

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«КЕМЕРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

Практикум

Кемерово 2018

УДК 544.03:614.84

ББК 38.96

Ф 50

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Кемеровского государственного университета*

*Рецензенты:*

кафедра «Химия, технология неорганических веществ и наноматериалов»  
Института химических и нефтегазовых технологий Кузбасского государственного  
технического университета имени Т. Ф. Горбачева;  
кандидат химических наук, доцент **Ю. В. Соловьева**

Ф 50 Физико-химические основы развития и тушения пожаров: практикум / Ю. В. Тарасова, О. В. Салищева, И. В. Васильева, М. А. Захаренко, Е. В. Назимова; Кемеровский государственный университет. – Кемерово, 2018. – 107 с.  
ISBN 978-5-8353-2334-0

Практикум разработан по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» в соответствии с ФГОС ВО.

Практикум содержит теоретические и практические задания, которые помогут студентам сформировать систему знаний по физико-химическим основам развития и тушения пожаров, необходимых в будущей профессиональной деятельности.

Предназначается студентам очной и заочной форм обучения, обучающимся по специальности 25.05.01 Пожарная безопасность.

УДК 544.03:614.84

ББК 38.96

ISBN 978-5-8353-2334-0

© Тарасова Ю. В., Салищева О. В.,  
Васильева И. В., Захаренко М. А., На-  
зимова Е. В., 2018

© Кемеровский государственный  
университет, 2018

## **АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ**

О. В. Салищева – кандидат химических наук, доцент кафедры «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (общая редакция, лабораторный практикум – работы №№1, 2, 3, 5);

Ю. В. Тарасова – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (предисловие, введение, глава 2, приложение);

И. В. Васильева – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (лабораторный практикум – работа № 4 совместно с Е. В. Назимовой, М. А. Захаренко);

М. А. Захаренко – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (лабораторный практикум – работа № 4 совместно с Е. В. Назимовой, И. В. Васильевой);

Е. В. Назимова – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Общая и неорганическая химия» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (лабораторный практикум – работа № 4 совместно с М. А. Захаренко, И. В. Васильевой).

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
РАЗДЕЛ 1. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ .....	8
Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СИЛЬНОЙ КИСЛОТЫ СИЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ.....	8
Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ РАСТВОРЕНИЯ СОЛИ .....	19
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА .....	21
Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	30
Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕНООБРАЗНЫХ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	41
Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ПО ТЕМПЕРАТУРАМ КИПЕНИЯ .....	53
РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	66
Расчетное задание № 1 СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ .....	66
Расчетное задание № 2 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ.....	75
Расчетное задание № 3 ОСНОВЫ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА.....	78
Расчетное задание № 4 РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ. ГОРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ. ПЛАМЯ И ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЕ .....	83
ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ .....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	99

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» написано в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом высшего образования по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность.

Основная цель практикума – формирование у студентов практических навыков по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожаров». Изучение дисциплины направлено на достижение следующих результатов: научить студента пользоваться нормативными методиками, проводить расчеты по оценке параметров процессов горения и анализировать потенциальную пожароопасность различных горючих веществ, планировать и проводить эксперимент и анализировать полученные данные.

Практикум состоит из двух частей. Первая часть представлена лабораторным практикумом. В описании каждой лабораторной работы приведены: цель работы, теоретический материал, порядок проведения работы, обработка экспериментальных данных, требования к оформлению отчета и вопросы для подготовки и защиты работы.

Во второй части практикума приведены расчетные задания, предназначенные для самостоятельной работы студентов по основным разделам курса.

В приложении приведен справочный материал, использование которого способствует закреплению полученных теоретических знаний по разделам курса.

В результате освоения материалов данного практикума обучающийся должен:

### **Знать**

- параметры, определяющие динамику пожаров;
- механизм формирования опасных факторов пожаров;
- физико-химические основы прекращения горения на пожарах;

- способы применения и механизм действия огнетушащих составов.

### **Уметь**

- расчетными методами определять основные показатели пожарной опасности веществ и материалов;
- анализировать состояние горючей системы с учетом внешних условий;
- рассчитывать объем и состав продуктов горения;
- проводить лабораторные исследования, обрабатывать их результаты.

Практикум предназначен для проведения лабораторных и практических занятий обучающихся по специальности «Пожарная безопасность».

## ВВЕДЕНИЕ

Реакции горения активно используются людьми в различных аспектах их жизнедеятельности. Благодаря этим реакциям человечество получает большую часть тепловой, электрической и механической энергии, необходимой для жизнедеятельности. Окружающая человека природная, бытовая и производственная среда содержат большое количество горючих материалов, способных воспламеняться от источников открытого огня, высокой температуры, а некоторые из них могут и самовозгораться в результате процессов низкотемпературного окисления кислородом воздуха. Воспламенение некоторых составов может закончиться пожаром, взрывом и огромными разрушениями.

Для успешного предотвращения и ликвидации последствий таких аварийных ситуаций необходимо детальное изучение физико-химических основ развития и тушения пожаров. Поэтому специалисту по пожарной безопасности необходимо владеть как теоретическими основами физико-химических процессов развития и тушения пожаров, так и методами расчетов основных параметров пожара, таких как:

- стехиометрические расчеты расхода воздуха на горение и расчеты объема продуктов сгорания;
- расчет теплоты и температуры горения на основании термодинамических данных;
- определение температуры самовоспламенения, определение йодного числа и т. д.

Практические и лабораторные работы, включенные в пособие, призваны сформировать у студента представление о законах и зависимостях процессов горения и пожаротушения и будут необходимы в их дальнейшей профессиональной деятельности.

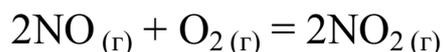
# РАЗДЕЛ 1. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СИЛЬНОЙ КИСЛОТЫ СИЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ

#### Вопросы и задания для подготовки к работе

1. Что такое интегральная и дифференциальная теплота растворения?
2. Почему процессы растворения веществ могут протекать не только с экзотермическим, но и с эндотермическим эффектом?
3. Для чего необходимо проводить калибровку калориметрической установки?
4. Какие причины обуславливают погрешность измерения в данной работе?
5. Вычислите изменение температуры калориметрической системы при растворении 2 г нитрата аммония в 100 см<sup>3</sup> воды. Константа калориметрической установки 0,52 кДж/град.
6. Рассчитайте, какое количество тепла выделится при протекании реакции:



при стандартных условиях. Определите, какое количество вещества NO следует взять, чтобы тепловой эффект данного процесса составил  $-14,3$  кДж.

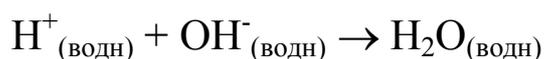
7. Какие из перечисленных веществ в контакте с водой можно использовать в качестве «грелки», а какие в качестве охлаждающей смеси: Na, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, LiCl?

**Цель работы:** Определение теплоты нейтрализации сильной кислоты сильным основанием.

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Термохимия* – раздел физической химии, изучающий тепловые эффекты химических реакций и физико-химических процессов [2].

*Теплотой нейтрализации* называется количество тепла, которое выделяется при взаимодействии 1 моль кислоты с 1 моль основания. Установлено, что реакция нейтрализации 1 моль сильной одноосновной кислоты (HCl, HNO<sub>3</sub> и т. п.) сильным основанием (KOH, NaOH и т. п.) в достаточно разбавленных водных растворах сопровождается одинаковым экзотермическим эффектом, который при 298 К равен минус 55,81 кДж/моль. Этот тепловой эффект отвечает реакции образования жидкой воды из ионов водорода и гидроксид-иона:



Чтобы правильно определить тепловой эффект реакции нейтрализации, следует учесть, что при вливании раствора сильной кислоты в раствор щелочи в калориметре кроме основного процесса, сопровождающегося тепловым эффектом  $\Delta H_{\text{нейтр.}}$ , протекает процесс разбавления кислоты водным раствором щелочи с тепловым эффектом  $\Delta H_1$  и процесс разбавления щелочи водным раствором кислоты с тепловым эффектом  $\Delta H_2$ .

Таким образом, измеренная опытным путем теплота процесса:

$$\Delta H_{\text{измер.}} = \Delta H_{\text{нейтр.}} + \Delta H_1 + \Delta H_2. \quad (1)$$

**Приборы и реактивы:** модуль «Термостат»; контроллер; термодатчик; пробирка для размещения навески соли; мерный цилиндр на 100 см<sup>3</sup>; стакан на 150 см<sup>3</sup>; мерная пипетка на 5 см<sup>3</sup>; хлорид калия; раствор щелочи (KOH, NaOH)  $c = 0,1$  моль/дм<sup>3</sup>, раствор сильной кислоты (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  $c = 1,8$  моль/дм<sup>3</sup>, дистиллированная вода.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### *Калориметрические измерения*

Для экспериментального определения тепловых эффектов процессов применяются *калориметрические установки*.

Конструкция калориметрической установки зависит от особенностей изучаемого процесса. Калориметрическая установка (рис. 1), используемая в данной работе, представляет собой калориметрический стакан *1* с крышкой *2*, в которой закреплен датчик температуры (термометр) *3* и пробирка с исследуемым веществом *4*. Для уменьшения теплообмена с окружающей средой стакан помещен в термостат *5*. Для установления режима перемешивания и измерения температуры термостат подключен к контроллеру *6*. Исследуемые вещества вносят в калориметрический стакан и о тепловом эффекте при их превращениях судят по изменению температуры в калориметрическом стакане.

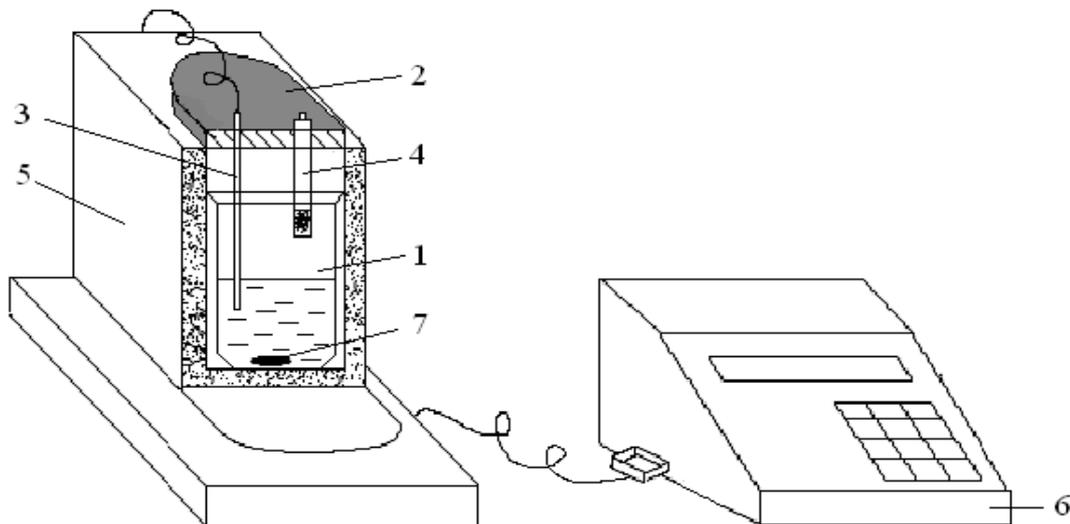


Рис. 1. Схема калориметрической установки:

- 1 – калориметрический стакан; 2 – крышка; 3 – термодатчик;
- 4 – пробирка с веществом; 5 – модуль «Термостат»;
- 6 – контроллер; 7 – мешалка

Изменение температуры  $\Delta T$  зависит не только от теплового эффекта процесса  $Q$ , протекающего в калориметре, но и от теплоемкости калориметрической системы ( $C_K$ ):  $Q = C_K \cdot \Delta T$ . Поскольку процесс в калориметре протекает при постоянном давлении, тепловой эффект изучаемого процесса равен изменению энтальпии системы:  $Q_P = \Delta H$ . Величина теплового эффекта реакции в пересчете на 1 моль реагирующего вещества определяется из соотношений:

$$Q_P = C_K \cdot \Delta T = n \cdot \Delta H,$$

откуда

$$\Delta H = \frac{C_K \cdot \Delta T}{n}.$$

*Теплоемкостью*  $C_K$  калориметрической установки называют количество теплоты, необходимое для нагревания ее на один градус.

Теплоемкость калориметрической установки складывается из теплоемкостей жидкости и соприкасающихся с ней частей калориметра, участвующих в теплообмене: стакана, термометра, мешалки. Теплоемкости некоторых материалов, применяемых в калориметрических установках, приведены в приложении. Обычно значение  $C_K$  находят экспериментально, измеряя  $\Delta T$  какого-либо стандартного процесса, тепловой эффект которого заранее известен, как правило измеряют тепловой эффект растворения хлорида калия в воде.

### *Общие принципы калориметрических измерений*

#### 1. Определение постоянной калориметрической установки

Перед началом эксперимента необходимо позаботиться о том, чтобы все составные части калориметрической установки и используемые реактивы имели одинаковую температуру.

На аналитических весах берут точную навеску сухой, тщательно измельченной соли KCl массой 1 г. Собирают калориметрическую установку, в калориметрический стакан с помощью мерного цилиндра вливают 100 см<sup>3</sup> дистиллиро-

ванной воды комнатной температуры, калориметр закрывают крышкой с укрепленным в ней датчиком температуры. В отверстие крышки вставляют специальную пробирку с ранее взятой навеской КСІ. Подключают установку согласно приведенному в экспериментальной части описанию «ПОРЯДОК РАБОТЫ С КОНТРОЛЛЕРОМ». Добиваются установления равномерного изменения температуры в калориметре не более 0,040 град/мин. С этого момента производят 10 измерений температуры каждые 30 секунд с точностью до 0,01 град. На тридцатой секунде десятого отсчета всыпают в калориметрический стакан взятую ранее навеску КСІ. Продолжают фиксировать показания температуры через те же промежутки времени, производя еще 10 отсчетов.

## 2. Оформление результатов эксперимента и обработка экспериментальных данных

Экспериментальные данные представляют в виде таб. 1.

*Таблица 1*

### Экспериментальные данные

Время от начала опыта, мин	Показания термодатчика, °С
0	...
0,5	....
...	...

Подобную таблицу необходимо заполнять в дальнейшем при проведении всех калориметрических опытов.

Для точного определения  $\Delta T$  было бы идеально, если бы перед началом исследуемого процесса и по его завершению температура в калориметрическом стакане оставалась постоянной:  $T_1$  до процесса и  $T_2$  после него. В реальных условиях температура калориметрической системы непрерывно изменяется как до, так и после процесса вследствие теплообмена с окружающей средой. Таким образом, при определении  $\Delta T$  необходимо внести поправку на теплообмен.

Весь опыт делят на три периода:

- 1) *предварительный*, продолжающийся не менее 5 минут;
- 2) *главный* – время протекания исследуемого процесса, продолжительностью 2–3 минуты;
- 3) *заключительный*, продолжающийся не менее 5 минут.

По экспериментальным данным строят график зависимости изменения температуры во времени (рис. 2).

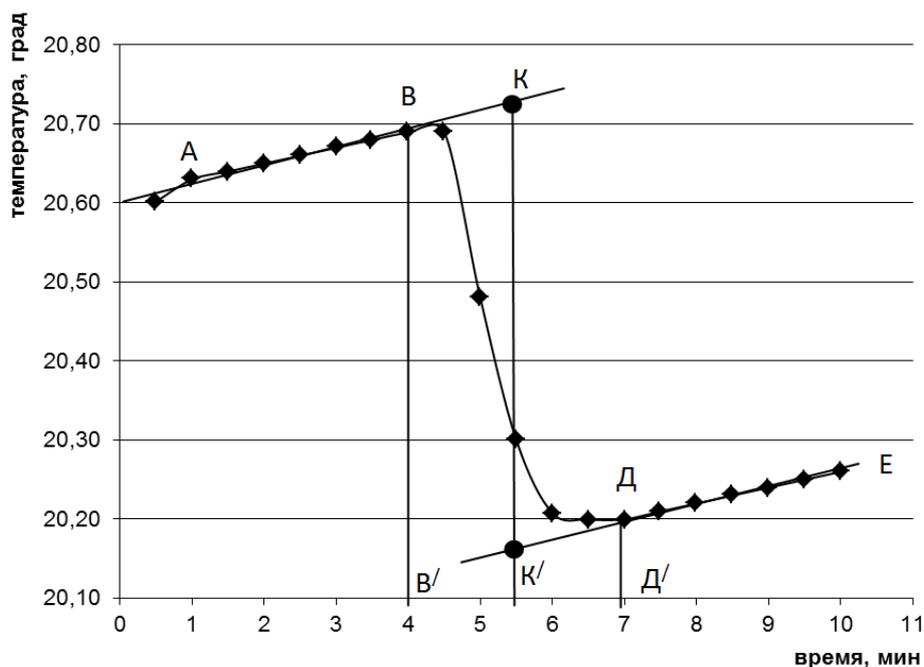


Рис. 2. Графическое определение  $\Delta T$  по результатам калориметрического опыта

На участке АВ протекает внешний теплообмен, на который после точки В накладывается тепловой эффект изучаемого процесса. Участок ДЕ характеризует внешний теплообмен после протекания процесса. Поскольку изменение температуры, вызванное теплообменом, линейно, то точка Д, где кривая ВД сопрягается с прямой ДЕ, указывает на прекращение влияния изучаемого процесса на внешний теплообмен. С некоторым допущением можно принять, что теплообмен, характеризуемый участком АВ, продолжался в ходе изучаемого процесса от его начала до середины, а от середины до конца процесса теплообмен протекал со скоростью, характеризуемой участком ДЕ. Продолжив отрезки АВ и ДЕ до пересечения с перпендикуляром КК', восстановленным из середины

отрезка В'Д', который отражает продолжительность главного процесса, находят поправки, обусловленные влиянием внешнего теплообмена на изучаемый процесс. Таким образом, находят  $\Delta T = \text{КК}'$ .

