52,7 | 230 | - | - |
| Азота (IV) диоксид | NO ₂ | 46,01 | 1447 | 261,9 | 294,3 | 111 | 433 | 8,9170 | 1798,5 | 270 | 230 | 320 |
| Азота (I) оксид | N ₂ O | 44,01 | 1226 | 182,3 | 184,7 | 131 | 271 | 7,0038 | 654,25 | 247 | 144 | 200 |
| Аммиак | NH ₃ | 17,03 | 610 | 195,4 | 239,9 | 93 | 503 | 5,007 | 1198 | 273 | - | - |
| Ацетальдегид | C ₂ H ₄ O ₂ | 44,05 | 778 | 150,2 | 293,6 | 80 | 431 | 7,0564 | 1070,6 | 236 | 210 | 320 |
| Ацетилен | C ₂ H ₂ | 26,04 | 400 | 192,4 | 239,6 | 94 | 198 | 7,571 | 925,59 | 283 | - | - |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁻⁷ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | Sat | A | B | C | min | max |
| Ацетон | C ₃ H ₆ O | 58,08 | 791 | 178,2 | 329,7 | 66 | 542 | 7,2506 | 1281,7 | 237 | 258 | 366 |
| Бензин «Галоша» | Смесь | 101 | 751 | — | 470,4 | 60,6 | 573 | 7,9245 | 2372 | 273 | - | - |
| Бензол | C ₆ H ₆ | 78,12 | 879 | 278,7 | 353,3 | 70,00 | 380 | 6,984 | 1252,8 | 225 | - | - |
| Бром | Br ₂ | 159,82 | 3102 | 265,9 | 331,1 | 146 | 533 | 9,82 | 2210 | 73 | - | - |
| Бутан | C ₄ H ₁₀ | 58,12 | 579 | 134,8 | 272,7 | 68 | 401 | 6,8089 | 935,85 | 239 | 195 | 290 |
| Бутанол | C ₄ H ₁₀ O | 74,12 | 824,6 | 183,2 | 390,7 | 51900 | 574 | 9,5973 | 2664,7 | 280 | 274 | 399 |
| Бутилен | C ₄ H ₈ | 56,08 | 594 | 132,8 | 266,2 | 75 | 391 | 6,8413 | 923,19 | 240 | 190 | 290 |
| Вода | H ₂ O | 18,01 | 1000 | 273,2 | 373,2 | 82 | 673 | 7,9608 | 1678 | 230 | - | - |
| Водород | H ₂ | 2,02 | 71 | 13,96 | 20,35 | 83 | 30 | 5,9208 | 71,614 | 270 | 14 | 25 |
| Гексадекан | C ₁₆ H ₃₄ | 226,45 | - | 291,4 | 559,9 | - | 823 | 6,7875 | 1656,4 | 137 | 378 | 560 |
| н-Гексан | C ₆ H ₁₄ | 86,18 | 660 | 177,8 | 341,9 | 59 | 436 | 6,870 | 1166,3 | 224 | 219 | 342 |
| Гексанол-1 | C ₆ H ₁₄ 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 | C ₁₇ H ₃₆ | 240,48 | 778 | 295 | 575,2 | 37 | 846 | 7,0142 | 1865,1 | 149 | 434 | 610 |
| Гептан | C ₇ H ₁₆ | 100,20 | 700,5 | 182,2 | 371,6 | 5260 | 546 | 6,9515 | 1295,4 | 220 | 213 | 371 |
| Гептанол-1 | C ₇ H ₁₆ O | 116,20 | 822 | 239,2 | 449,0 | 54 | 660 | 6,6476 | 1140,6 | 127 | 333 | 449 |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁻⁷ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Антуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Антуана | |
