

АВТНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(АНО ВО «КИТ Университет»)

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор АНО ВО «КИТ Университет»

\_\_\_\_\_ д.т.н., профессор В.А. Никулин

\_\_\_\_\_ 2022 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**для выполнения лабораторных работ**

Направление подготовки: 20.04.01 «Техносферная безопасность»

Профиль подготовки: «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Степень выпускника: магистр

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Ижевск 2022

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа No1

«Свойства, состав и строение атмосферы»

Лабораторная работа No2

«Расчет выбросов газообразных веществ при аварийных ситуациях»

Лабораторная работа No3

«Содержание атомарного кислорода в атмосфере и опасность фреонов для озонового слоя земли»

Лабораторная работа No4

«Поступление оксидов азота и серы с выбросами тепловых электростанций, работающих на угле»

Лабораторная работа No5

«Расчет времени полувыведения оксидов азота»

Лабораторная работа No6

«Расчет скорости выведения из атмосферы углеводородов по радикальному механизму»

Лабораторная работа No7

«Изучение состава природных вод»

Лабораторная работа No8

«Кислотно-основное равновесие в природных водоемах»

Лабораторная работа No9

«Расчет загрязнения почвы при ее удобрении»

## ПРАКТИЧЕСКИЕ (СЕМИНАРСКИЕ) ЗАНЯТИЯ

Методические указания и рекомендации к практическим (семинарским) занятиям

Планы практических (семинарских) занятий

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное издание позволяет дополнить методическое обеспечение практических и лабораторных занятий, самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физико-химические процессы в техносфере».

Дисциплина входит в вариативную часть ОП магистратуры направления 20.04.01 Техносферная безопасность.

В ходе освоения дисциплины формируются универсальные компетенции, направленные на реализацию системного и критического мышления, а также общепрофессиональные компетенции, обеспечивающие безопасность человека и сохранение окружающей среды, основываясь на принципах культуры безопасности и концепции риск-ориентированного мышления.

Целью освоения является формирование представлений об основных физико-химических процессах, происходящих в биосфере и техносфере.

Задачами освоения являются:

приобретение знаний об основных физико-химических процессах, происходящих в биосфере и техносфере;

приобретение знаний о законах миграции химических элементов, глобальных биогеохимических циклах; приобретение знаний по проблемам химического загрязнения биосферы;

обучение химическому контролю объектов окружающей природной среды.

В пособии изложены краткие теоретические сведения, дополняющие лекционный материал, также приведены тексты практических работ с примерами и задачами для самостоятельного решения; приведены планы практических (семинарских) занятий;

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторный практикум предусмотрен учебным планом направления подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность». Лабораторные занятия предполагают проведение занятий в форме ознакомления с теоретическим материалом по обозначенной теме, разбором примеров решения практических задач и набором задач для самостоятельного решения.

Лабораторный практикум содержит девять лабораторных работ согласно учебному графику.

### **Лабораторная работа №1**

#### СВОЙСТВА, СОСТАВ И СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Цель работы:

научиться осуществлять перевод температурных шкал, рассчитывать температуру, давление и состав атмосферы, рассчитывать перепад давления с высотой атмосферы и тепловой баланс системы "поверхность Земли–атмосфера".

Общие положения:

Техногенное воздействие на природную среду приводит к существенному изменению состояния атмосферного воздуха, хотя атмосфера, по сравнению с другими оболочками Земли, отличается высокой подвижностью и изменчивостью физико-химических процессов. Состояние атмосферы определяет тепловой режим поверхности Земли, ее озоновый слой защищает живые организмы от жесткого ультрафиолетового излучения. Распределение тепла и влаги в атмосфере обеспечивает существование природных зон на Земле, определяющих состояние почвенно-растительного покрова и формирование рельефа.

Физико-химические превращения компонентов атмосферы оказывают существенное влияние на все стороны человеческой деятельности, на биоту и материальные ценности, созданные человеком в ходе техногенеза.

### 1.1. Состав и строение атмосферы

Атмосферой называется газовая оболочка Земли, вращающаяся вместе с нею. Общая масса земной атмосферы составляет примерно  $5,15 \cdot 10^{15}$  т. Более 99 % массы атмосферы сосредоточено в нижнем слое толщиной 40 км (50 % в слое толщиной 5,5 км).