Постоянную калориметрической установки рассчитывают по уравнению:

$$C_K = \frac{\Delta H_m \cdot m(\text{KCl})}{\Delta T \cdot M(\text{KCl})}, \quad (2)$$

где  $\Delta H_m$  – интегральная теплота растворения КСl в воде, значение которой приводится в приложении;  $m(\text{KCl})$  – навеска КСl, г;  $M(\text{KCl})$  – молярная масса КСl, г/моль.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Порядок работы с контроллером

Приступая к выполнению работы, необходимо подключить датчик температуры к разъему первого измерительного канала термостата, подключить термостат к контроллеру УЛК и подключить контроллер и термостат к сети переменного напряжения. Включите питание контроллера, при этом на экране выводится первый из семи пунктов главного меню «1. Выбор лабораторной установки».

Для начала работы необходимо произвести:

#### **1. Сброс настроек каналов и результатов измерений**

С помощью клавиш «↑», «↓» или цифровых клавиш «1–7» выберите первый пункт главного меню «1. Выбор лабораторной установки». Нажав клавишу «ENT» и далее с помощью клавиши «↑» или «↓» выберите пункт «0. Сброс каналов и устройств» и нажать «ENT».

#### **2. Установка датчика температуры**

Клавишей «↓» или цифровыми клавишами «1–7» выберите второй пункт главного меню «2. Каналы и датчики»,

нажмите «ENT», повторным нажатием подтвердите выбор первого канала. Клавишами «↑» и «↓» выберите пункт «3. Термодатчик», нажмите клавишу «ENT». Для выхода в главное меню нажмите клавишу «ESC».

### **3. Настройка цикла измерений**

Для проведения лабораторной работы достаточно произвести 20 отсчетов с интервалом 30 секунд. Войдите в третий пункт главного меню «3. Параметры цикла измерений», нажав клавишу «3». Установите число измерений (отсчетов), нажмите клавишу «ENT», введите число и снова нажмите «ENT». Далее здесь же установите интервал между измерениями – сначала минуты (введите число и нажмите «ENT»), затем секунды (введите число). Нажатием клавиши «ESC» выйдете в главное меню.

### **4. Установка режима перемешивания**

С помощью клавиш «↑», «↓» или цифровых клавиш «1–7» выберите четвертый пункт главного меню «4. Исполнительные устройства». Нажмите клавишу «ENT», выберите пункт «1. Мешалка». Снова нажмите «ENT» (при этом вид курсора изменится на немигающую черту «→» ) и установите значение интенсивности перемешивания, равное восьми. Нажатием клавиши «ESC» вернитесь в главное меню.

### **5. Мониторинг текущей работы**

Для предварительного просмотра текущего значения температуры нажатием клавиши «↓» или «7» выберите седьмой пункт главного меню «7. Мониторинг текущей работы». Нажмите клавишу «ENT». Значение величины измеряемой температуры отображается слева в верхнем ряду (1-й канал). Дождитесь установления равномерного изменения температуры. Нажмите клавишу «ESC» для выхода в главное меню.

### **6. Запуск цикла измерений**

С помощью клавиши «↓» или «5» выберите пятый пункт главного меню «5. Запуск цикла измерений». Двойное нажатие клавиши «ENT» приведет к запуску цикла измере-

ний. Первое измерение производится сразу после запуска цикла измерений, последующие измерения – через заданный интервал времени.

### **7. Просмотр результатов измерений**

С помощью клавиши «↓» или «б» выберите шестой пункт главного меню «б. Просмотр результатов». Нажмите клавишу «ENT». На экран контроллера выведется номер отсчета (в верхней строке) и время от начала цикла измерений (в нижней строке).

Для просмотра измеренных значений температуры текущего отсчета используют клавиши «↑» или «↓». Значение величины измеряемой температуры отображается слева в верхнем ряду (1-й канал). Нажав клавишу «→», переходят к последующему значению температуры (или «←» к предыдущему). С помощью клавиши «↑» можно уточнить порядковый номер измерения.

Просмотр требуемого отсчета можно осуществить, задав его номер. Для этого необходимо подвести курсор в поле ввода номера отсчета (клавишей «↑» или «↓»), нажать «ENT» (при этом вид курсора изменится на немигающую черту «—»), ввести необходимое цифровое значение номера отсчета, нажать «ENT». Нажатием клавиши «ESC» возвратиться в главное меню.

#### **Примечания:**

- просмотр результатов можно проводить, не дожидаясь окончания цикла измерений;
- результаты последнего цикла измерений хранятся в памяти контроллера до сброса настроек каналов и устройств.

### **Опыт 1. Определение постоянной калориметрической установки**

Определяют константу калориметрической установки по теплоте растворения KCl, методика эксперимента и порядок работы с контроллером описаны выше. Освобождают калориметр от содержимого, промывают стакан, термодатчик и мешалку дистиллированной водой.

## **Опыт 2. Определение суммарной теплоты процессов, протекающих в калориметре ( $\Delta H_{измер.}$ )**

Мерным цилиндром отмеряют и заливают в калориметрический стакан  $100 \text{ см}^3$   $0,1 \text{ моль/дм}^3$  раствора щелочи. Собирают калориметрическую установку, дожидаются установления равномерного изменения температуры, затем запускают цикл измерений. Производят 10 отсчетов через каждые 30 секунд и на тридцатой секунде десятого отсчета с помощью мерной пипетки в калориметрический стакан осторожно вливают  $5 \text{ см}^3$   $1,8 \text{ моль/дм}^3$  раствора сильной кислоты. Продолжая фиксировать показания термодатчика, производят еще 10 отсчетов. Выливают содержимое калориметрического стакана и подготавливают установку к следующему опыту.

## **Опыт 3. Определение теплоты процесса разбавления кислоты щелочью ( $\Delta H_1$ )**

При проведении калориметрического опыта  $5 \text{ см}^3$  раствора кислоты вливают в  $100 \text{ см}^3$  водного раствора, т. е. разбавляют кислоту примерно в 20 раз, при этом выделяется некоторое количество теплоты, которое можно рассчитать, если известна интегральная теплота растворения кислоты в воде или определить экспериментально. С этой целью калориметрический опыт проводят как при определении  $\Delta H_{измер.}$ , только вместо раствора щелочи в калориметрический стакан наливается  $100 \text{ см}^3$  дистиллированной воды.

## **Опыт 4. Определение теплоты процесса разбавления щелочи водным раствором кислоты $\Delta H_2$**

Так как объем щелочи велик и мало изменяется при вливании в него кислоты, величиной  $\Delta H_2$  можно пренебречь, т. е.  $\Delta H_2 \approx 0$ .

### **ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

1. По экспериментальным данным первого калориметрического опыта, представленным в виде табл. 1, следует построить график зависимости изменения температуры во времени и определить  $\Delta T$ . Рассчитать постоянную калориметрической установки  $C_K$  по уравнению (2).

2. Экспериментальные данные второго калориметрического опыта представить в виде аналогичной таблицы.
3. По экспериментальным данным второго калориметрического опыта построить график изменения температуры во времени и определить  $\Delta T$ .
4. Рассчитать величину  $\Delta H_{измер.}$  по формуле:

$$\Delta H_{измер.} = \frac{C_K \cdot \Delta T}{n_{кислоты}},$$

где  $n$  – количество кислоты, внесенной в калориметр, моль.

5. По экспериментальным данным третьего калориметрического опыта, представленным в виде аналогичной таблицы, графически определить  $\Delta T_1$ .
6. Рассчитать величину  $\Delta H_1$  по формуле:

$$\Delta H_1 = \frac{C_K \cdot \Delta T_1}{n_{кислоты}}.$$

7. Теплоту нейтрализации вычислить по уравнению:

$$\Delta H_{нейтр.} = \Delta H_{измер.} - \Delta H_1$$

и сравнить со справочным значением  $\Delta H^0_{нейтр.}$

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название работы и ее цель, краткие теоретические положения, порядок выполнения работы, таблицы экспериментальных данных трех калориметрических опытов, графики изменения температуры во времени (на миллиметровой бумаге или в программе Excel), результаты расчета, выводы по проделанной работе.

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ РАСТВОРЕНИЯ СОЛИ

**Цель работы:** Определение интегральной теплоты растворения неизвестной соли в воде.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При растворении соли в воде протекают одновременно два процесса:

- 1) разрушение кристаллической решетки, это требует затрат энергии;
- 2) гидратация ионов – процесс, сопровождающийся выделением энергии.

В зависимости от соотношения тепловых эффектов этих процессов процесс растворения соли может быть как экзотермическим, так и эндотермическим.

Тепловой эффект, сопровождающий растворение 1 моль (или 1 г) твердого вещества в жидкости, называют мольной (или удельной) теплотой растворения. Теплота растворения зависит от концентрации раствора. Различают интегральную и дифференциальную теплоты растворения [2].

*Интегральной теплотой растворения* ( $\Delta H_m$ ) называется тепловой эффект растворения 1 моль вещества в некотором количестве растворителя.

*Дифференциальной теплотой растворения* называется тепловой эффект, сопровождающий растворение 1 моль вещества в бесконечно большом количестве растворителя.

Интегральные теплоты растворения определяют экспериментально, дифференциальные теплоты находят расчетным путем. Интегральные теплоты растворения различных солей при стандартной температуре 298 К приводятся в справочных таблицах (Приложение, табл. 1).

**Приборы и реактивы:** модуль «Термостат»; контроллер; термодатчик; пробирка для размещения навески соли; мерный цилиндр на 100 см<sup>3</sup>; стакан на 150 см<sup>3</sup>; хлорид калия; исследуемая соль: KNO<sub>3</sub>, KBr, NH<sub>4</sub>Cl, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (по указанию преподавателя); дистиллированная вода.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Опыт 1. Определение постоянной калориметрической установки

Определяют константу калориметрической установки по теплоте растворения KCl, методика эксперимента и порядок работы с контроллером приводятся в описании лабораторной работы № 1. Освобождают калориметр от содержимого, промывают стакан, термодатчик и мешалку дистиллированной водой.

### Опыт 2. Определение интегральной теплоты растворения

Проводят калориметрический опыт как при определении постоянной калориметрической установки, только вместо KCl в калориметрический стакан всыпают взятую ранее точную навеску сухой и тщательно измельченной исследуемой соли ( $m = 1$  г).

## ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Экспериментальные данные первого опыта необходимо представить в виде табл. 1.
2. По экспериментальным данным построить график зависимости изменения температуры во времени и определить  $\Delta T$ .
3. Рассчитать постоянную калориметрической установки  $C_K$  по формуле (2).
4. Экспериментальные данные второго калориметрического опыта представить в виде аналогичной таблицы.
5. По экспериментальным данным второго калориметрического опыта построить график изменения температуры во времени и определить  $\Delta T$ .
6. Интегральную теплоту растворения исследуемой соли рассчитать по формуле:

$$\Delta H_m = \frac{C_K \cdot \Delta T}{n_{\text{соли}}}$$

Значение  $n_{\text{соли}}$  взять у преподавателя.

7. Определить, пользуясь справочными данными, теплота растворения какой соли была найдена.
8. Рассчитать абсолютную ( $\Delta$ ) и относительную ( $\varepsilon$ ) погрешности измерения по формулам:

$$\Delta = |\Delta H_{\text{справоч}} - \Delta H_{\text{эксперим}}| ;$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{\Delta H_{\text{справоч}}} \cdot 100\% = \frac{|\Delta H_{\text{справоч}} - \Delta H_{\text{эксперим}}|}{\Delta H_{\text{справоч}}} \cdot 100\% .$$

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название и цель работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицы экспериментальных данных, графики изменения температуры во времени, результаты расчета, оценку погрешности определения  $\Delta H_m$ , вывод по проделанной работе.

### Лабораторная работа № 3

## ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

### Вопросы и задания для подготовки к работе

1. Дайте определения следующим понятиям:  
*Скорость химической реакции* – *Катализатор горения* –  
*Лимитирующая стадия* – *Ингибитор окисления* –  
*Энергия активации* –
2. Охарактеризуйте методы, с помощью которых можно следить за ходом реакций.
3. Перечислите факторы, от которых зависит скорость химической реакции.
4. Что выражает кинетическое уравнение химической реакции? Запишите кинетические уравнения:
  - а) для мономолекулярной реакции  $N_2O_4 \rightarrow 2NO_2$ ;
  - б) для многостадийной реакции  $2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$ .

5. Что называют молекулярностью реакции? Порядком реакции? Какие значения могут принимать эти величины? В каких случаях молекулярность и порядок реакции совпадают?
6. Каков физический смысл константы скорости? Выведите размерность константы скорости реакций первого и второго порядков. Как зависит константа скорости реакции от температуры?
7. Что нужно знать, чтобы рассчитать концентрацию реагента через 10 мин после начала реакции?
8. Запишите уравнение Аррениуса. Увеличится или уменьшится константа скорости при снижении энергии активации реакции?
9. Для некоторой реакции при повышении температуры константа скорости изменяется следующим образом:

$T, \text{ К}$	645	714	769
$k, \text{ моль}^{-1} \cdot \text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	$5,41 \cdot 10^{-3}$	0,11	0,82

Найдите графическим и аналитическим методами энергию активации реакции.

10. Реакция разложения пероксида водорода:  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  идет заметно быстрее в присутствии соли палладия (температура, начальная концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  и конечные продукты не изменяются). Как влияет соль палладия на:
  - а) энергию активации реакции;
  - б) константу скорости реакции;
  - в) константу равновесия;
  - г) выход продуктов реакции?

**Цель работы:** Определение порядка реакции разложения пероксида водорода и константы скорости реакции.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Химическая кинетика изучает скорость и механизм протекания химических реакций, а также влияющие на них факторы [2, 6].

*Под скоростью реакции  $v$  понимают изменение количества вещества  $n$  в единице объема  $V$  в единицу времени  $\tau$  или изменение молярной концентрации  $c$  в единицу времени*

$$v = \pm \Delta n / V \cdot \Delta \tau = \pm \Delta c / \Delta \tau . \quad (3)$$

Скорость реакции всегда положительна. Однако при протекании реакции концентрации исходных веществ уменьшаются ( $\Delta c < 0$ ), а продуктов реакции возрастают ( $\Delta c > 0$ ). Если скорость реакции изучают по изменению концентрации исходного вещества, то в выражении (3) берется знак «-», если скорость реакции изучают по изменению концентрации продукта реакции, то в выражении (3) берется знак «+».

Экспериментальные исследования показали, что скорость реакции зависит от следующих факторов:

- 1) природы реагирующих веществ;
- 2) концентрации реагирующих веществ;
- 3) температуры;
- 4) физического состояния вещества;
- 5) влияния катализаторов;
- 6) влияния инициаторов;
- 7) влияния электромагнитного излучения.

#### *Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ*

Реакции бывают простыми и сложными. *Простыми* (элементарными) называют реакции, протекающие в одну стадию. *Сложными* называют реакции, протекающие в несколько стадий.

Число частиц, участвующих в простой реакции или в отдельной стадии сложной реакции, называется *молекулярностью*. Простые реакции могут быть мономолекулярными, бимолекулярными и тримолекулярными.

Уравнение, связывающее скорость реакции с концентрациями реагирующих веществ, называется *кинетическим*.