|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Декалин (транс) | C ₁₀ H ₁₈ | 138,25 | 870 | 242,8 | 460,4 | 57 | 677 | 6,8613 | 1568,1 | 207 | 363 | 470 |
| Декалин (цис) | C ₁₀ H ₁₈ | 138,25 | 897 | 230 | 468,9 | 57 | 689 | 6,8753 | 1594,5 | 203 | 368 | 495 |
| Декан | C ₁₀ H ₂₂ | 142,29 | 745,1 | 243,2 | 447,3 | 12700 | 657 | 7,3953 | 1810,0 | 228 | 290 | 447 |
| Деканол | C ₁₀ H ₂₂ O | 158,28 | 830 | 280,1 | 503,4 | 46 | 740 | 6,9224 | 1472,0 | 134 | 376 | 503 |
| 2,2-Диметилбутан | C ₆ H ₁₄ | 86,178 | 649 | 173,3 | 323,1 | 63 | 475 | 6,7548 | 1081,2 | 229 | 230 | 350 |
| 2,3-Диметилбутан | C ₆ H ₁₄ | 86,178 | 662 | 144,6 | 331,1 | 62 | 487 | 6,8098 | 1127,2 | 229 | 235 | 354 |
| 2,2-Диметилгексан | C ₈ H ₁₈ | 114,23 | 645 | 152 | 382,0 | 55 | 562 | 6,8371 | 1273,6 | 215 | 276 | 405 |
| 2,3-Диметилгексан | C ₈ H ₁₈ | 114,23 | 712 | - | 388,8 | 54 | 572 | 6,8700 | 1315,5 | 214 | 283 | 415 |
| 2,2-Диметилпентан | C ₇ H ₁₆ | 100,21 | 674 | 149,4 | 352,2 | 58 | 518 | 6,8147 | 1190 | 223 | 254 | 378 |
| 2,3-Диметилпентан | C ₇ H ₁₆ | 100,21 | 695 | - | 362,9 | 58 | 533 | 6,8537 | 1238 | 222 | 262 | 388 |
| Дифенил | C ₁₂ H ₁₀ | 154,22 | 1180 | 342,4 | 528,8 | 52 | 664 | 8,569 | 2565 | 273 | - | - |
| Дифенилметан | C ₁₃ H ₁₂ | 168,24 | 1006 | 300 | 537,5 | - | 790 | 6,2910 | 1260,5 | 105 | 473 | 563 |
| Дихлорметан | CH ₂ Cl ₂ | 84,94 | 1325 | 178,1 | 313 | 91 | 425 | 7,071 | 1134,6 | 231 | - | - |
| 1,2-Дихлорпропан | C ₃ H ₆ Cl ₂ | 112,99 | 1150 | 172,7 | 370,0 | 77 | 544 | 6,9654 | 1296,4 | 221 | 288 | 408 |
| 1,1-Дихлорэтан | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 98,97 | 1168 | 176,2 | 330,5 | 86 | 486 | 6,9852 | 1171,4 | 228 | 242 | 352 |
| 1,2-Дихлорэтан | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 98,97 | 1254 | 273,2 | 356,7 | 61 | 524 | 7,661 | 1640,2 | 260 | 252 | 356 |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁻⁷ , Па·с, | Константа Сагерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Диэтиламин | C ₄ H ₁₁ N | 73,14 | 707 | 223,4 | 328,6 | 66,2 | 484 | 7,2231 | 1267,5 | 236 | 240 | 332 |
| Диэтиленгликоль | C ₄ H ₁₀ O ₃ | 106,12 | 1116 | 265 | 519 | 60 | 632 | 8,1527 | 2727,3 | 273 | - | - |
| Додекан | C ₁₂ H ₂₆ | 170,34 | 763,3 | 263,6 | 489,4 | 22640 | 719 | 8,1708 | 2463,7 | 254 | 321 | 490 |