Атмосфера имеет сложное строение. Она состоит из ряда оболочек (слоев), которые различаются в зависимости от высоты расположения, прежде всего, температурой, давлением и степенью ионизации молекул: это тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера (ионосфера), экзосфера (межпланетное пространство). В приземном слое по объему воздух состоит в основном из азота (78 %), кислорода (21%), аргона (0,9%). На долю углекислого газа приходится 0,038 %, а на долю воды – 0,5-4 %.

#### Пример 1.1.1.

Определить среднее время пребывания паров воды в атмосфере. Если по оценкам специалистов в атмосфере находится  $12900 \text{ км}^3$  воды, а на поверхность суши и океанов выпадает в виде атмосферных осадков в среднем  $577 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$  воды в год.

Решение

Среднее время пребывания компонентов в атмосфере в условиях динамического равновесия можно определить из уравнения:

$$\tau = A/Q, \quad (1.1)$$

где  $\tau$  – время пребывания вещества в атмосфере, в единицах времени;

$A$  – количество вещества в атмосфере, в единицах массы;

$Q$  – скорость поступления или вывода вещества из атмосферы, в единицах массы на единицу времени.

Имеющиеся данные подставляем в уравнение:

$$\tau = 12900 \cdot 10^9 / (577 \cdot 10^{12}) = 2,23 \cdot 10^{-2} \text{ года} = 8,2 \text{ дня}$$

$10^9$  – коэффициент перевода  $\text{км}^3$  в  $\text{м}^3$ .

Ответ: среднее время пребывания воды в атмосфере составляет 8,2 дня.

## 1.2. Свойства атмосферы

Свойства атмосферы, как и любого газового тела, определяются значениями трех параметров: давления ( $P$ ), объема ( $V$ ) и температуры ( $T$ ).

Эти параметры закономерно взаимосвязаны друг с другом так, что изменение одного из них приводит к изменению других. Эту связь можно записать в виде функции:

$$F(P, V, T) = 0 \quad (1.4)$$

Опыты показывают, что реальные газы при не слишком низких температурах и достаточно малых давлениях по своим свойствам близки к идеальным газам. Идеальным называется газ, между молекулами которого отсутствуют силы взаимного притяжения. Принимается, что молекулы такого газа при соударении ведут себя как абсолютно идеальные шарики исчезающе малых размеров. Эти условия являются критериями идеального газа.

Например, водород, и в особенности гелий, уже при атмосферном давлении и комнатной температуре ведут себя как идеальные газы.

Рассмотрим основные параметры состояния газа.

Объем ( $V$ ). Объем газа ( $m^3$ ) всегда совпадает с объемом сосуда, в котором он находится.

Температура. Температура характеризует степень нагретости тела. В разделе физики обычно пользуются абсолютной термодинамической температурной шкалой, в которой температура измеряется в Кельвинах ( $K$ ) и обозначается  $T$ . Связь между абсолютной температурой  $T$  и температурой  $t$  по стоградусной шкале (шкале Цельсия  $-0C$ ) имеет вид:

$$T = t + 273,15 \quad (1.5)$$

$$t = T - 273,15 \quad (1.6)$$

200 лет назад было замечено, что при охлаждении газа (определенного количества) его объем уменьшается. Предположили, что при дальнейшем охлаждении объем будет уменьшаться и станет равным нулю при  $-273 \text{ }^0C$  (точнее при  $-273,15 \text{ }^0C$ ). Эта минимальная температура была принята за абсолютный нуль. Британский физик Кельвин предложил шкалу температур, ведущую отсчет от абсолютного нуля (шкала Кельвина). То есть за абсолютный нуль принят  $^0 K$ , а тройная точка воды (температура, при которой жидкая вода, лед и пар находятся в равновесии) принята равной  $273,15 K$ .

Тогда

точка кипения воды при давлении 1 атм  $373,15 K$ ,

точка замерзания  $273,15 K$ .

Таким образом, температура по Кельвину выше, чем по Цельсию, на  $273,15$ .

В США широко пользуются шкалой Фаренгейта ( $^0F$ ). Один градус по Фаренгейту равен  $5/9$  ( $0,55$ ) градуса по Цельсию. Перевод  $^0C$  в  $^0F$  можно осуществлять по формуле:

$$t^0C / 100 = ( t^0F - 32 ) / 180 \quad (1.7)$$

Некоторые сравнительные температуры для воды по Фаренгейту, Цельсию и Кельвину представлены ниже:

Точка кипения 212 °F 100 °C 373 К  
Точка замерзания 32 °F 0 °C 273 К  
Абсолютный нуль -459 °F -273 °C 0 К

Пример 1.2.1.

Температуру в аудитории поддерживают равной 68 °F. Выразить ее в °C и К.