Для простых реакций зависимость скорости от концентрации реагирующих веществ выражается *законом действия масс*:

*скорость реакции пропорциональна произведению молярных концентраций всех реагирующих веществ в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам.*

Для простой реакции  $aA + bB = cC + dD$  кинетическое уравнение имеет вид

$$v = k \cdot c_A^a \cdot c_B^b \quad (4)$$

Сумма  $(a + b)$  равна молекулярности. Коэффициент пропорциональности  $k$  называется *константой скорости химической реакции*. Константа скорости не зависит от концентрации реагирующих веществ и численно равна скорости реакции при концентрациях, равных единице.

Сложная реакция состоит из нескольких стадий и ее скорость определяется скоростью самой медленной стадии – *лимитирующей*.

Скорость сложной реакции  $aA + bB = cC + dD$  тоже зависит от концентраций  $A$  и  $B$ , но характер этой зависимости может быть определен только экспериментально. Кинетическое уравнение для сложной реакции

$$v = k \cdot c_A^l \cdot c_B^m \quad (5)$$

Величины  $l$  и  $m$  называются частными порядками реакции по веществам  $A$  и  $B$ , а сумма  $n = l + m$  – общим порядком реакции.

*Порядок реакции – это сумма показателей степеней при концентрациях в кинетическом уравнении реакции.*

Порядок сложной реакции может быть величиной как целой, так и дробной ( $0 \leq n \leq 3$ ) и может быть найден только

экспериментально. Для простых реакций порядок совпадает с молекулярностью и может быть величиной только целой.

Порядок реакции определяют, используя опытные данные об изменении концентрации реагирующих веществ во времени. Концентрацию определяют методами аналитической химии (например, титрованием) или физико-химическими методами (например, измерением оптической плотности, объема выделившегося газа, угла вращения плоскости поляризации, показателя преломления, вязкости, электрической проводимости и т. п.).

По полученным экспериментальным данным находят порядок реакции, используя различные методы.

**1. Метод подстановки.** Экспериментально находят концентрацию одного из веществ  $c$  через определенные промежутки времени от начала реакции  $\tau$ . Для реакций различных порядков выражения для константы скорости  $k$  различны:

$$\text{если } n=0, \text{ то } k = \frac{1}{\tau} (c_0 - c); \quad (6)$$

$$\text{если } n=1, \text{ то } k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0}{c}; \quad (7)$$

$$\text{если } n=2, \text{ то } k_2 = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} \right). \quad (8)$$

Подставляют найденные значения концентрации в уравнения (6), (7), (8) и рассчитывают значения константы скорости. Уравнение, которое дает одинаковые значения константы скорости в различные моменты времени (в пределах погрешности опыта), указывает на порядок реакции.

**2. Графический метод.** Из приведенных выше уравнений (6), (7), (8) следует, что зависимость концентрации от времени для различных порядков может быть выражена прямой линией в соответствующей системе координат:

$$\begin{aligned} c - \tau & \text{ (для } n = 0), \\ \ln c - \tau & \text{ (для } n = 1), \\ 1/c - \tau & \text{ (для } n = 2). \end{aligned}$$

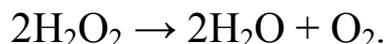
Отложив на оси абсцисс время  $\tau$ , а на оси ординат  $c$ ,  $\lg c$ ,  $1/c$ , для изучаемой реакции получают три линии. Система ко-

ординат, в которой экспериментальные точки лягут на прямую линию, укажет на порядок реакции, а тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен константе скорости  $k$  (для  $n = 0, 1, 2$ ).

**3. По периоду полупревращения.** Период полупревращения для реакций различного порядка по-разному зависит от начальной концентрации реагентов. Для реакции нулевого порядка  $\tau_{1/2}$  прямо пропорционален начальной концентрации  $c_0$ , для реакции первого порядка – не зависит от начальной концентрации  $c_0$ , для реакции второго порядка – обратно пропорционален  $c_0$ . Проводят опыты с различными начальными концентрациями реагирующих веществ, находят  $\tau_{1/2}$ , делают вывод о порядке реакции.

В данной работе необходимо определить порядок реакции разложения пероксида водорода.

В водных растворах пероксид водорода медленно разлагается:



Ускоряющее действие на разложение пероксида водорода оказывают катализаторы: ионы иода, железа, меди, коллоидная платина, соли палладия. Кинетическое уравнение данной реакции имеет вид:

$$v = k \cdot c(\text{H}_2\text{O}_2)^n,$$

где  $k$  – константа скорости реакции;  $n$  – порядок реакции.

Для изучения кинетики в настоящей работе применяется газометрический способ. Количество разложившегося к данному моменту пероксида водорода определяют по объему выделившегося кислорода. Установка, с помощью которой может быть изучена скорость процесса, представлена на рис. 3.

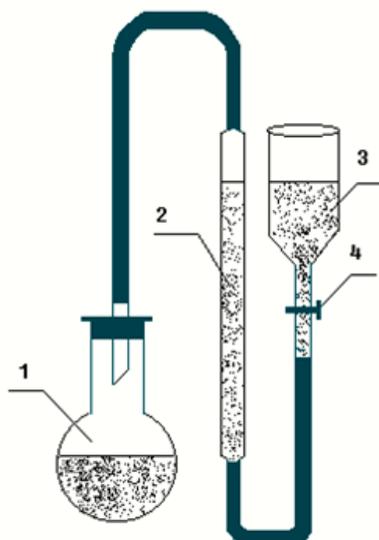


Рис. 3. Установка для изучения кинетики разложения пероксида водорода:

1 – реакционный сосуд; 2 – бюретка;  
3 – уравнивательная склянка; 4 – кран

**Приборы и реактивы:** установка для изучения кинетики, две пипетки вместимостью  $2\text{ см}^3$ , секундомер, раствор пероксида водорода ( $c = 0,2\div 0,3$  моль/ $\text{дм}^3$ ), раствор  $\text{PdCl}_2$  ( $c = 0,06$  моль/ $\text{дм}^3$ ).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом опыта в реакционный сосуд 1 помещают по  $1\text{ см}^3$  растворов пероксида водорода и катализатора, выдержанных в термостате в течение 30 мин при данной температуре. Пробирку плотно закрывают пробкой с газоотводной трубкой, соединенной с бюреткой 2. Кран на газоотводной трубке оставляют открытым в течение 1 мин (для вытеснения воздуха). Перемещая уравнивательный сосуд вдоль штатива, устанавливают одинаковые уровни воды в бюретке и уравнивательном сосуде. Включают секундомер и через каждые 0,5–1,0 мин измеряют объем выделившегося кислорода, устанавливая перед каждым измерением одинаковый уровень воды в бюретке и в уравнивательном сосуде. Экспериментальные данные заносят в таб. 2.

Таблица 2

### Экспериментальные данные и результаты расчета

$\tau$ мин	$V$ , см <sup>3</sup>	$V_{\kappa} - V$ , см <sup>3</sup>	$\ln (V_{\kappa} - V)$	$\frac{1}{V_{\kappa} - V}$	$k_0$	$k_1$	$k_2$
0,5							
1,0							
...							

где  $V_{\kappa}$  – объем кислорода, выделившегося после полного разложения пероксида водорода.

### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В данной работе вместо концентрации пероксида водорода измеряется объем выделившегося кислорода. Как видно из уравнения реакции,

$$c(\text{H}_2\text{O}_2) = \text{const} \cdot (V_{\kappa} - V), \text{ а } c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \text{const} \cdot V_{\kappa}.$$

Следовательно, справедливы соотношения:

$$\text{если } n = 0, \quad k_0 = \frac{k}{\text{const}} = \frac{V}{\tau}; \quad (9)$$

$$\text{если } n = 1, \quad k_1 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{V_{\kappa}}{V_{\kappa} - V}; \quad (10)$$

$$\text{если } n = 2, \quad k_2 = k \cdot \text{const} = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{V_{\kappa} - V} - \frac{1}{V_{\kappa}} \right). \quad (11)$$

Следует иметь в виду, что только в случае, если реакция первого порядка, подставляя объемы кислорода в выражение для константы скорости, получаем константу скорости  $k$ . В других случаях получаем постоянную величину  $k$ , не равную, а только пропорциональную константе скорости.

#### 1. Определение порядка реакции методом подстановки

Для определения порядка изучаемой реакции методом подстановки экспериментальные данные подставляют в уравнения (9)–(11) и рассчитывают  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ . Так как константа скорости не зависит от концентрации реагирующих веществ, а в данной работе – от объема выделившегося кислорода,

следовательно, то уравнение, которое даст приблизительно одинаковые значения константы, укажет на порядок реакции.

После установления порядка реакции разложения пероксида водорода рассчитывают константу скорости, как среднее арифметическое:

$$k = \frac{k_1 + k_2 + \dots + k_n}{n}.$$

Экспериментальные данные и результаты расчета следует представить в виде табл. 2.

## 2. Определение порядка реакции графическим методом

Зависимость концентрации реагирующих веществ, а в данной работе объема выделившегося кислорода, от времени может быть выражена графически в виде прямой линии в соответствующих координатах:

$$\begin{array}{ll} \text{для } n = 0 & V = f(\tau); \\ \text{для } n = 1 & \ln V = f(\tau); \\ \text{для } n = 2 & \frac{1}{V_0 - V} = f(\tau). \end{array}$$

По экспериментальным данным строят графики в указанных координатах. Координаты, в которых зависимость окажется линейной, укажут на порядок реакции. Экспериментальные данные и результаты расчета следует представить в виде табл. 2.

После установления порядка реакции определяют константу скорости графически как тангенс угла наклона кинетической прямой по отношению к оси абсцисс.

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название работы, ее цель, описание хода работы, таблицу с результатами, расчет  $k_{\text{средн}}$ , графики и определение константы скорости графическим методом, вывод по проделанной работе.

## Лабораторная работа № 4

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

### Вопросы и задания для подготовки к работе

1. Охарактеризуйте характер горения металлов в зависимости от их химической природы.
2. Охарактеризуйте характер горения порошкообразных металлов по сравнению с аналогичными металлическими пластинами.
3. От чего зависит окраска пламени, получающаяся в результате термического разложения солей?
4. Приведите примеры изменения окраски пламени в зависимости от вида катиона, входящего в состав соли.
5. Причины и возможные реакции образования дыма (углерода) при горении алканов, алкенов и ацетилена.
6. О наличии какого химического элемента в составе целлюлозы свидетельствует ее обугливание?
7. Перечислите основные виды огнегасящих веществ.
8. Почему метанол и этанол можно тушить водой? Ответ обоснуйте.

**Цель работы:** Знакомство с процессами горения различных органических и неорганических веществ.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Горение может возникнуть в двух различных формах: в виде возгорания (воспламенения) и в виде самовозгорания (самовоспламенения). Возгорание веществ возможно при воздействии на них теплового импульса от источника зажигания [1].

Самовозгорание (самовоспламенение) – процесс возникновения горения при отсутствии источника зажигания. Самовозгорание наблюдается при резком увеличении скорости экзотермических реакций в объеме вещества, когда скорость выделения тепла превышает скорость его рассеивания. Самовозгорание вещества первоначально происходит в зоне максимальных температур (или в «горячей точке»), затем горение распространяется по всему объему.

В промышленной практике весьма часто самовозгорание твердых веществ и материалов происходит при их нагревании и контакте с химически активными веществами.

Химическое самовозгорание может возникать тогда, когда на вещество действует кислород воздуха, химические окислители, вода [3, 4].

Многие вещества, имеющие низкую температуру самовоспламенения, легко воспламеняются на воздухе, это алюминий, цинк, белый, желтый и красный фосфор. К веществам, загорающим под действием воды, относятся натрий, калий, карбид кальция, щелочные металлы, негашеную известь и т. д. Бывали случаи возникновения пожаров вследствие теплоты, выделяемой при реакции извести с водой [5].

Окислителями могут быть хлор, фтор, бром, йод, окислы азота и другие вещества. В большинстве случаев при пожаре окисление горючих веществ происходит кислородом воздуха. Сильным окислителем является перманганат калия. Его смеси с твердыми горючими веществами самовозгораются от действия концентрированных серной и азотной кислот, а также от удара и трения. Глицерин в смеси с перманганатом самовозгорается через несколько секунд после смешения. При попадании на хромовый ангидрид ( $\text{CrO}_3$ ) самовозгораются метанол, этанол, бутиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты, уксусная кислота, ацетон [7].

Окисление органического вещества – введение в его состав кислорода и (или) отщепление водорода. Восстановление – обратный процесс (введение водорода и отщепление кислорода).

Алканы – органические соединения с низкими степенями окисления углерода, в зависимости от условий реакции они могут окисляться с образованием различных соединений. В органической химии реакции окисления и восстановления рассматриваются как реакции, связанные с потерей и обретением органическим соединением атомов водорода и кислорода. Эти процессы сопровождаются изменением степеней окисления атомов углерода.

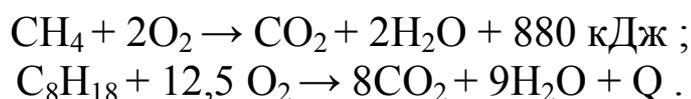
Природный газ – смесь газообразных предельных углеводородов с небольшой молекулярной массой. Основным компонентом природного газа является метан, доля которого в зависимости от месторождения составляет от 75 до 99 % по объему. Кроме метана в состав природного газа входят этан, пропан, бутан и изобутан, а также азот и углекислый газ.

Нефть – природная сложная смесь углеводородов, в основном циклоалканов, содержащих в молекулах от 5 до 50 атомов углерода, с другими органическими веществами. Состав ее существенно зависит от места ее добычи (месторождения), она наряду с циклоалканами содержит алканы и ароматические углеводороды.

Учитывая состав алканов ( $C_nH_{2n+2}$ ), можно сделать вывод о их неспособности вступать в реакции восстановления, но возможности участвовать в реакциях окисления.

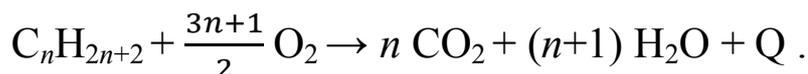
При обычной температуре алканы не вступают в реакции даже с сильными окислителями. При внесении в открытое пламя алканы горят. При этом в избытке кислорода происходит их полное окисление до  $CO_2$ , где углерод имеет высшую степень окисления +4, и воды. Горение углеводородов приводит к разрыву всех связей С–С и С–Н и сопровождается выделением большого количества тепла (экзотермическая реакция).

Примеры:



Низшие гомологи (метан, этан, пропан, бутан) образуют с воздухом взрывоопасные смеси, что необходимо учитывать при их использовании. Процесс горения углеводородов широко используется для получения энергии (в двигателях внутреннего сгорания, в тепловых электростанциях и т. п.).

Уравнение реакции горения алканов в общем виде:



Из этого уравнения следует, что с увеличением числа углеродных атомов ( $n$ ) в алкане увеличивается количество кислорода, необходимого для его полного окисления. При горении метана или высших алканов ( $n \gg 1$ ) кислорода, содержащегося в воздухе, может оказаться недостаточно для их полного окисления до  $CO_2$ . Тогда образуются продукты частичного окисления:

угарный газ  $CO$  (степень окисления углерода +2);

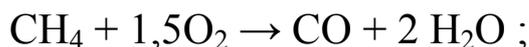
сажа (мелкодисперсный углерод, степень окисления 0);

непредельные соединения: ацетилен, этилен и др.

Гексан загорается сразу: алканы с небольшой молекулярной массой загораются легко.

Керосин – это смесь алканов, в молекулы которых входит от 12 до 18 атомов углерода. Поджечь керосин оказывается немного труднее, появляется коптящее пламя. В виде копоти выделяется несгоревший углерод. Поэтому высшие алканы горят на воздухе коптящим пламенем, а выделяющийся попутно токсичный угарный газ (без запаха и цвета) представляет опасность для человека.

Горение метана при недостатке кислорода происходит по уравнениям:



Последняя реакция используется в промышленности для получения сажи или ацетилена. Частичное окисление алканов при относительно невысокой температуре и с применением

катализаторов сопровождается разрывом только части связей С–С и С–Н и используется для получения ценных продуктов: карбоновых кислот, кетонов, альдегидов, спиртов.

Спирты, как и углеводороды, горят на воздухе или в кислороде с образованием паров воды и углекислого газа. Горение спиртов – сильно экзотермическая реакция. Экзотермичность горения спиртов позволяет рассматривать их в качестве альтернативного бензину экологически чистого топлива для двигателей внутреннего сгорания. Водные растворы, содержащие 25 % спирта и более, являются легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ). Следует отметить, что разбавленные растворы спиртов относятся к категории трудно горючих веществ, т. е. склонны гореть в присутствии источника зажигания. Глицерин нельзя хранить с сильными окислителями: контакт с этими веществами приводит к возникновению пожара.