| Додеканол | C ₁₂ H ₂₆ O | 186,33 | 835 | 297,1 | 533,1 | 43 | 789 | 6,6289 | 1408 | 116 | 407 | 580 |
| Изопропиламин | C ₃ H ₉ N | 59,11 | 717 | 190 | 307,2 | 70 | 452 | 6,9468 | 1108,2 | 224 | 235 | 350 |
| Изопропилбензол | C ₉ H ₁₂ | 120,18 | 878,6 | 177,2 | 425,5 | 10750 | 625 | 6,9377 | 1461,0 | 208 | 276 | 926 |
| Иод | I ₂ | 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 ₂ | 31,99 | 1149 | 54,4 | 90,15 | 191 | 133 | 6,6913 | 319,01 | 267 | 63 | 100 |
| Кислота уксусная | C ₂ H ₄ O ₂ | 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 ₂ H ₃ O ₂ Cl | 94,50 | 1580 | - | 462,3 | 78,5 | 679 | 12,486 | 3160 | 273 | - | - |
| м- Крезол | C ₇ H ₈ O | 108,13 | 1034 | 285,4 | 475,9 | - | 700 | 7,5079 | 1856,3 | 199 | 370 | 480 |
| п-Крезол | C ₇ H ₈ O | 108,13 | 1019 | 307,9 | 475,6 | - | 699 | 7,0350 | 1511,1 | 162 | 370 | 480 |
| о-Крезол | C ₇ H ₈ O | 108,13 | 1028 | 304,1 | 464,0 | - | 682 | 6,9116 | 1435,5 | 165 | 370 | 480 |
| Криптон | Kr | 83,80 | 2420 | 115,8 | 119,8 | 232 | 176 | 6,6306 | 416,38 | 26 | 113 | 129 |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁻⁷ , Па·с, | Константа Сагерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Ксенон | Xe | 131,30 | 3060 | 161,3 | 165 | 211 | 243 | 6,6428 | 566,28 | 259 | 158 | 178 |
| м-Ксилол | C ₈ H ₁₀ | 106,17 | 881,1 | 225,2 | 412,3 | 8000 | 606 | 7,0085 | 1461,9 | 215 | 251 | 493 |
| п-Ксилол | C ₈ H ₁₀ | 106,17 | - | 286,5 | 411,5 | - | 604 | 6,9918 | 1454,3 | 215 | 286 | 493 |
| Метан | CH ₄ | 16,03 | 425 | 90,7 | 111,7 | 101 | 164 | 6,6118 | 389,92 | 266 | 93 | 120 |
| Метанол | CH ₄ O | 32,04 | 792 | 175,5 | 337,9 | 87 | 487 | 8,349 | 1835 | 273 | 263 | 363 |
| 2-Метилбутан | C ₅ H ₁₂ | 72,15 | 639,2 | 113,2 | 301 | 63,8 | 442 | 6,7931 | 1022,6 | 233 | 190 | 301 |
| 3-Метилгексан | C ₇ H ₁₆ | 100,21 | 687 | 100 | 365 | 56 | 537 | 6,8676 | 1240,2 | 219 | 265 | 390 |
| 2-Метилгептан | C ₈ H ₁₈ | 114,23 | 702 | 164 | 390,8 | 53 | 575 | 6,9173 | 1337,5 | 214 | 285 | 417 |
| 3-Метилпентан | C ₆ H ₁₄ | 86,178 | 664 | 155 | 336,4 | 60 | 495 | 6,8488 | 1152,4 | 227 | 240 | 365 |
| 2-Метилпропан | C ₄ H ₁₀ | 58,12 | 557 | 113,6 | 261,5 | 69 | 384 | 6,7480 | 882,79 | 240 | 187 | 280 |
| Нафталин | C ₁₀ H ₈ | 128,17 | - | 353,5 | 491,1 | - | 722 | 10,555 | 3123,3 | 244 | 273 | 353 |
| Нонан | C ₉ H ₂₀ | 128,25 | 733,2 | 219,2 | 423,9 | 9680 | 623 | 7,0528 | 1510,7 | 212 | 275 | 423 |