Решение

Температуру по Фаренгейту необходимо привести к 0 по Цельсию:  
 $68 - 32 = 36$  °F.

Температуру 36 °F, полученную при пересчете к 0 по Цельсию, переводим в шкалу Цельсия. Так как 1 °F составляет 5/9 по Цельсию, то:  
 $36 * 5/9 = 20$  °C.

Расчет можно осуществить и по формуле (1.7), подставив в нее значение температуры по Фаренгейту:

$$t^{\circ\text{C}} / 100 = (68 - 32) / 180.$$

Решив это уравнение, также получаем  $t^{\circ\text{C}} = 20$  °C.

Температуру по Кельвину рассчитываем по формуле (1.2):

$$T = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ К.}$$

Ответ:

температура в классе поддерживается по Цельсию 20 °C,  
по Кельвину -293,15 К.

1.3. Солнечная радиация. Тепловой баланс атмосферы и подстилающей поверхности

Источником почти всей энергии на Земле служит Солнце.

Солнечная постоянная – полный поток радиации, поступающей за 1 мин на 1 см<sup>2</sup> площади, перпендикулярной к направлению солнечных лучей, за пределами атмосферы. Она равна 8,2 Дж/(см<sup>2</sup>\*мин) или приблизительно 1370 Вт/м<sup>2</sup>.

При поглощении солнечной радиации подстилающая поверхность (суша, поверхность океанов) нагревается и, как всякое нагретое тело, в свою очередь излучает в инфракрасном диапазоне. Интенсивность (I) уходящего излучения определяется законом Стефана –Больцмана для абсолютно черного тела:

$$I = \sigma * T^4 \quad (1.11)$$

где  $\sigma$  – универсальная постоянная Стефана, равна  $5,67 * 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К<sup>4</sup>)

### Пример 1.3.1.

Какой была бы средняя глобальная температура Земли в случае, если бы единственным источником тепла являлось излучение Солнца, при отсутствии «парниковых» газов в атмосфере?

Решение

В условиях постоянства средней глобальной температуры должен соблюдаться баланс между потоками энергии – поступающими от Солнца и излучаемыми Землей в космическое пространство:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{расх}}, \quad (1.12)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – количество энергии поступающее от Солнца (приход);

$Q_{\text{расх}}$  – количество энергии, излучаемое Землей (расход).

Количество энергии, поступающее на планету, можно определить по уравнению:

$$Q_{\text{пр}} = I * S_{\text{пр}} (1 - A), \quad (1.13)$$

где  $I$  – интенсивность Солнечного излучения, поступающего на Землю, солнечная постоянная ( $1370 \text{ Вт/м}^2$ );

$S_{\text{пр}}$  – площадь проекции поверхности Земли, обращенной к Солнцу:

$$S_{\text{пр}} = \pi * R_3^2; \quad (1.14)$$

$R_3$  – средний радиус Земли ( $6367 \text{ км}$ );

$A$  – альбедо Земли – коэффициент, характеризующий долю излучения, отраженного поверхностью Земли ( $0,33$ ).

Количество энергии, излучаемое планетой, по закону Стефана-Больцмана составит:

$$Q_{\text{расх}} = S_3 * \sigma * T^4, \quad (1.15)$$

где  $S_3$  – площадь поверхности Земли ( $S_3 = 4\pi * R_3^2$ );

$\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 * 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 * \text{К}^4)$ );

$T$  – средняя глобальная температура, К.

Подставим выражения для значений входящей и излучаемой энергии в уравнение радиационного баланса:

$$I * \pi * R_3^2 (1 - A) = 4\pi * R_3^2 * \sigma * T^4. \quad (1.16)$$

Выразим значение температуры Земли:

$$T = [I * (1 - A) / 4\sigma]^{1/4}. \quad (1.17)$$

В результате решения этого уравнения получаем:

$$T = [1370 * (1 - 0,33) / (4 * 5,67 * 10^{-8})]^{1/4} = 252 \text{ (К)}$$

Ответ:

если солнечное излучение принять за единственный источник поступления энергии, то в случае отсутствия «парниковых» газов в атмосфере средняя глобальная температура на Земле составляла бы  $252 \text{ К}$  или  $-21 \text{ }^\circ\text{С}$ .

## Лабораторная работа №2.

### РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.

Цель работы:

Научиться рассчитывать превышение ПДК газообразных веществ при аварийных ситуациях на предприятиях.