К тепловому самовозгоранию склонны масла, жиры, каменные угли и некоторые химические вещества. Отработанные минеральные масла содержат непредельные соединения. Такие масла способны к самовозгоранию. Глицериды предельных кислот окисляются при температурах выше 150 °С и не способны самовозгораться.

Масла, содержащие большое количество глицеридов непредельных кислот, способны самовозгораться. Это объясняется тем, что глицериды непредельных кислот окисляются на воздухе с образованием пероксидов, которые легко разлагаются с образованием весьма реакционно-способного атомарного кислорода. Чем больше кислорода присоединяется к молекуле глицерида, тем больше тепла выделяется. Самовозгораются при соприкосновении с воздухом растительные или животные жиры и продукты, изготовленные на их основе. Самовозгораются промасленные тряпки, пакля, вата и даже металлические стружки. Опасны в этом отношении натуральные льняные, конопляные и другие олифы.

Микробиологическое самовозгорание бывает в среде, где бурно могут развиваться микроорганизмы, которые за

счет своей жизнедеятельности выделяют тепловую энергию. Это природные органические материалы растительного происхождения (торф, стружка, опилки и др.). Микробиологическое самовозгорание характерно для органических дисперсных и волокнистых материалов, внутри которых возможна жизнедеятельность микроорганизмов. Первичное самонагревание массы материала происходит за счет тепла, выделяемого микроорганизмами (например, самонагревание влажного сена).

Полимеры – высокомолекулярные органические соединения, содержащие один и тот же повторяющийся структурный фрагмент.

По характеру воздействия температуры полимеры можно разделить на две группы:

- 1) **терморезистивные** – это полимеры, которые необратимо изменяются от воздействия температуры, переходя от линейного строения к сетчатому вследствие сшивания нитевидных молекул мостиками из групп  $-\text{CH}_2$ . Эти полимеры обладают большой прочностью и меньшей растворимостью в органических растворителях по сравнению с линейными; они не могут подвергаться вторичной обработке;
- 2) **термопластичные** – это полимеры, которые при воздействии повышенной температуры могут переходить в вязкотекучее состояние, а после снятия температурного воздействия возвращаться в исходное состояние без химического разрушения, поэтому возможно их повторное использование.

Термическая деструкция полимеров протекает при высоких температурах в инертной атмосфере или в вакууме (процесс пиролиза). Термический распад наименее стойких полимеров (поливинилхлорида и полиметилметакрилата) начинается при 150–220 °С.

При горении органических полимерных материалов окислителем является кислород воздуха, а горючим – водород и углеродсодержащие газообразные продукты деструк-

ции полимера. При нагревании макромолекулы легко распадаются на низкомолекулярные насыщенные и ненасыщенные углеводороды, которые подвергаются экзотермическим реакциям окисления, т. е. реакция сопровождается выделением теплоты [12].

По цвету и характеру пламени, образующегося при горении металлов и их солей, можно провести их идентификацию. Это возможно благодаря образованию раскаленных паров свободных металлов, образующихся в результате термического разложения под действием пламени. Наиболее успешно проведение реакций качественного определения состава солей наблюдается у хлоридов, карбонатов и нитратов, являющихся летучими; нелетучие соли (силикаты, фосфаты, бораты) перед внесением в пламя необходимо смочить концентрированной соляной кислотой с целью получения из них летучих хлоридов.

Благодаря изменению окраски пламени возможно проведение качественного анализа сухих смесей металлов и их солей в качестве предварительного эксперимента. Кроме того, данные реакции нашли широкое применение при производстве пиротехнических составов, применяемых в изготовлении фейерверков и декоративных огней с разнообразными цветами и формами.

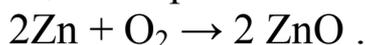
**Приборы и реактивы:** порошок цинка, магния, алюминия, алюминиевая и цинковая пластины, кристаллические соли хлорида натрия, иодида калия, карбоната кальция, нитрата стронция, сульфата меди(II), нитрата свинца(II), дихромата аммония, перманганата калия, глюкозы, карбида кальция, серная кислота<sub>(конц.)</sub>, песок (кипелки), гексан, бензин, керосин, нефть, изопропиловый спирт, бутиловый спирт, изоамиловый спирт, этиловый спирт, глицерин, оксид меди (II), целлюлоза (фильтровальная бумага), образцы полимеров (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, поликарбонат), дистиллированная вода, пробирки объемом 15–20 мл, газоотводная трубка, держатель пробирки, покровные стекла, спир-

товка, стеклянная палочка, фарфоровые чашки, шпатель, пинцет, огнезащитная прокладка (асбест), спички.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Опыт 1. Горение металлов

Реакция горения цинка протекает по уравнению:



В горящее пламя спиртовки добавьте цинковую пыль и наблюдайте изменение цвета пламени с желтого на синий. Повторите опыт, заменив порошкообразный цинк на порошок магния и алюминия, а также на алюминиевую и цинковую пластины. Отметьте наблюдения, результаты эксперимента приведите в виде табл. 3, принимая за продукты горения порошкообразных алюминия и магния соответствующие оксиды.

*Таблица 3*

#### Результаты опыта

№	Металл	Реакция горения	Наблюдения

### Опыт 2. Горение неорганических солей

На сухое покровное стекло добавьте один микрошпатель кристаллической соли хлорида натрия, прилейте 3–5 капель этилового спирта и подожгите. Обратите внимание на цвет пламени. Повторите опыт с кристаллами иодида калия, карбоната кальция, нитрата стронция, сульфата меди(II), нитрата свинца(II), дихромата аммония, полученные наблюдения представьте в виде табл. 4.

*Таблица 4*

#### Результаты опыта

№	Соединение	Цвет пламени, характер горения

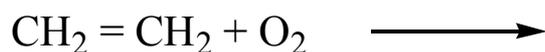
Запишите реакцию термического разложения дихромата аммония, считая, что продуктами реакции являются твердый оксид хрома (III) и газообразные азот и вода.

### **Опыт 3. Горение газообразных углеводородов**

#### ***а) горение этилена***

В сухую пробирку налейте (*осторожно!*) 2 см<sup>3</sup> этанола и 4 см<sup>3</sup> серной кислоты, добавьте несколько крупинок песка. Пробирку закройте пробкой с газоотводной трубкой, хорошо прогрейте всю пробирку над спиртовкой, а затем ее нижнюю часть – над пламенем спиртовки. При появлении признаков кипения подожгите газ, выделяющийся из конца газоотводной трубки.

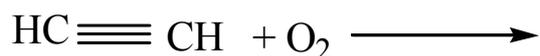
Напишите реакцию горения этилена и укажите цвет пламени:



#### ***б) горение ацетилена***

В сухую пробирку поместите несколько кусочков карбида кальция, долейте 1 см<sup>3</sup> воды и закройте пробкой с газоотводной трубкой. Подожгите газ, выделяющийся из конца газоотводной трубки.

Напишите реакцию горения ацетилена и укажите цвет пламени:



### **Опыт 4. Горение жидких углеводородов**

В фарфоровые чашки налейте по 2 см<sup>3</sup> углеводородов (по указанию преподавателя) и поочередно подожгите их, наблюдая характер горения и цвет пламени. Сделайте выводы.

### **Опыт 5. Горение спиртов**

В небольшие тигли или фарфоровые чашки налейте спирты (по указанию преподавателя) и поочередно подожгите их. Обратите внимание, как меняется светимость пламени с увеличением молекулярной массы спирта и содержания углерода в спиртах. Есть ли коптящее пламя? Сделайте выводы.

### **Опыт 6. Горение спиртов при действии окислителей**

На фарфоровой пластинке к небольшому количеству измельченного перманганата калия добавьте столько концен-

трированной серной кислоты, чтобы получилась густая каша. На образовавшийся оксид марганца (VII) капните несколько капель спирта. Спирт вспыхивает. Опыт повторите с использованием бутилового спирта, а также глицерина. Сделайте выводы.

### **Опыт 7. Горение многоатомных спиртов, углеводов и клетчатки (целлюлозы)**

Присутствие углерода во многих органических веществах можно обнаружить по обугливанию вещества при осторожном его прокаливании.

#### ***а) горение углеводов***

На кончик металлического шпателя поместите несколько кристаллов глюкозы и осторожно нагрейте в пламени горелки. Что происходит с глюкозой? Повторите этот опыт с целлюлозой. Что происходит? Сделайте выводы.

#### ***б) обугливание целлюлозы***

Целлюлоза – твердое, стойкое вещество белого цвета, не разрушается при нагревании (до 200 °С). Является горючим веществом, температура воспламенения 275 °С, температура самовоспламенения 420 °С (хлопковая целлюлоза). Не растворима в воде и слабых кислотах.

Обугливание наблюдается при действии на органические вещества (сахар, крахмал, клетчатку, спирты и т. д.) водоотнимающих веществ, например, концентрированной или разбавленной серной кислоты при нагревании.

На кусочек фильтровальной бумаги (клетчатка) поместите каплю раствора серной кислоты. При высыхании на бумаге не остается следа. Осторожно подогрейте бумагу над пламенем горелки. Что происходит с фильтровальной бумагой смоченной серной кислотой? Сделайте выводы.

#### ***в) самовоспламенение целлюлозы***

В фарфоровой чашке приготовьте окислительную смесь из кристаллического перманганата калия с добавлением 2–3 капель концентрированной серной кислоты. Затем стеклянной палочкой коснитесь вначале окислительной смеси, а затем цел-

люлозы, смоченной этиловым спиртом или глицерином. Что происходит? Сделайте выводы.

### **Опыт 8. Поведение полимеров при внесении в пламя горелки**

Образец пластмассы с помощью пинцета или другого приспособления поместите в верхнюю часть высокотемпературной зоны пламени спиртовки. Далее удалите пластмассу из пламени и наблюдайте, будет ли она гореть дальше. При этом обратите внимание на цвет пламени; образуется ли копоть или дым, потрескивает ли огонь, плавится ли пластмасса с образованием капель, отметьте запах выделяющихся газообразных продуктов. Результаты наблюдения запишите в табл. 5.

*Таблица 5*

#### **Горение полимеров**

<b>Полимер</b>	<b>Поведение в пламени / Окраска пламени</b>	<b>Характер горения</b>	<b>Запах продуктов горения</b>	<b>Продукты горения</b>
Полиэтилен				
Полипропилен				
Полистирол				
Поливинилхлорид				
Поликарбонат				

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название и цель работы, номера и названия опытов, реакции, наблюдения, заполненные таблицы и соответствующие выводы.

## Лабораторная работа № 5

### ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕНООБРАЗНЫХ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

#### Вопросы и задания для подготовки к работе

1. Дайте определения следующим понятиям:  
*Пены* – *Дисперсность пены* –  
*Пенообразователь* – *Устойчивость пены* –  
*Кратность пены* – *Пеногаситель* –
2. Какие системы называются пенами? Какую структуру имеют пены?
3. Назовите методы получения пен.
4. Охарактеризуйте основные характеристики пен: плотность, кинематическая вязкость, температура застывания, рН водного раствора, поверхностное натяжение, показатель пенообразующей способности, устойчивость пены, кратность пены, показатель смачивающей способности, показатель биоразлагаемости.
5. С помощью каких величин можно оценить дисперсность пены? Назовите экспериментальные методы определения дисперсности пены.
6. Являются ли пены термодинамически устойчивыми системами? В чем заключается агрегативная устойчивость пен? В чем заключается седиментационная устойчивость пен? Как ее повысить? Какие вещества используют в качестве пенообразователей?
7. Перечислите методы разрушения пен. Назовите их достоинства и недостатки.

**Цель работы:** 1. Получение пен и изучение их свойств.  
2. Исследование влияния различных факторов на устойчивость пены.

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Пены* (Г/Ж) – это грубодисперсные высоко-концентрированные системы, в которых дисперсной фазой являются пузырьки газа, а дисперсионной средой – жидкость в виде тонких пленок.

Пены имеют сотовую структуру, в которой пузырьки газа полиэдрической формы отделены друг от друга тонкими прослойками жидкости. Чтобы пузырьки газа имели форму многогранников, пена должна быть высококонцентрированной, т. е. концентрация дисперсной фазы ( $C_{д.ф.}$ ) в ней должна быть больше 74 % по объему. Если же концентрация окажется меньше, то пузырьки примут сферическую форму, и пена превратится в газовую эмульсию.

Пена, как любая грубодисперсная система, является неустойчивой. Это связано с избытком поверхностной энергии, пропорциональной поверхности раздела фаз жидкость – газ. Разрушение пены происходит в результате истечения жидкости (синерезиса) и разрыва пленок внутри пены, а также диффузионного переноса воздуха из маленьких пузырьков в большие. Это приводит к уменьшению общего числа пузырьков и увеличению их среднего диаметра. В реальных условиях при тушении пожара пена разрушается также в результате деформации пузырьков под действием силы трения при движении, термического воздействия окружающей среды, конвективных потоков и др.

Установлено, что образование сколько-нибудь устойчивой пены в чистой жидкости невозможно. Пену можно получить только в присутствии специального вещества – стабилизатора, называемого *пенообразователем*. В качестве пенообразователей используют коллоидные поверхностно-активные вещества (ПАВ) и высокомолекулярные соединения (ВМС).

Пенообразователи концентрируются на поверхности раздела фаз и снижают поверхностное натяжение.

*Получают пены* двумя способами:

- 1) диспергированием газа (воздуха) при подаче его в раствор пенообразователя (барботирование) при взбивании, встряхивании, переливании;
- 2) конденсационным способом в результате химических реакций, сопровождающихся выделением газообразных продуктов.

Воздушно-механическая пена получается в результате механического перемешивания (диспергирования) водного раствора пенообразователя с воздухом в специальном воздушно-пенном стволе или пеногенераторе.

В зависимости от применения пенообразователи подразделяют на две классификационные группировки: пенообразователи общего назначения и пенообразователи целевого назначения.

Пенообразователи общего назначения используются для получения пены и растворов смачивателей при тушении пожаров горючих жидкостей, твердых горючих материалов, волокнистых и тлеющих веществ, для защиты строительных конструкций, технологических аппаратов и хранящихся материалов от воздействия тепловых потоков [8,10].

Пенообразователи целевого назначения используются при тушении пожаров отдельных видов горючих жидкостей (нефть, спирты, нефтепродукты, углеводороды, спирты и т. п.) [9].

Для приготовления рабочих растворов пенообразователей используется питьевая, жесткая или морская вода.

К физико-химическим показателям качества пенообразователей для тушения пожаров относятся:

- *плотность* при 20 °С –  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- *кинематическая вязкость* при 20 °С – сопротивление жидкости течению под действием сил гравитации –  $\eta$ , м<sup>2</sup>/с;
- *температура застывания* (температура фазового перехода) –  $t_z$ , °С;
- *водородный показатель* (рН) водного раствора или концентрата;
- *поверхностное натяжение* рабочего раствора на границе жидкость – воздух –  $\sigma$ , Н/м;

– *показатель пенообразующей способности* (показатель, который характеризуется произведением максимальной кратности пены на коэффициент использования воздуха) –  $\Pi$ , %;

– *устойчивость пены* (способность пены сохранять первоначальные свойства) –  $\tau$ , с; Показатель устойчивости пены характеризуется временем разрушения 50 % объема пены ( $\tau_{1/2}$ ) или временем выделения 50 % жидкой фазы;

– *кратность пены* (безразмерная величина, равная отношению объема пены к объему раствора, из которого она получена).

Кратность пены рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{V_n}{V_{жс}} = \frac{V_г + V_{жс}}{V_{жс}},$$

где  $V_n$  – объем пены, равный сумме объема жидкости ( $V_{жс}$ ), которая использована при образовании пены, и объема газа ( $V_г$ ). Кратность пены показывает, сколько объемов пены можно получить из одного объема жидкости;

– *показатель смачивающей способности* (способность рабочего раствора пенообразователя смачивать твердые материалы) –  $\tau_{см}$ , с;

– *показатель биоразлагаемости* (способность поверхностно-активных веществ разлагаться под действием микрофлоры водоемов и почв).

Для характеристики *устойчивости* пены часто приводят время, которое проходит с момента образования пены до ее самопроизвольного разрушения. Удобнее определять время разрушения половины объема пены.

Пены, как и другие дисперсные системы, являются термодинамически неустойчивыми, так как их образование сопровождается увеличением свободной энергии. Пены обладают только *относительной устойчивостью*, которая подразделяется на два вида: агрегативная и седиментационная устойчивость.

Так как диффузия газа в пене протекает достаточно медленно, то можно утверждать, что пены являются *относительно* агрегативно устойчивыми.