| Озон | O ₃ | 48,00 | 1356 | 80,5 | 161,3 | 140 | 237 | 6,8369 | 552,50 | 251 | 109 | 174 |
| Октадекан | C ₁₈ H ₃₆ | 254,50 | 781,6 | 301,3 | 589,5 | 36 | 867 | 7,0021 | 1894,3 | 143 | 445 | 625 |
| Октан | C ₈ H ₁₈ | 114,23 | 718,5 | 216,2 | 398,8 | 7140 | 586 | 6,9690 | 1379,6 | 212 | 259 | 339 |
| Октан | C ₈ H ₁₈ | 114,23 | 718,5 | 216,2 | 398,8 | 7140 | 586 | 6,9690 | 1379,6 | 212 | 259 | 339 |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁷ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Антуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Антуана | |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | Sat | A | B | C | min | max |
| Октанол-1 | C ₈ H ₁₈ O | 130,22 | 826 | 257,7 | 468,4 | 47,9 | 571 | 6,596 | 1170,1 | 20 | - | - |
| Октанол-2 | C ₈ H ₁₈ O | 130,22 | 821 | 241,2 | 452,9 | 48,9 | 664 | 6,434 | 1066 | 120 | - | - |
| Пентадекан | C ₁₅ H ₃₂ | 212,42 | 775,2 | 283,1 | 543,9 | 28410 | 799 | 6,9424 | 1739,1 | 158 | 365 | 543 |
| Пентан | C ₅ H ₁₂ | 72,15 | 645,5 | 143,2 | 309,2 | 2830 | 454 | 6,8472 | 1062,6 | 232 | 223 | 309 |
| Пентанол | C ₅ H ₁₂ O | 88,15 | - | 194,2 | 411 | - | 604 | 7,1825 | 1287,6 | 161 | 347 | 430 |
| Пентанол-2 | C ₅ H ₁₂ O | 88,15 | 814 | - | 401,2 | 58,4 | 589 | 8,4217 | 1931 | 230 | - | - |
| Пентанон-2 | C ₅ H ₁₀ O | 86,13 | - | 195,2 | 374,9 | - | 551 | 7,8642 | 1870,4 | 273 | 256 | 376 |
| Пиридин | C ₅ H ₅ N | 79,10 | 983 | 231,5 | 388,5 | 66,5 | 570 | 6,8827 | 1281,3 | 205 | 254 | 389 |
| Пропан | C ₃ H ₈ | 44,09 | 582 | 85,5 | 231,2 | 75 | 340 | 6,8296 | 813,19 | 248 | 164 | 249 |
| Пропанол | C ₃ H ₈ O | 60,09 | 805 | 146,9 | 370,4 | 68 | 518 | 9,518 | 2469,1 | 273 | 273 | 370 |
| Пропанол-2 | C ₃ H ₈ O | 60,09 | 786 | 183,7 | 355,7 | 70 | 460 | 10,449 | 2365,2 | 230 | 247 | 421 |
| Ртуть | Hg | 200,59 | 13546 | 234,3 | 629,1 | 273 | 103 | 7,85 | 3127 | 273 | - | - |
| Сероводород | H ₂ S | 34,08 | 960 | 136,5 | 263,0 | 116 | 331 | 8,50 | 1175,3 | 273 | - | - |
| Серовуглерод | CS ₂ | 76,14 | 1263 | 161,3 | 319,4 | 89 | 449 | 6,770 | 1074,2 | 230 | 258 | 353 |
| Серы (IV) оксид | SO ₂ | 64,06 | 1383 | 197,7 | 263 | 117 | 396 | 4,898 | 1227 | 273 | - | - |
| Серы (VI) оксид | SO ₃ | 80,06 | 1940 | 280 | 324,3 | 80,3 | 476 | 9,89 | 2230 | 273 | - | - |