Общие положения:

При аварийных (нештатных) ситуациях в атмосферу могут поступать газообразные вещества, значительно превышающие ПДК и способные вызвать острые отравления. Пользуясь физическими законами атмосферы, можно рассчитывать возможные штатные ситуации.

Пример 2.1.

На складе произошла авария (разбилась бутылка) и установилось динамическое равновесие между парами и жидкой уксусной кислотой? Парциальное давление паров уксусной кислоты принять равным 3 Па. Атмосферное давление равно 101,3 кПа, температура 25 °С.

Определить во сколько раз будет превышение значения максимально разовой ПДК для уксусной кислоты, равное 0,2 мг/м<sup>3</sup>.

Решение:

Для решения задачи найденную концентрацию уксусной кислоты в воздухе и ПДК м.р. необходимо выразить в одних и тех же единицах измерения и определить их отношение. Определим концентрацию уксусной кислоты в воздухе, сделав допущение о том, что пары уксусной кислоты являются идеальным газом. Поскольку известно, что уравнение состояния идеального газа применительно к смеси так же, как и к индивидуальным газам, то можно записать:

$$C = n / V = p / RT, \quad (2.1)$$

где

C—концентрация паров уксусной кислоты, моль/л;

n—количество молей уксусной кислоты в объеме V;

p—парциальное давление паров уксусной кислоты, кПа;

R—универсальная газовая постоянная, R = 8,31 Дж / моль\*К ;

T—температура воздуха, К.

$$C = 3 \cdot 10^{-3} / 8,31 \cdot 298 = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ (моль/л)}$$

Выразим полученное значение концентрации в мг/м<sup>3</sup>(C'):

$$C' \text{ (мг/м}^3\text{)} = C \text{ (моль/л)} \cdot M \cdot 10^3 \cdot 10^3,$$

где: M —молярная масса, г/моль (для уксусной кислоты M = 60 г/моль);

10<sup>3</sup>—коэффициент перевода литров в кубические метры:

$$C' = 1,21 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 10^6 = 72,6 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Определим отношение концентрации уксусной кислоты в воздухе и ПДК<sub>м.р.</sub>:

$$\alpha = C' / \text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 72,6 / 0,2 = 363.$$

Ответ: концентрация паров уксусной кислоты превысит ПДК м.р. в 363 раз.



## РАСЧЕТ ЧИСЛА МОЛЕКУЛ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Как известно, в ходе технологических операций могут возникнуть ситуации, приводящие к поступлению в рабочее помещение токсичных веществ (разрывы оборудования, образование течи, ошибки операторов и т.д.), когда существенно превышает ПДКм.р.

Подобные ситуации можно просчитать, используя алгоритм, приведенный в примере.

Пример 2.2.

На предприятии произошла утечка из технологического оборудования формальдегида и его концентрация достигла значения ПДКм.р., равного  $0,035 \text{ мг/м}^3$ . Определить сколько молекул формальдегида присутствует в каждом кубическом сантиметре воздуха при нормальных условиях.

Решение

Определим число молей формальдегида в кубическом метре воздуха:

$$C = C' / (M \cdot 10^3), \quad (2.2)$$

где  $C$  и  $C'$  – концентрации формальдегида в воздухе, выраженная в моль/ $\text{м}^3$  и  $\text{мг/м}^3$  соответственно;

$M$  – молярная масса формальдегида ( $30 \text{ г/моль}$ );

$10^3$  – коэффициент перевода граммов в миллиграммы.

Число молей формальдегида в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при концентрации, равной ПДКм.р. составит:

$$C = 0,03530 \cdot 10^3 = 1,17 \cdot 10^{-6} (\text{моль/м}^3)$$

Число молекул формальдегида в кубическом сантиметре воздуха

–  $N$  ( $\text{см}^{-3}$ ) – можно определить по уравнению:

$$N = C \cdot 10^{-6} \cdot N_A, \quad (2.3)$$

где:

$C$  – концентрация формальдегида в воздухе, моль/ $\text{м}^3$ ;

$N_A$  – число Авогадро, моль $^{-1}$ ;

$10^{-6}$  – коэффициент перевода  $\text{м}^3$  в  $\text{см}^3$ .

$$N = 1,17 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 7,0 \cdot 10^{11} (\text{см}^{-3})$$

В размерности  $N$  ( $\text{мол/см}^3$ ) слово "молекула" ("мол") обычно опускается, и размерность записывается как  $\text{см}^{-3}$ .

Ответ:

при концентрации формальдегида, равной ПДКм.р., в каждом кубическом сантиметре воздуха присутствует  $7,0 \cdot 10^{11}$  молекул формальдегида.