*Седиментационная устойчивость* – это способность системы сохранять неизменным во времени распределение частиц дисперсной фазы в объеме системы, т. е. способность системы противостоять силе тяжести. Это понятие для пен весьма своеобразно и отличается от других дисперсных систем. Нарушение седиментационной устойчивости пен связано с процессом *самопроизвольного стекания* жидкости в пленке пены, что приводит к ее утончению и, в конце концов, к разрыву. Этот процесс вызывается действием сил гравитации и капиллярных сил всасывания. Именно нарушение седиментационной устойчивости приводит к разрушению пены. Поэтому для повышения седиментационной устойчивости пен используют пенообразователи.

Существует три группы факторов, влияющих на устойчивость пены.

1. Факторы, связанные с наличием пенообразователя.

Обычно в качестве пенообразователей используются средние члены гомологических рядов, причем анионные ПАВ лучше, чем катионные и неионогенные.

2. Факторы, связанные со свойствами дисперсионной среды.

Дисперсионную среду в пене характеризуют следующими параметрами:

- вязкостью – чем больше вязкость, тем устойчивее пена;
- водородным показателем pH;
- наличием в жидкости низкомолекулярных электролитов.

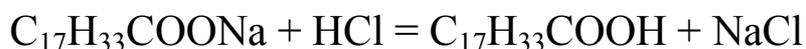
В жесткой воде (т. е. в присутствии большого количества солей) кратность и устойчивость пен невысока.

3. Факторы, связанные с внешними воздействиями:

– температура. Повышение температуры отрицательно влияет на устойчивость пены, т. к. усиливается десорбция молекул пенообразователя; ускоряется испарение жидкости из пленки; понижается вязкость жидкости в пленке;

– механическое воздействие. Механические воздействия отрицательно влияют на устойчивость пены, т. к. происходит механическое разрушение структуры пены; усиливается испарение жидкости из пленки.

Разрушение пен можно вызвать введением *пеногасителей*. Их действие специфично и определяется типом пенообразователя в пене. Все пеногасители можно разделить на две группы. К *первой группе* относятся вещества, вступающие в реакцию с пенообразователем и меняющие его природу. Так, если к пене, стабилизированной олеатом натрия, добавить HCl, то пойдет реакция:



и пенообразователь из сильного электролита ( $C_{17}H_{33}COONa$ ) превратится в слабый ( $C_{17}H_{33}COOH$ ), что значительно уменьшит электростатический фактор устойчивости пены и приведет к разрушению пены.

Ко *второй группе* относятся вещества, обладающие высокой поверхностной активностью, но не способные образовывать прочные адсорбционные пленки. К ним относятся средние гомологи спиртов, например, октиловый спирт, кетоны, полиамиды жирных кислот, пропиленгликоли, сложные эфиры и т. д. Они вытесняют пенообразователи из поверхностного слоя, делают его менее прочным и способствуют разрыву стенок пузырьков пены. Так происходит, например, при добавлении к пене, стабилизированной желатином, ацетона.

**Приборы и реактивы:** мерные цилиндры с притертой пробкой на 50–100 см<sup>3</sup> (4 шт); мерные колбы на 50 см<sup>3</sup> (8 шт); конические колбы на 50 см<sup>3</sup> (8 шт); пипетки на 1, 5, 25 см<sup>3</sup>; секундомер; рН-метр; сталагмометр с резиновой грушей; штатив; растворы пенообразователей (желатин 1 %; олеат натрия 0,02 моль/дм<sup>3</sup>; кокаmidопротил бетаин); раствор Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 моль/дм<sup>3</sup>; раствор HCl 0,1 моль/дм<sup>3</sup>; раствор NaOH 0,1 моль/дм<sup>3</sup>; концентрированный раствор HCl; ацетон.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Опыт 1. Влияние природы ПАВ на устойчивость пены

В цилиндр емкостью 50–100<sup>3</sup> налейте 50 см<sup>3</sup> воды и с помощью пипетки внесите 10 см<sup>3</sup> раствора пенообразователя олеата натрия. Закройте цилиндр пробкой и встряхивайте содержимое в течение 20 секунд. После прекращения встряхивания включите секундомер, сразу отметьте объем содержимого цилиндра ( $V$ ) и объем оставшейся жидкости под слоем пены ( $V_{ост}$ ), и время половинного уменьшения объема пены ( $\tau_{1/2}$ ).

Затем повторите опыт с другими пенообразователями (желатином и кокамидопропил бетаином). Результаты запишите в табл. 6. По полученным данным рассчитайте объем пены ( $V_n = V - V_{ост}$ ) и кратность пены ( $K$ ).

Таблица 6

### Экспериментальные данные и результаты расчета

Пенообразователь	$V$ , см <sup>3</sup>	$V_{ост}$ , см <sup>3</sup>	$V_n$ , см <sup>3</sup>	$\tau_{1/2}$ , с	$K$

### Опыт 2. Зависимость устойчивости пены от концентрации пенообразователя – коллоидного ПАВ

Из исходного раствора олеата натрия ( $C = 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>) в мерных колбах на 50 см<sup>3</sup> путем последовательного разбавления вдвое приготовьте 5 растворов.

В цилиндр емкостью 50–100 см<sup>3</sup> внесите 10 см<sup>3</sup> первого приготовленного раствора олеата натрия, закройте пробкой. Встряхивайте содержимое цилиндра в течение 20 секунд. После прекращения встряхивания включите секундомер, сразу отметьте объем содержимого цилиндра ( $V$ ), объем оставшейся жидкости под слоем пены ( $V_{ост}$ ) и время половинного уменьшения объема пены ( $\tau_{1/2}$ ).

Затем опыт повторите с каждым раствором. Результаты запишите в табл. 7. По полученным данным рассчитайте объем пены ( $V_n = V - V_{ост}$ ) и кратность пены ( $K$ ).

Таблица 7

**Экспериментальные данные и результаты расчета**

№ колбы	Концентрация олеата натрия, моль/дм <sup>3</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>	$V_{ост}$ , см <sup>3</sup>	$V_n$ , см <sup>3</sup>	$\tau_{1/2}$ , с	$K$
1						
---						
5						

По результатам опыта постройте графики:

- 1) зависимость объема пены ( $V_n$ ) от концентрации ПАВ ( $C$ );
- 2) зависимость кратности пены ( $K$ ) от концентрации ПАВ;
- 3) зависимость  $\tau_{1/2}$  от концентрации ПАВ.

Сделайте вывод о влиянии концентрации коллоидного ПАВ на устойчивость пены.

**Опыт 3. Зависимость устойчивости пены от концентрации пенообразователя – полимера**

В соответствии с табл. 8 приготовьте растворы желатина разной концентрации.

Таблица 8

**Экспериментальные данные и результаты расчета**

№ колбы	Объем раствора желатина	Объем H <sub>2</sub> O	$C_{желатина}$ , %	$V$ , см <sup>3</sup>	$V_{ост}$ , см <sup>3</sup>	$V_n$ , см <sup>3</sup>	$\tau_{1/2}$ , с	$K$
1	10	0						
2	7	3						
3	5	5						
4	3	7						
5	1	9						

Опыт проводите аналогично опыту 2, взяв вместо растворов олеата натрия растворы желатина.

Результаты запишите в табл. 8, постройте графики и сделайте выводы о влиянии концентрации полимера на устойчивость пены. Сравните полученные результаты с результатами опыта 2.

#### **Опыт 4. Влияние жесткости воды на устойчивость пены**

В соответствии с табл. 9 приготовьте растворы олеата натрия с различным содержанием соли жесткости – карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с концентрацией  $0,01$  моль/дм<sup>3</sup>.

В цилиндр емкостью  $50\text{--}100$  см<sup>3</sup> перелейте первый приготовленный раствор, закройте пробкой и встряхивайте содержимое цилиндра в течение 20 секунд. После прекращения встряхивания включите секундомер, сразу отметьте объем содержимого цилиндра ( $V$ ), объем оставшейся жидкости под слоем пены ( $V_{ост}$ ), и время половинного уменьшения объема пены ( $\tau_{1/2}$ ).

Таблица 9

#### **Экспериментальные данные и результаты расчета**

№	$V_{\text{олеата натрия}}, \text{см}^3$	$V(\text{Na}_2\text{CO}_3), \text{см}^3$	$V_{\text{ост}}, \text{см}^3$	$V_n, \text{см}^3$	$\tau_{1/2}, \text{с}$	К
1	9	1				
2	8	2				
3	7	3				
4	6	4				
5	5	5				

Затем опыт повторите с каждым раствором. Результаты запишите в таблицу 9. По полученным данным рассчитайте объем пены ( $V_n = V - V_{ост}$ ) и кратность пены ( $K$ ). Сделайте вывод о влиянии жесткости воды на пенообразующую способность.

#### **Опыт 5. Влияние температуры на пенообразующую способность**

В цилиндр емкостью  $50\text{--}100$  см<sup>3</sup> налейте  $25$  см<sup>3</sup> воды комнатной температуры и с помощью пипетки внесите  $5$  см<sup>3</sup> раствора пенообразователя (олеата натрия) той же температуры.

Закройте цилиндр пробкой и встряхивайте содержимое в течение 20 секунд. Отметьте объем содержимого цилиндра ( $V$ ) и объем оставшейся жидкости под слоем пены ( $V_{осм}$ ).

Затем опыт повторите при температурах 15, 30, 40 и 50 °С. Результаты запишите в табл. 10.

По полученным данным рассчитайте объем пены ( $V_n = V - V_{осм}$ ) и кратность пены. Постройте график зависимости  $\tau_{1/2}$  от температуры. Сделайте вывод о влиянии температуры на процесс пенообразования.

Таблица 10

**Экспериментальные данные и результаты расчета**

№ колбы	t, °С	V, см <sup>3</sup>	V <sub>осм</sub> , см <sup>3</sup>	V <sub>n</sub> , см <sup>3</sup>	τ <sub>1/2</sub> , с	К
1						
---						
5						

**Опыт 6. Зависимость пенообразующей способности желатина от pH среды**

В 8 колб вместимостью 50 см<sup>3</sup> внесите по 25 см<sup>3</sup> 1 %-ного раствора желатина. Затем в соответствии с табл. 11 добавьте растворы HCl или NaOH.

Таблица 11

**Экспериментальные данные и результаты расчета**

№ колбы	Объем HCl, см <sup>3</sup>	Объем NaOH, см <sup>3</sup>	pH	V, см <sup>3</sup>	V <sub>осм</sub> , см <sup>3</sup>	V <sub>n</sub> , см <sup>3</sup>	τ <sub>1/2</sub> , с	К
1	2,35	—	3,0					
2	1,69	—	3,5					
3	1,12	—	4,0					
4	0,59	—	4,5					
5	0,32	—	5,1					
6	—	0,15	7,0					
7	—	0,38	9,0					
8	—	1,99	11,0					

Аккуратно перемешайте растворы, не допуская образования пены.

Из первой колбы в цилиндр на 50–100 см<sup>3</sup> внесите 10 см<sup>3</sup>. Закройте пробкой и встряхивайте в течение 20 секунд. После прекращения встряхивания включите секундомер, сразу отметьте объем содержимого цилиндра ( $V$ ), объем оставшейся жидкости под слоем пены ( $V_{осм}$ ) и время половинного уменьшения объема пены ( $\tau_{1/2}$ ).

Затем опыт повторите с каждым раствором. Результаты запишите в табл. 11. По полученным данным рассчитайте объем пены ( $V_n = V - V_{осм}$ ) и кратность пены ( $K$ ).

По результатам эксперимента постройте графики:

- 1) зависимость объема пены от рН раствора;
- 2) зависимость кратности пены от рН раствора;
- 3) зависимость  $\tau_{1/2}$  от рН раствора.

Сделайте вывод о влиянии рН раствора на пенообразующую способность желатина.

### Опыт 7. Разрушение пен с использованием пеногасителей

В два цилиндра объемом 50–100 см<sup>3</sup> внесите 10 см<sup>3</sup> 0,01 моль/дм<sup>3</sup> раствора олеата натрия (или желатина 1 %) и одновременно встряхивайте их в течение 20 секунд. Определите максимальный объем пены ( $V_n$ ). Затем в один цилиндр добавьте 2 капли концентрированной HCl, а во второй – две капли ацетона. Отметьте время, прошедшее от момента добавления пеногасителя до полного разрушения пены ( $\tau$ ). Данные занесите в табл. 12.

Таблица 12

### Экспериментальные данные и результаты расчета

№	Пенообразователь	$V$ , см <sup>3</sup>	$V_{осм}$ , см <sup>3</sup>	$V_n$ , см <sup>3</sup>	Пеногаситель	$\tau$ , с
1	олеат натрия				HCl	
2	олеат натрия				ацетон	
3	желатин				HCl	
4	желатин				ацетон	

Сделайте вывод об эффективности пеногасителей. Объясните механизм разрушения пены концентрированной соляной кислотой и ацетоном.

### **Опыт 8. Измерение поверхностного натяжения растворов ПАВ сталагмометрическим методом**

Для определения пользуются *сталагмометром*, который представляет собой стеклянную трубку с расширением в средней части, заканчивающуюся внизу капилляром. Сталагмометр закрепляют в штативе в вертикальном положении. Сначала опыт проводят с дистиллированной водой, для которой известно поверхностное натяжение ( $\sigma_0$ ) (справочные данные). Через резиновую трубку, надетую на верхний конец сталагмометра, грушей засасывают жидкость выше верхней метки. При вытекании жидкости из сталагмометра, когда ее мениск опустится до верхней метки, начинают считать число капель жидкости до тех пор, пока уровень жидкости не достигнет нижней метки. Опыт повторяют два раза и подсчитывают среднее число капель ( $n_0$ ).

Аналогично определяют число капель ( $n$ ) исследуемого раствора ПАВ. Поверхностное натяжение раствора пенообразователя ( $\sigma$ ) вычисляют по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{n_0}{n} ,$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды;  $\rho$  и  $\rho_0$  – плотности исследуемого раствора и воды, соответственно, (используют справочные значения либо измеряют с помощью ареометра или пикнометра); для разбавленных растворов можно принять, что  $\rho = \rho_0$ .

Определите поверхностное натяжение растворов ПАВ (по указанию преподавателя) с различной концентрацией. Постройте график зависимости поверхностного натяжения от концентрации. Сделайте вывод о зависимости  $\sigma$  от концентрации ПАВ.

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название и цель работы, краткие теоретические положения, описание методики проведения опытов, заполненные таблицы, графики, выводы по работе.

## Лабораторная работа № 6

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ПО ТЕМПЕРАТУРАМ КИПЕНИЯ

### Вопросы и задания для подготовки к работе

1. Дайте определения следующим понятиям:  
*Удельная теплота испарения –*  
*Мольная теплота испарения –*  
*Насыщенный пар –*
2. Сформулируйте условие кипения жидкости. Почему высоко в горах не удастся сварить мясо и даже яйцо вкрутую?
3. Пользуясь справочными данными определите теплоту испарения ртути в интервале 40–90 °С.
4. Мольная теплота испарения воды равна 43,09 кДж/моль. Давление насыщенного водяного пара при температуре 40 °С равно 55,3 мм. рт. ст. При какой температуре давление насыщенного водяного пара повысится до 70 мм. рт. ст.
5. Подробно покажите, как графически можно определить мольную теплоту испарения вещества ( $\Delta H_{\text{исп}}$ ), если известны значения  $P$  насыщенного пара над жидкостью при различных температурах.

**Цель работы:** 1. Определение давления насыщенного водяного пара при различных температурах. 2. Определение мольной и удельной теплоты испарения воды. 3. Расчет теоретического охлаждающего эффекта воды.

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для охлаждения горючих материалов применяются жидкости, обладающие большой теплоемкостью. Для большинства горючих материалов применяется вода.

Попадая в зону горения, на горящее вещество, вода отнимает от горящих материалов и продуктов горения большое количество теплоты. При этом она частично испаряется и превращается в пар, увеличиваясь в объеме в 1700 раз, то есть из 1 л воды получается 1700 л пара; благодаря чему происходит разбавление реагирующих веществ, что само по себе способствует прекращению горения, а также вытеснению воздуха из зоны очага пожара [11].

При объемном тушении вода оказывает охлаждающее действие на зону горения, которое складывается из трех составляющих:

- теплоотвода на нагрев воды до  $T_{\text{кип}}$ ;
- затрат тепла пламени на испарение воды;
- отвода тепла образовавшимся паром, который нагревается до температуры потухания  $T_{\text{пот}}$ .

Таким образом, при объемном тушении теоретический охлаждающий эффект воды  $Q_{\text{охл}}$  [кДж/кг], рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{охл}} = c(T_{\text{кип}} - T_0) + \Delta H_{\text{исп}}^{\text{уд}} + c_p^{\text{пара}} \cdot (T_{\text{пот}} - T_{\text{кип}}), \quad (12)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воды, 4,18 кДж/(кг·К);  $T_{\text{кип}}$  – температура кипения воды, °С;  $T_0$  – начальная температура воды, 20 °С;  $T_{\text{пот}}$  – температура потухания, 1000 °С;  $c_p^{\text{пара}}$  – удельная теплоемкость пара, 2,52 кДж/(кг·К);  $\Delta H_{\text{исп}}^{\text{уд}}$  – удельная теплота испарения воды, кДж/кг.