Продолжение приложения

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У.10 ⁻⁷ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Тиофен | C ₄ H ₄ S | 84,14 | 107 | 234,9 | 357,3 | 78 | 525 | 6,9592 | 1246 | 221 | 260 | 380 |
| Толуол | C ₇ H ₈ | 92,14 | 866 | 178 | 383,8 | 76,5 | 518 | 6,9530 | 1343,9 | 219 | 303 | 573 |
| Тридекан | C ₁₃ H ₂₈ | 184,36 | 770,4 | 267,8 | 508,6 | 29620 | 748 | 7,9690 | 2468,9 | 250 | 332 | 509 |
| Уайт-спирит | - | 147,3 | 770 | - | 413,2 | 47,9 | 622 | 8,0113 | 2218,3 | 273 | - | - |
| Углерод четырёххлористый | CCl ₄ | 153,84 | 1587 | 250,3 | 349,7 | 90 | 335 | 6,934 | 1242,4 | 230 | - | - |
| Углерода диоксид | CO ₂ | 44,01 | 770 | 216,6 | 194,9 | 137 | 254 | 9,9082 | 1367,3 | 273 | - | - |
| Углерода оксид | CO | 28,01 | 310 | 68,15 | 81,55 | 166 | 101 | 3,98 | 3241 | 273 | - | - |
| Ундекан | C ₁₁ H ₂₄ | 156,31 | - | 247,2 | 469,2 | 17420 | 690 | 7,6801 | 2103 | 243 | 304 | 470 |
| Фенол | C ₆ H ₆ O | 94,11 | 1075 | - | 455 | 61,4 | 554 | 11,563 | 3586,3 | 273 | - | - |
| Хлорпентафторэтан | C ₂ ClF ₅ | 154,47 | 163 | 167 | 234 | 117 | 344 | 6,8332 | 802,96 | 242 | 175 | 230 |
| Циклобутан | C ₄ H ₈ | 56,11 | 694 | 182,4 | 285,8 | 75 | 420 | 6,9162 | 1024,5 | 241 | 200 | 290 |
| Циклогексан | C ₆ H ₁₂ | 84,16 | 779 | 279,7 | 353,9 | 65,3 | 520 | 6,8450 | 1203,5 | 223 | 228 | 354 |
| Циклопентан | C ₅ H ₁₀ | 70,13 | 745 | 179,3 | 322,4 | 67 | 474 | 6,8867 | 1124,2 | 231 | 230 | 345 |
| Циклопропан | C ₃ H ₆ | 42,08 | 563 | 145,7 | 240,4 | 82 | 353 | 6,8878 | 856 | 246 | 180 | 245 |
| н-Эйкозан | C ₂₀ H ₄₂ | 282,56 | 786,2 | 310 | 617 | 35 | 907 | 7,1521 | 2032,7 | 132 | 471 | 652 |
| Этан | C ₂ H ₆ | 30,07 | 546 | - | - | 86 | 252 | 7,673 | 1096,9 | 320 | - | - |

| Вещество | Формула | Молекулярная масса, кг/кмоль | Плотность жидкости при Н.У., кг/м ³ | Температура плавления, К | Температура кипения, К | Динамическая вязкость при Н.У. ¹⁰ , Па·с, | Константа Сатерленда | Константы Ангуана для определения парциального давления | | | Интервал температур для констант Ангуана | |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|-----|------------------------------------------------|-----|
| | | | | | | | | Sat | A | B | C | min |
| Этанол | C ₂ H ₆ O | 46,07 | 789 | 159,1 | 351,6 | 78,5 | 407 | 9,274 | 2239 | 273 | - | - |
| Эантиол | C ₂ H ₆ S | 62,13 | 839 | 125,3 | 309,2 | - | - | 6,9520 | 1084,5 | 231 | 224 | 330 |
| Этиламин | C ₂ H ₇ N | 45,09 | 683 | 192 | 289,8 | 74 | 426 | 7,3861 | 1137,3 | 236 | 215 | 316 |
| Этилбензол | C ₈ H ₁₀ | 106,17 | 884,5 | 178,2 | 409,3 | 8730 | 602 | 6,9590 | 1425,5 | 213 | 253 | 493 |

Рекомендуемый библиографический список

1. *Говорушко С.М.* Экологические последствия добычи, транспортировки и переработки ископаемого топлива: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 208 с.
2. *Никифоров Л.Л.* Экология: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
3. *Пиковский Ю.И.* Основы нефтегазовой геоэкологии: учебное пособие / Ю.И. Пиковский, Н.М. Исмаилов, М.Ф. Дорохова. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. 400 с.
4. *Безбородов Ю.Н.* Промышленная безопасность объектов нефтепродуктообеспечения: учебное пособие / Ю.Н. Безбородов, Л.Н. Горбунова, В.А. Баранов, В.Н. Подвезенный. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 606 с.

Содержание

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение..... | 3 |
| Задание 1. Определение основных свойств наружной и внутренней среды..... | 4 |
| Задание 2. Расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников..... | 16 |
| Задание 3. Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом» и «малом дыхании» аппарата..... | 24 |
| Задание 4. Расчет элементов факельной системы | 33 |
| Приложение | 37 |
| Рекомендуемый библиографический список..... | 44 |

ЭКОЛОГИЯ

***Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 21.03.01***

Сост.: *А.В. Иванов, А.В. Стриженок*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
геоэкологии

Ответственный за выпуск *А.В. Иванов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 19.03.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,6. Усл.кр.-отг. 2,6. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 75 экз. Заказ 239. С 52.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2