**Удельная теплота испарения** – это количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг вещества, чтобы перевести его из жидкого состояния в газообразное при постоянной температуре.

Переход вещества из жидкого в газообразное состояние называют **испарением**. Испарение является эндотермическим процессом и происходит со свободной поверхности жидкости при температуре ниже точки ее кипения. При испарении жидкости, находящейся в закрытом сосуде, образуется насыщенный пар, т. е. пар, находящийся в равновесии с жидкостью. Давление насыщенного пара зависит от природы жидкости и температуры.

Применяя к равновесной однокомпонентной системе, состоящей из двух фаз, второй закон термодинамики, можно получить уравнение, связывающее ее параметры: давление  $P$  и температуру  $T$ . Это уравнение называется уравнением Клаузиуса–Клапейрона:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{исп}}{T \cdot (V_{пар} - V_{ж})}, \quad (13)$$

где  $\Delta H_{исп}$  – мольная теплота испарения вещества А;  $V_{ж}$  – объем 1 моля жидкого вещества;  $V_2$  – объем 1 моля насыщенного пара;  $P$  – давление насыщенного пара над жидким веществом;  $T$  – температура, при которой находится система.

Уравнение (13) дает в дифференциальной форме зависимость давления насыщенного пара над жидким веществом от температуры.

Для получения зависимости давления насыщенного пара от температуры в явной форме необходимо уравнение (13) проинтегрировать.

В области невысоких давлений пара (не выше 1–2 атм) и в небольшом температурном интервале ( $\sim 100^\circ$ ) можно считать, что теплота испарения ( $\Delta H_{исп}$ ) не зависит от температуры, а насыщенный пар ведет себя как идеальный газ. Эти допущения позволяют легко получить интегральное уравнение Клаузиуса–Клапейрона (12):

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{исп}}{R} \cdot \frac{1}{T} + B, \quad (14)$$

где  $B$  – константа интегрирования.

Из уравнения (14) следует, что зависимость  $\ln P = f(1/T)$  является линейной функцией ( $y = A \cdot x + B$ ), угловым коэффициентом которой ( $A$ ) определяется теплотой испарения жидкости:

$$A = - \frac{\Delta H_{исп}}{R} \cdot \quad (15)$$

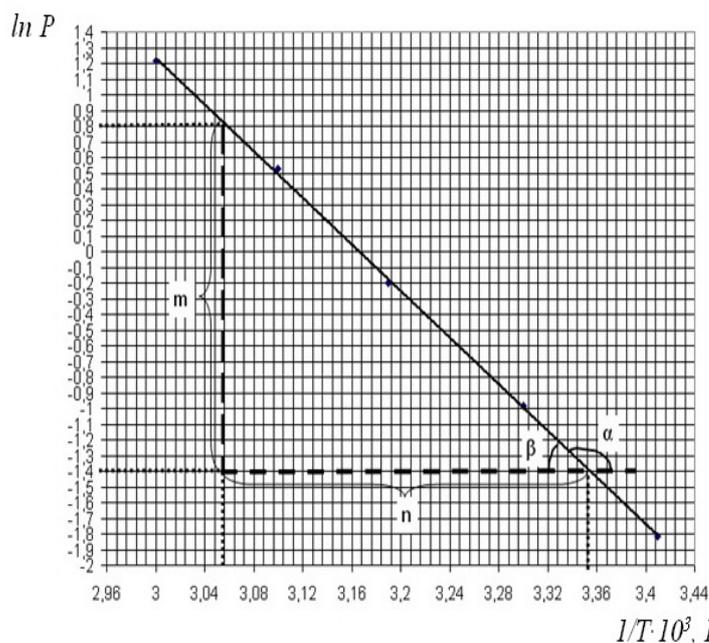
Это дает возможность вычислить мольную теплоту испарения любой жидкости, если известна зависимость давления ее насыщенного пара от температуры. Обычно для этих целей пользуются графическим методом, изображая температурную зависимость давления пара над жидкостью в координатах  $\ln P - \frac{1}{T}$  (рис. 4). Тангенс угла наклона ( $\operatorname{tg} \alpha$ ) полученной прямой линии к оси абсцисс есть угловой коэффициент ( $A$ ) линейной функции. Для обработки полученных экспериментальных данных особенно удобно использовать табличный процессор MS Excel (рис. 4).

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПО ТЕМПЕРАТУРАМ КИПЕНИЯ

Величины давления насыщенного водяного пара очень важны для технологических нужд. Поэтому методы измерения давления пара тщательно разработаны. Различают статические и динамические методы, причем каждая группа включает в свою очередь ряд подгрупп. В данной работе применен **метод определения давления пара по температурам кипения**, основанный на том, что вода закипает, когда давление ее насыщенного пара становится равным внешнему давлению:

$$P_{\text{нас. пара}} = P_{\text{вн}} \quad (16)$$

Поэтому измеряя температуру кипения воды при разных давлениях, получают зависимость давления насыщенных паров от температуры.



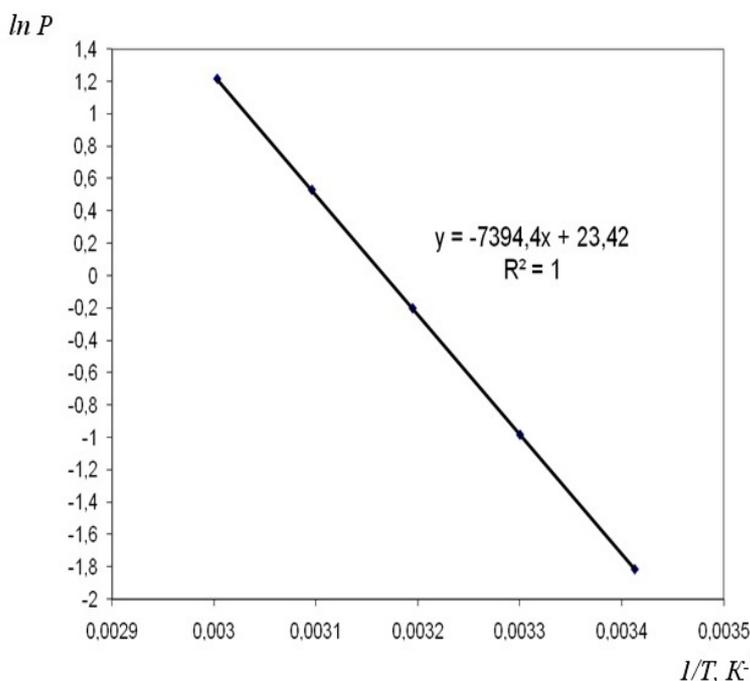
$$\ln P = - \frac{\Delta H_{исп}}{R} \cdot \frac{1}{T} + B$$

$$y = A \cdot x + B$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -\operatorname{tg} \beta = A = - \frac{\Delta H_{исп}}{R}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m}{n} = \frac{0,8 - (-1,4)}{3,35 \cdot 10^{-3} - 3,056 \cdot 10^{-3}} = 7236,8$$

$$\Delta H_{исп} = \operatorname{tg} \beta \cdot R = 7236,8 \cdot 8,31 = 60138 \text{ Дж / моль} = 60,14 \text{ кДж / моль}$$



$$y = -7394,4 \cdot x + 23,503$$

$$y = A \cdot x + B$$

$$A = - \frac{\Delta H_{исп}}{R}$$

$$\Delta H_{исп} = -A \cdot R = -(-7394,4) \cdot 8,31 = 61447 \text{ Дж / моль} = 61,4 \text{ кДж / моль}$$

Рис. 4. Графическое определение мольной теплоты испарения: построение графика на миллиметровой бумаге и построение графика в программе Excel

### Описание установки

Установка для измерения давления насыщенного пара по температурам кипения (рис. 5) состоит из стеклянного сосуда *I*, в который наливается исследуемая жидкость. Над

жидкостью помещен термометр **5**. Для предотвращения неправильного отсчета температуры вследствие перегрева жидкости и облегчения образования новой фазы в сосуд **1** помещают стеклянные капилляры **11**.

Сосуд **1** заключен в стеклянную рубашку **2**, в которую из ультратермостата **3** поступает вода определенной заданной температуры. Для контроля температуры воды на выходе из рубашки **2** поставлен второй термометр **4**. Для надежности измерений необходимо следить, чтобы термометры **4** и **5** показывали одинаковую температуру. Через холодильник, в котором конденсируются пары, образующиеся при кипении исследуемой жидкости, сосуд **1** соединен с манометром **8**, по которому производится отсчет давления, соответствующего данной температуре кипения. Разрежение в системе создается при помощи масляного насоса **6**, который присоединен к ней посредством крана **9**. Краном **7** насос соединен с атмосферой. Для плавного изменения давления в системе во время кипения служит дополнительный буферный сосуд **15**.

Кран **10**, соединяющий систему с атмосферой, следует открывать только при закрытом кране **9**, иначе работающий вакуумный насос сгорит.

Перед началом измерений пускают воду в холодильник при открытом кране **10** и убеждаются в том, что ртуть в обоих коленах манометра **8** находится на одном уровне, после чего закрывают кран **10**. При помощи термостата **3** в сосуде **1** устанавливают температуру, при которой требуется измерить давление насыщенных паров исследуемой жидкости.

Затем включают вакуумный насос и постепенно откачивают воздух из системы, осторожно открывая кран **9**. После того как воздух из системы будет откачен до давления, соответствующего условию кипения (16), исследуемая жидкость закипит. Отмечают показания термометра и высоту уровней ртути в обоих коленах манометра. Отчеты по термометру производят с точностью до 0,5 °С, а по манометру – с точностью до 0,5 мм.рт.ст. Произведя отчет, закрывают кран **9** и соединяют систему с атмосферой поворотом крана **10**. После этого при помощи термостата **3** повышают температуру жидкости в сосуде **1** на 4–10° С и вновь производят измерения.

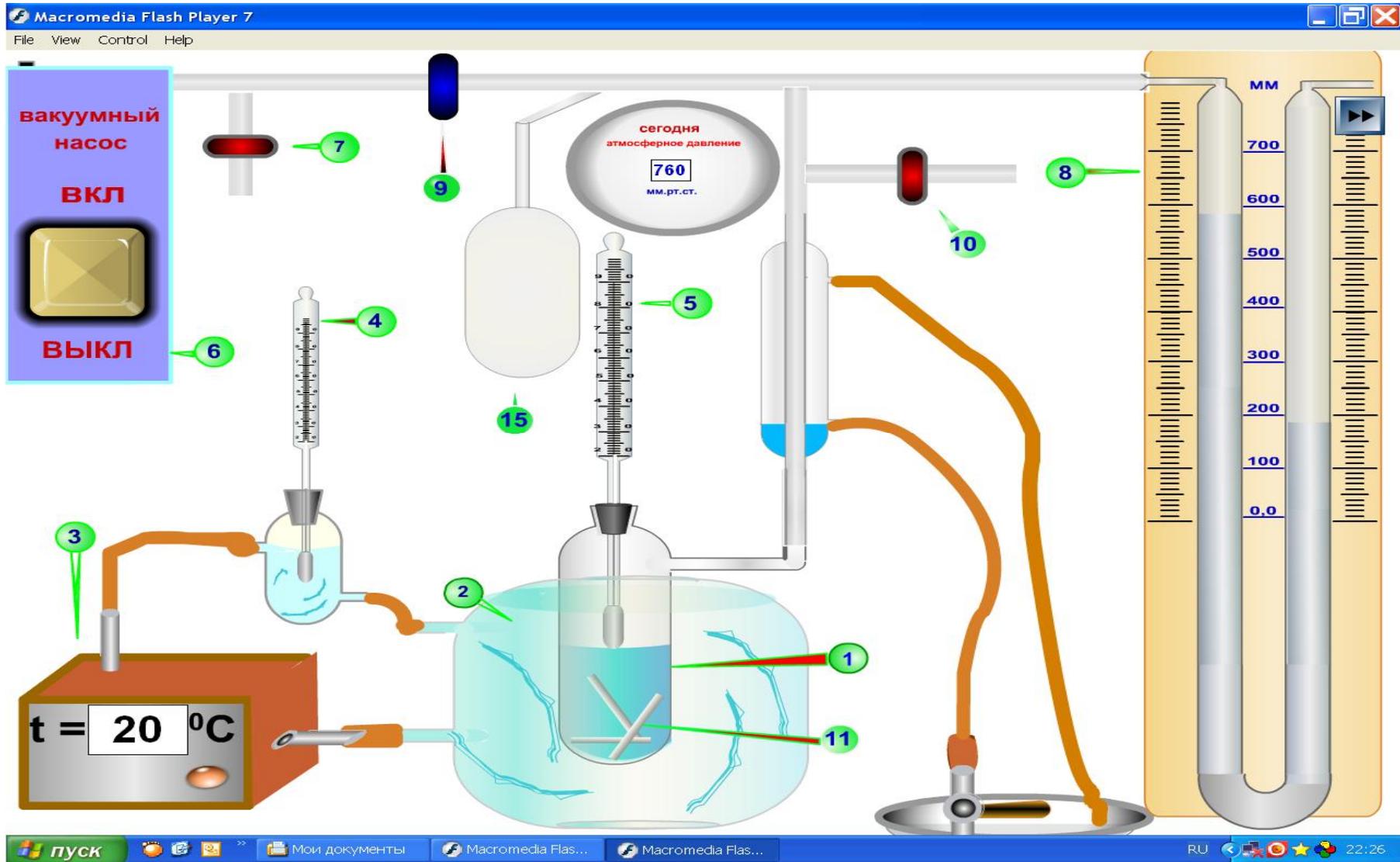


Рис. 5. Установка для определения давления насыщенного пара по температурам кипения

Такие измерения необходимо провести при 6–7 различных температурах, причем нужно строго следить за тем, чтобы исследуемая жидкость не перегрелась и кипела равномерно. В противном случае полезно ввести в исследуемую жидкость свежие капилляры.

Манометр в системе является открытым и разность уровней ртути в нем показывает избыток атмосферного давления над давлением внутри прибора. Поэтому давление, при котором идет кипение исследуемой жидкости, равно разности между атмосферным давлением ( $P_{атм}$ ) и давлением столба ртути ( $\Delta h_{ср}$ ) в манометре:

$$P = P_{атм} - \Delta h_{ср} \quad (17)$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Откройте с помощью Internet Explorer запускной файл.
  2. На титульном листе в графе «**Выполнил**» введите свою фамилию.
  3. Посмотрите и запишите в рабочую тетрадь предложенное Вам задание.
  4. К эксперименту можно приступить щелчком по кнопке .
  5. Есть возможность посмотреть клип, иллюстрирующий условие кипения жидкости.
- Экспериментальная работа состоит из трех этапов.

### Этап 1.

#### **Знакомство с установкой и отработка методики измерения давления в системе при температуре 20 °С с помощью ртутного манометра**

1. Внимательно рассмотрите все составные части лабораторной установки (они обозначены зелеными кнопками). Кнопки активны и являются подсказками.

2. Скопируйте в рабочую тетрадь табл. 13.
3. Запишите в тетрадь величину атмосферного давления в момент проведения Ваших опытов.
4. Запишите температуру жидкости в момент измерений. Температура поддерживается термостатом и по умолчанию равна 20 °С.
5. Пустите воду в холодильник, щелкнув 2 раза мышкой по водопроводному крану. После этого кран откроется, а Вы убедитесь, что холодильник заполнится водой.

*Следует научиться с помощью ртутного манометра измерять давление в системе, при котором жидкость, находящаяся при 20 °С, закипит.*
6. Проследите, чтобы краны **7** и **9** были закрыты.
7. Соедините систему с атмосферой краном **10**, щелкнув по нему мышкой. При этом уровень ртути в обоих коленах манометра **8** сравняется, это значит, что исследуемая жидкость теперь находится под атмосферным давлением. Закройте кран **10**.
8. Включите вакуумный насос, щелкнув по кнопке **«Вкл/Выкл»**.
9. Щелкните 2 раза розовую кнопку в нижней части термостата. Эта кнопка включает устройство, поддерживающее заданную температуру жидкости.
10. Осторожно по инструкции откройте кран **9**:
  - ✓ щелкните мышкой по центру крана **9**, дождитесь пока он полностью повернется (~ 1–2 с.);
  - ✓ после полной остановки крана щелкните по его кончику (на рисунке он более темного цвета) еще раз. Если Вы все сделали правильно, уровень ртути в левом колене поднимется, в правом – опустится.
11. Запишите высоту столба ртути в левом и правом коленах манометра ( $h_{лев}$ ,  $h_{прав}$ ) в таблицу 13.

12. Закройте кран **9**, щелкнув по его кончику.
13. Снова соедините систему с атмосферой краном **10**. При этом уровни ртути в коленах манометра сравняются.
14. Проведите измерение давления над кипящей при 20 °С жидкостью еще раз, повторив операцию 10, чтобы убедиться, что показания манометра воспроизводятся, и ошибки нет. Результаты запишите в табл. 13.

Таблица 13

**Экспериментальные данные**

	Этап		Номера опытов														
	1 <sub>ый</sub>	2 <sub>ой</sub>	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5		№ 6		№ 7		
Атмосферное давление $P_{атм}$ , мм. рт. ст	70																
Температура системы $t$ , °С	20																
№ замера	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
$h_{лев}$ , мм																	
$h_{прав}$ , мм																	
$\Delta h = h_{лев} - h_{прав}$ , мм																	
$\Delta h_{ср}$ , мм																	
Давление в системе $P = P_{атм} - \Delta h_{ср}$ , мм. рт. ст																	

**Этап 2.**

**Выполнение индивидуального задания**

В соответствии с предложенным заданием необходимо провести семь опытов. В каждом опыте определяют давление, при котором начинает кипеть жидкость, нагретая до заданной температуры.

## Опыт № 1

Если вы правильно закончили предыдущий этап, то в Вашей установке вакуумный насос уже включен, вода в холодильник пущена, и система соединена с атмосферой (уровень ртути в коленах манометра одинаков).

Для выполнения опыта необходимо выполнить следующие операции.

1. Нагрейте жидкость до нужной температуры.

Для этого:

- ✓ установите на панели термостата необходимую температуру;
- ✓ щелкните 2 раза розовую кнопку, включающую термостат;
- ✓ убедитесь, что термометры 4 и 5 показывают одинаковую температуру.

2. Измерьте давление насыщенного пара, при котором жидкость начинает кипеть.

Для этого:

- ✓ осторожно по инструкции откройте кран 9 (уровень ртути в левом колене поднимется, в правом – опустится);
- ✓ запишите высоту столба ртути в левом и правом коленах манометра в табл. 13;
- ✓ закройте по инструкции кран 9;
- ✓ соедините систему с атмосферой краном 10 (уровни ртути в манометре сравняются).

3. Проведите измерение давления над кипящей при заданной температурой жидкостью еще раз, повторив операцию 2. Результаты измерений запишите в табл. 13.

## Опыты № 2–7

Выполните аналогично первому, т. е.:

- ✓ установите на панели термостата нужную температуру;
- ✓ откачайте из системы воздух, пока жидкость не закипит;

- ✓ измерьте давление в системе;
- ✓ результаты запишите в табл. 13.

### Этап 3.

#### Регистрация результатов работы

1. После окончания эксперимента внимательно проверьте записи в рабочей тетради. Помните, в случае ошибки – придется начинать все сначала.
2. Нажмите кнопку  и перейдите на новую страницу.
3. Возьмите данные из табл. 13 в рабочей тетради и заполните на экране компьютера таблицу «Результаты работы».
4. Скопируйте страницу с заполненной таблицей кнопкой «Print Screen» в свой отчет.

### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Заполните табл. 13 в рабочей тетради. Для этого нужно:
  - ✓ вычислить для каждого измерения  $\Delta h$  по формуле  $\Delta h = h_{лев} - h_{прав}$ ;
  - ✓ рассчитать для каждого опыта по результатам двух измерений  $\Delta h_{ср}$ ;
  - ✓ определить величину давления над кипящей водой:  $P = P_{атм} - \Delta h_{ср}$ .
2. Рассчитайте значения  $\ln P$  и  $1/T$  и запишите в табл. 14.

*Таблица 14*

#### Данные для вычисления теплоты испарения

t, °C							
P, мм. рт. ст.							
T, К							
1/T, К <sup>-1</sup>							
ln P							

3. Постройте графики зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры в координатах  $P - T$  и  $\ln P - 1/T$ .
4. По уравнению Клаузиуса-Клапейрона определите мольную теплоту испарения воды в заданном интервале температур ( $\Delta H_{исп}$ ). Для вычисления воспользуйтесь графическим методом, как показано на рис. 4.
5. Используя найденное значение  $\Delta H_{исп}$ , рассчитайте удельную теплоту испарения воды по формуле:

$$\Delta H_{исп}^{уд} = \frac{\Delta H_{исп} \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \right] \cdot 1000}{M(\text{H}_2\text{O}) \left[ \frac{\text{г}}{\text{моль}} \right]}, \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right] \quad (18)$$

6. Рассчитайте теоретический охлаждающий эффект воды при объемном тушении  $Q_{охл}$  [кДж/кг] по формуле (12).

**Форма отчета.** Отчет должен содержать название и цель работы, краткие теоретические положения, заполненные таблицы, графики  $P=f(T)$  и  $\ln P=f(1/T)$ , расчет мольной и удельной теплоты испарения исследуемой жидкости, расчет теоретического охлаждающего эффекта воды, выводы.

## РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ

### Расчетное задание № 1

#### Стехиометрические расчеты в процессах горения. Материальный баланс процессов горения

1. Рассчитайте коэффициент горючести приведенных веществ. По найденному коэффициенту горючести определите приближенную температуру вспышки горючего вещества по формуле Элея.

№ вар	Вещество 1	Вещество 2
1	метионин $C_5H_{11}NO_2S$	азотная кислота $HNO_3$
2	глюкоза $C_6H_{12}O_6$	угольная кислота $H_2CO_3$
3	диметилсульфид $CH_3SCH_3$	бензол $C_6H_6$
4	стеариновая кислота $C_{18}H_{36}O_2$	этилен $C_2H_4$
5	мочевина $NH_2CONH_2$	диоксид хлора $ClO_2$
6	аспартам $C_{14}H_{18}N_2O_5$	фосген $COCl_2$
7	дихлорметан $CH_2Cl_2$	уксусная кислота $C_2H_4O_2$
8	нитробензол $C_6H_5NO_2$	сероуглерод $CS_2$
9	дихлорэтилен $C_2H_4Cl_2$	лимонная кислота $C_6H_8O_7$
10	бутилбензол $C_{10}H_{14}$	метан $CH_4$
11	глутамин $C_5H_{10}N_2O_3$	хлорметан $CH_3Cl$
12	винная кислота $H_2C_4H_4O_6$	сернистая кислота $H_2SO_3$
13	аспарагин $C_4H_8N_2O_3$	хлорметан $CH_3Cl$
14	диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	толуол $C_7H_8$
15	формаимд $HCONH_2$	хлористая кислота $HClO_2$
16	хинин $C_{20}H_{24}O_2N_2$	серная кислота $H_2SO_4$
17	нитрат аммония $NH_4NO_3$	антрацен $C_{14}H_{10}$
18	глицин $C_2H_5NO_2$	циклогексан $C_6H_{12}$
19	фенол $C_6H_5OH$	кетен $CH_2CO$
20	бутиловый спирт $C_4H_9OH$	ацетилен $C_2H_2$

2. Составьте материальный баланс процесса горения данного вещества в кислороде. Какое число молей кислорода необходимо для полного сгорания 1 моль исходного веществ-

ва. Какой практический объем кислорода необходим для полного сгорания вещества массой  $m$ , при заданной температуре  $T$  и давлении  $P$ ?

№ вар	Вещество	Масса $m$ , кг	$T$ , °C	$P$ , атм	$\alpha$
1	фенол $C_6H_5OH$	10	20	1,3	1,0
2	толуол $C_7H_8$	3	13	1,2	1,4
3	ацетилен $C_2H_2$	1	11	1,2	1,2
4	бензол $C_6H_6$	6	16	1,3	1,1
5	метан $CH_4$	4	14	1,2	1,0
6	2 нитробензол $C_6H_5NO_2$	2	12	1,2	1,3
7	этанол $C_2H_5OH$	5	15	1,2	1,2
8	диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	7	17	1,3	1,4
9	бромэтан $C_2H_5Br$	20	12	1,1	1,1
10	пентанол $C_5H_{11}OH$	9	19	1,3	1,3
11	хлорид аммония $NH_4Cl$	19	11	1,1	1,5
12	формальдегид $CH_2O$	16	8	1,1	1,0
13	дихлорэтилен $C_2H_4Cl_2$	17	9	1,1	1,2
14	бутан $C_4H_{10}$	8	18	1,3	1,3
15	винилхлорид $C_2H_3Cl$	18	10	1,1	1,1
16	этиловый эфир уксусной кислоты $C_4H_8O_2$	13	23	1,4	1,1
17	этилен $C_2H_4$	12	22	1,4	1,3
18	метанол $CH_3OH$	15	25	1,4	1,2
19	бутилен $C_4H_8$	14	24	1,4	1,3
20	ксилол $C_8H_{10}$	11	21	1,4	1,1

- Используя данные задачи 2, определите, какой объем воздуха необходим для полного сгорания  $m$  кг вещества при заданной температуре и давлении кПа, если горение протекало с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ .
- Учитывая, что горение протекает при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ , определите объем воздуха, необходимого для полного сгорания  $x$  ( $m^3$ ) данной горючей газовой смеси определенного состава.

№ вар	Газовая смесь	Состав газовой смеси, %	$x, \text{ м}^3$	$\alpha$
1	Доменный газ	оксид углерода (II) CO – 27 %, водород $\text{H}_2$ – 3 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 13 %, метан $\text{CH}_4$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 56 %	15	1,2
2	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 3 %, водород $\text{H}_2$ – 50 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 10 %, метан $\text{CH}_4$ – 5 %, азот $\text{N}_2$ – 6 %	20	1,1
3	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 35 %, водород $\text{H}_2$ – 40 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 5 %, метан $\text{CH}_4$ – 14 %, азот $\text{N}_2$ – 6 %	100	1,2
4	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 40 %, водород $\text{H}_2$ – 50 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 4 %, метан $\text{CH}_4$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 5 %	60	1,3
5	Природный газ	водород $\text{H}_2$ – 4 %, метан $\text{CH}_4$ – 86 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 2 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 4 %, бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 4 %	80	1,4
6	Природный газ	метан $\text{CH}_4$ – 90 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 1 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 5 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 4 %	90	1,4
7	Светильный газ	оксид углерода (II) CO – 10 %, водород $\text{H}_2$ – 50 %, метан $\text{CH}_4$ – 30 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 3 %, кислород $\text{O}_2$ – 2 %, азот $\text{N}_2$ – 5 %	85	1,5
8	Светильный газ	оксид углерода (II) CO – 20 %, водород $\text{H}_2$ – 50 %, метан $\text{CH}_4$ – 23 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 3 %, азот $\text{N}_2$ – 2 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 2 %	35	1,0
9	Коксовый газ	оксид углерода (II) CO – 7 %, водород $\text{H}_2$ – 57 %, метан $\text{CH}_4$ – 22 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 2 %, азот $\text{N}_2$ – 8 %, вода $\text{H}_2\text{O}$ – 4 %	45	1,1
10	Саратовский природный газ	метан $\text{CH}_4$ – 92 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 8 %	50	1,1
11	Ухтинский природный газ	метан $\text{CH}_4$ – 88 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 4 %, азот $\text{N}_2$ – 5 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 2 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 1 %, бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 1 %	65	1,2

№ вар	Газовая смесь	Состав газовой смеси, %	$x, \text{ м}^3$	$\alpha$
12	Дашавский природный газ	метан $\text{CH}_4$ – 98 %, азот $\text{N}_2$ – 1 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 1 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 1%	85	1,2
13	Попутный нефтяной газ	метан $\text{CH}_4$ – 42 %, азот $\text{N}_2$ – 8 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 20 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 20 %, бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 10 %	70	1,4
14	Шебелинский природный газ	метан $\text{CH}_4$ – 92 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 2 %, азот $\text{N}_2$ – 2 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 3 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 2 %, бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 1 %	75	1,5
15	Генераторный газ	оксид углерода (II) $\text{CO}$ – 30 %, водород $\text{H}_2$ – 15 %, метан $\text{CH}_4$ – 5 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 10 %, азот $\text{N}_2$ – 40 %	55	1,3
16	Воздушный газ	оксид углерода (II) $\text{CO}$ – 33 %, водород $\text{H}_2$ – 10 %, метан $\text{CH}_4$ – 1 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 55 %	40	1,3
17	Бухарский газ	метан $\text{CH}_4$ – 95 %, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 1 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 4 %	30	1,0
18	Сжиженный газ	метан $\text{CH}_4$ – 4 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 4 %, пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 79 %, бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 11 %	25	1,1
19	Биогаз	водород $\text{H}_2$ – 1 %, метан $\text{CH}_4$ – 70%, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 28 %, азот $\text{N}_2$ – 1 %, сероводород $\text{H}_2\text{S}$ – 1 %	95	1,6
20	Коксовый очищенный газ	оксид углерода (II) $\text{CO}$ – 7 %, водород $\text{H}_2$ – 58 %, метан $\text{CH}_4$ – 22%, углекислый газ $\text{CO}_2$ – 2 %, кислород $\text{O}_2$ – 1 %, азот $\text{N}_2$ – 8 %, этан $\text{C}_2\text{H}_6$ – 2 %, сероводород $\text{H}_2\text{S}$ – 1 %	110	1,3

5. Определите объем воздуха, необходимого для полного сгорания заданной массы вещества ( $m$ ) сложного элементного состава при нормальных условиях и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ .

№ вар	Вещество	Масса, кг	$\alpha$	Состав вещества, %						
				С	Н	О	N	S	Влага	Зола
1	Каменный уголь	6	1,4	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8	2,8	8,2
2	Мазут	8	1,3	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3	-	
3	Древесина	7	1,2	46,0	6,0	42,0	-	-	6,0	-
4	Торф	9	1,5	36,0	4,0	12,0	8,0	-	35,0	5,0
5	Нефть	10	1,4	84,0	14,0	-	1,0	1,0	-	-
6	Каменный уголь	5	1,3	79,4	5,3	10,3	-	2,82	-	2,18
7	Керосин	6	1,2	85,28	14,12	0,6	-	-	-	-
8	Древесина	7	1,4	41,5	6,0	43,0	2,0	-	7,5	-
9	Полуантрацит	8	1,2	90,4	4,3	4,3	-	1,0	-	-
10	Торф	9	1,0	43,0	7,0	41,0	2,0	-	7,0	-
11	Каменный уголь	10	1,1	76,0	4,5	3,5	1,8	4,7	3,0	6,5
12	Мазут	11	1,2	83,4	10,0	0,1	0,3	2,9	3,0	0,3
13	Уголь	12	1,3	75,0	4,0	6,0	3,0	2,0	4,0	6,0
14	Сланец	4	1,4	38,8	3,2	4,0	0,1	1,5	15,0	37,4
15	Уголь	3	1,5	37,2	2,6	12,0	0,4	0,6	40,0	7,2
16	Бензин	2	1,6	85,0	14,9	0,02	0,03	0,15	-	-
17	Уголь	1	1,7	29,1	2,2	8,7	0,6	2,9	33,0	23,5
18	Березовский уголь	5	1,2	44,3	3,0	14,4	0,4	0,2	33,0	4,7
19	Мазут малосернистый	6	1,3	85,8	8,7	0,4	0,4	0,7	3,8	0,2
20	Мазут высокосернистый	7	1,4	83,7	11,5	0,5	-	4,0	-	0,3

6. Определите объем и состав (в объемных процентах) продуктов горения, образовавшихся при сгорании заданной массы вещества  $m$  при данных температуре  $T$  и давлении  $P$ . Горение протекает с избытком воздуха  $\alpha$ .

№ вар	Вещество	$m$ , кг	$T$ , °C	$P$ , мм.рт.ст.	$\alpha$
1	Ацетилен $C_2H_6$	1	10	750	1,0
2	Нитробензол $C_6H_5NO_2$	2	11	760	1,1
3	Толуол $C_7H_8$	3	12	755	1,2
4	Метан $CH_4$	4	13	765	1,3
5	Этанол $C_2H_5OH$	5	14	740	1,4
6	Бензол $C_6H_6$	6	15	745	1,5
7	Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	7	16	770	1,0
8	Бутан $C_4H_{10}$	8	17	775	1,1
9	Пентанол $C_5H_{11}OH$	9	18	780	1,2
10	Фенол $C_6H_5OH$	10	19	785	1,3
11	Ксилол $C_8H_{10}$	11	20	790	1,4
12	Этилен $C_2H_4$	12	21	760	1,5
13	Этиловый эфир уксусной кислоты $C_4H_8O_2$	13	22	765	1,0
4	Бутилен $C_4H_8$	14	23	770	1,1
15	Метанол $C_4H_8OH$	15	24	745	1,2
16	Формальдегид $CH_2O$	16	25	750	1,3
17	Дихлорэтилен $C_2H_4Cl_2$	17	26	755	1,4
18	Винилхлорид $C_2H_3Cl$	18	15	775	1,5
19	Хлорид аммония $NH_4Cl$	19	16	780	1,6
20	Бромэтан $C_2H_5Br$	20	17	785	1,0

7. Горение газовой смеси известного состава протекает с избытком воздуха  $\alpha$ . Определите объем и состав продуктов горения  $x$  ( $m^3$ ).

№ вар	Газовая смесь	Состав газовой смеси, %	$x$ (м <sup>3</sup> )	$\alpha$
1	Коксовый очищенный газ	оксид углерода (II) CO – 7 %, водород H <sub>2</sub> – 58 %, метан CH <sub>4</sub> – 23 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 3 %, кислород O <sub>2</sub> – 1 %, азот N <sub>2</sub> – 8 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 2 %, сероуглерод H <sub>2</sub> S – 1 %	11	1,1
2	Биогаз	водород H <sub>2</sub> – 1 %, метан CH <sub>4</sub> – 70 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 28 %, азот N <sub>2</sub> – 1 %, сероуглерод H <sub>2</sub> S – 1 %	12	1,2
3	Сжиженный газ	метан CH <sub>4</sub> – 4 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 6 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 79 %, бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – 11 %	13	1,3
4	Бухарский газ	метан CH <sub>4</sub> – 95 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 1 %, азот N <sub>2</sub> – 1 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 4 %	14	1,4
5	Воздушный газ	оксид углерода (II) CO – 34 %, водород H <sub>2</sub> – 10 %, метан CH <sub>4</sub> – 1 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 1 %, азот N <sub>2</sub> – 56 %	15	1,5
6	Генераторный газ	оксид углерода (II) CO – 30 %, водород H <sub>2</sub> – 15 %, метан CH <sub>4</sub> – 5 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 10 %, азот N <sub>2</sub> – 40 %	16	1,4
7	Шебелинский природный газ	метан CH <sub>4</sub> – 92 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 2 %, азот N <sub>2</sub> – 3 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 3 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 2 %, бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – 1 %	17	1,3
8	Попутный нефтяной газ	метан CH <sub>4</sub> – 42 %, азот N <sub>2</sub> – 8 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 20 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 20 %, бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – 10 %	18	1,2
9	Дашавский природный газ	метан CH <sub>4</sub> – 98 %, азот N <sub>2</sub> – 2 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 1 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 1 %	19	1,1
10	Ухтинский природный газ	метан CH <sub>4</sub> – 89 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 5 %, азот N <sub>2</sub> – 5 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 2 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 1 %, бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – 1 %	20	1,2
11	Саратовский природный газ	метан CH <sub>4</sub> – 93 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 8 %	21	1,3

12	Коксовый газ	оксид углерода (II) CO – 7 %, водород H <sub>2</sub> – 57 %, метан CH <sub>4</sub> – 23 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 3 %, азот N <sub>2</sub> – 8 %, вода H <sub>2</sub> O – 4 %	22	1,4
13	Светильный газ	оксид углерода (II) CO – 20 %, водород H <sub>2</sub> – 50 %, метан CH <sub>4</sub> – 23 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 3 %, азот N <sub>2</sub> – 2 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 2 %	23	1,5
14	Светильный газ	оксид углерода (II) CO – 10 %, водород H <sub>2</sub> – 50 %, метан CH <sub>4</sub> – 30 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 3 %, кислород O <sub>2</sub> – 2 %, азот N <sub>2</sub> – 5 %	24	1,4
15	Природный газ	метан CH <sub>4</sub> – 90 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 0,5 %, азот N <sub>2</sub> – 1 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 6 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 4 %	25	1,3
16	Природный газ	водород H <sub>2</sub> – 4 %, метан CH <sub>4</sub> – 86 %, этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – 2 %, пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 4 %, бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – 4 %	26	1,2
17	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 40 %, водород H <sub>2</sub> – 50 %, метан CH <sub>4</sub> – 1 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 5 %, азот N <sub>2</sub> – 5 %	27	1,1
18	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 35 %, водород H <sub>2</sub> – 40 %, метан CH <sub>4</sub> – 14 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 5 %, азот N <sub>2</sub> – 6 %	28	1,2
19	Водяной газ	оксид углерода (II) CO – 4 %, водород H <sub>2</sub> – 49 %, метан CH <sub>4</sub> – 5 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 10 %, азот N <sub>2</sub> – 5,5 %	29	1,3
20	Доменный газ	оксид углерода (II) CO – 28 %, водород H <sub>2</sub> – 3 %, метан CH <sub>4</sub> – 1 %, углекислый газ CO <sub>2</sub> – 13 %, азот N <sub>2</sub> – 57 %	30	1,4

**8. Определите объем и процентный состав продуктов горения заданной массы вещества известного состава, при избытке воздуха и нормальных условиях.**

№ вар	Вещество	m, кг	α	Состав вещества, %						
				С	Н	О	N	S	Вла- га	Зола
1	Мазут высокосер- нистый	2	1,1	83,7	11,5	0,5	3,0	4,0	23,0	0,3
2	Мазут малосерни- стый	3	1,2	85,8	8,7	0,4	0,4	0,7	3,8	0,2
3	Березовс- кий уголь	4	1,3	44,3	3,0	14,4	0,4	0,2	33,0	4,7
4	Уголь	5	1,4	29,1	2,2	8,7	0,6	2,9	33,0	23,5
5	Бензин	6	1,5	85,0	14,9	0,02	0,03	0,15	1,2	0,3
6	Уголь	7	1,1	37,2	2,6	12,0	0,4	0,6	40,0	7,2
7	Сланец	8	1,2	38,8	3,2	4,0	0,1	1,5	15,0	37,4
8	Уголь	9	1,3	75,0	4,0	6,0	3,0	2,0	4,0	6,0
9	Мазут	10	1,4	83,4	10,0	0,1	0,3	2,9	3,0	0,3
10	Каменный уголь	11	1,5	76,0	4,5	3,5	1,8	4,7	3,0	6,5
11	Торф	2	1,1	43,0	7,0	41,0	2,0	3,3	7,0	11,5
12	Полуантра- цит	3	1,2	90,4	4,3	4,3	0,2	1,0	0,5	1,0
13	Древесина	4	1,3	41,5	6,0	43,0	2,0	1,5	7,5	8,3
14	Керосин	5	1,4	85,28	14,12	0,6	3,0	2,0	11,3	4,0
15	Каменный уголь	6	1,5	79,4	5,3	10,3	0,7	2,82	21,3	2,18
16	Нефть	7	1,1	84,0	14,0	13,0	1,0	1,0	18,3	4,5
17	Торф	8	1,2	36,0	4,0	12,0	8,0	0,7	35,0	5,0
18	Древесина	9	1,3	46,0	6,0	42,0	3,7	1,6	6,0	3,8
19	Мазут	10	1,4	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
20	Каменный уголь	11	1,5	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8	2,8	8,2

## Расчетное задание № 2

### Тепловой баланс процессов горения

1. На основании термодинамических расчетов определите низшую теплоту горения 1 моль заданного вещества и выразите полученную величину в кДж/кг; кДж/м<sup>3</sup>.

№ вар	Вещество
1	Нитробензол – $C_6H_5NO_2$
2	Анилин – $C_6H_5NH_2$
3	Пентан – $C_5H_{12}$
4	Глицерин – $C_3H_8O_3$
5	Ацетон – $CH_3COCH_3$
6	Этаналь – $CH_3COH$
7	Метаналь – $HCOH$
8	Изопропиловый спирт – $C_3H_8O$
9	Пропиловый спирт – $C_3H_7OH$
10	Этиловый спирт – $C_2H_5OH$
11	Метиловый спирт – $CH_3OH$
12	Толуол – $C_7H_8$
13	Бензол – $C_6H_6$
14	Пропен – $C_3H_6$
15	Этилен – $C_2H_4$
16	Ацетилен – $C_2H_2$
17	Циклогексан – $C_6H_{12}$
18	Октан – $C_8H_{18}$
19	Гептан – $C_7H_{16}$
20	Гексан – $C_6H_{14}$

2. По формуле Д.И. Менделеева вычислите низшую и высшую теплоты сгорания заданного вещества.

№ вар	Вещество
1	Ацетат аммония – $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$
2	Метионин – $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2\text{S}$
3	Анилин – $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$
4	Диметилфосфат – $(\text{CH}_3)_2\text{HPO}_4$
5	Пентанол – $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$
6	Глицин – $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$
7	Хинин – $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_2\text{N}_2$
8	Этиленгликоль – $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$
9	Хлоруксусная кислота – $\text{CH}_2\text{ClCOOH}$
10	Сульфаниловая кислота – $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$
11	Мочевина – $\text{NH}_2\text{CONH}_2$
12	Аспартам – $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$
13	Глутамин – $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_3$
14	Бензойная кислота – $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$
15	Пропен – $\text{CH}_3\text{CHCH}_2$
16	Винная кислота – $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$
17	Никотиновая кислота – $\text{C}_5\text{H}_4\text{NCOOH}$
18	Пропанол-1 – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
19	Нитробензол – $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$
20	Бромэтан – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$

3. Используя данные таблицы: «Термодинамические свойства простых веществ, соединений и ионов в водных растворах», вычислите константу равновесия  $K^\circ$  реакции горения, протекающей при температуре 298 К в газовой фазе. Сделайте вывод о направлении протекания реакции в данной системе при стандартных условиях. Определите, как изменится выход продуктов горения при увеличении температуры горючей смеси до 400К. Каким образом следует изменить условия (температуру, давление, концен-

трацию реагентов), чтобы уменьшить выход продуктов реакции?

№ вар	Уравнение реакции
1	$2\text{HCl} + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$
2	$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$
3	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$
4	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$
5	$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
6	$\text{S}_{(\text{ромб})} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$
7	$2\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
8	$\text{C}_4\text{H}_{10} + 3\text{O}_2 = 3\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$
9	$\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{C}_{(\text{ТВ})} + 2\text{H}_2\text{O}$
10	$\text{CH}_4 + 3/2 \text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$
11	$\text{C}_8\text{H}_{18} + 12,5\text{O}_2 = 8\text{CO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$
12	$\text{C}_{(\text{ТВ})} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$
13	$2\text{C}_{(\text{ТВ})} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$
14	$2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
15	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$
16	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5_{(\text{ж})} + 6\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$
17	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3_{(\text{ж})} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
18	$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
19	$4\text{P}_{(\text{ТВ})} + 5\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5$
20	$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

4. Вычислите действительную температуру горения сложного вещества с известным элементным составом при нормальных условиях, если потери тепла излучением составили **20 %**, а коэффициент избытка воздуха равен **1,2**.

№ вар	Вещество	Состав, %						
		С	Н	О	Н	С	влага	зола
1	Уголь	75,0	4,0	6,0	3,0	2,0	4,0	6,0
2	Бензин	85,0	14,9	0,02	0,03	0,15	0,5	0,01
3	Нефть	84,0	14,0	0,5	1,0	1,0	0,8	0,7
4	Древесина	41,5	6,0	43,0	2,0	1,0	7,5	11,3

5	Каменный уголь	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8	2,8	8,2
6	Мазут	83,7	11,5	0,5	0,8	4,0	1,0	0,3
7	Полуантрацит	90,4	4,3	4,3	1,0	1,0	0,8	0,2
8	Березовский уголь	44,3	3,0	14,4	0,4	0,2	33,0	4,7
9	Мазут	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3	0,2	1,0
10	Сланец	38,8	3,2	4,0	0,1	1,5	15,0	37,4
11	Уголь	29,1	2,2	8,7	0,6	2,9	33,0	23,5
12	Древесина	46,0	6,0	42,0	10,0	1,0	6,0	12,0
13	Керосин	85,3	14,1	0,6	0,3	0,8	1,0	1,0
14	Каменный уголь	79,4	5,3	10,3	1,0	2,8	1,0	2,2
15	Торф	43,0	7,0	41,0	2,0	1,0	7,0	7,0
16	Мазут	85,8	8,7	0,4	0,4	0,7	3,8	0,2
17	Уголь	37,2	2,6	12,0	0,4	0,6	40,0	7,2
18	Торф	36,0	4,0	12,0	8,0	1,0	35,0	5,0
19	Каменный уголь	76,0	4,5	3,5	1,8	4,7	3,0	6,5
20	Мазут	83,4	10,0	0,1	0,3	2,9	3,0	0,3

### Расчетное задание № 3

#### **Основы кинетики процессов горения. Определение динамических характеристик процесса**

1. Считая, что горение вещества происходит в кислороде (в газовой фазе), определите, во сколько раз изменится скорость реакции, если:
  - 1) общее давление в системе увеличить в 3 раза;
  - 2) концентрацию кислорода снизить в 2 раза;
  - 3) концентрацию горючего вещества увеличить в 2 раза.

№ варианта	Вещество
1	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
2	Пропен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
3	Метаналь HCHO
4	Бутен C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>
5	Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
6	Уксусная кислота CH <sub>3</sub> COOH
7	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
8	Этилацетат CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
9	Этиленгликоль C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
10	Толуол C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
11	Диэтиловый эфир C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
12	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
13	Стирол C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>
14	Бутанол C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
15	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
16	Этилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
17	Этанол C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
18	Метанол CH <sub>4</sub> O
19	Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
20	Пропаналь C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O

2. Константа скорости реакции № ... при температуре  $T_1$  равна  $k_1$ . Энергия активации реакции равна  $E_A$  кДж/моль. Определите константу скорости реакции при температуре  $T_2$ .

№	Уравнение реакции	Реакция первого порядка			
		$T_1, K$	$k_1, \text{мин}^{-1}$	$\frac{E_A, \text{кДж}}{\text{моль}}$	$T_2, K$
1	$C_2H_5Br = C_2H_4 + HBr$	298	0,316	218,0	373
2	$2N_2O_5 = 4NO_2 + O_2$	300	$5 \cdot 10^{-2}$	54,4	410
3	$N_2O_5 = N_2O_4 + \frac{1}{2} O_2$	520	0,446	103,5	310
4	$C_2H_5Cl = C_2H_4 + HCl$	422	$10^{-2}$	247,5	690
5	$CCl_4 = CCl_3 + Cl$	540	1,140	356,2	300
6	$C_2H_6 = 2CH_3$	373	$3 \cdot 10^{-2}$	297,2	400
7	$CCl_3CH_3 = C_2H_2Cl_2 + HCl$	478	0,113	354	290
8	$C_2H_5Br = C_2H_4 + HBr$	298	0,316	218,0	373
9	$C_2H_5Cl = C_2H_4 + HCl$	422	$10^{-2}$	247,5	690
10	$CCl_4 = CCl_3 + Cl$	540	1,140	356,2	300

№	Уравнение реакции	Реакция второго порядка			
		$T_1, \text{ К}$	$k_1, \frac{\text{дм}^3}{\text{моль} \cdot \text{мин}}$	$E_A, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$T_2, \text{ К}$
11	$2\text{C}_2\text{H}_5 = \text{C}_4\text{H}_{10}$	510	0,571	8,4	430
12	$\text{C}_4\text{H}_8 + \text{HBr} = \text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$	731	2,310	94,2	298
13	$\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 = \text{C}_2\text{H}_6$	392	1,150	180,5	450
14	$\text{CH}_3 + \text{C}_2\text{H}_4 = \text{C}_3\text{H}_7$	298	0,981	29,3	390
15	$\text{Br} + \text{CH}_4 = \text{HBr} + \text{CH}_3$	473	0,315	76,6	610
16	$\text{NO} + \text{Cl}_2 = 2\text{NOCl}$	373	2,130	85,0	430
17	$\text{Br} + \text{C}_6\text{H}_6 = \text{HBr} + \text{C}_2\text{H}_5$	690	3,710	58,2	340
18	$2\text{C}_2\text{H}_5 = \text{C}_4\text{H}_{10}$	510	0,571	8,4	430
19	$\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 = \text{C}_2\text{H}_6$	392	1,150	180,5	450
20	$\text{NO} + \text{Cl}_2 = 2\text{NOCl}$	373	2,130	85,0	430

3. При температуре  $T$  константа скорости реакции равна  $k$ . Начальные концентрации реагентов равны  $c_0$  моль/дм<sup>3</sup>. Определите:

- концентрацию вещества А через время  $t$  после начала реакции;
- время, в течение которого начальная концентрация  $c_0$  вещества А уменьшится в  $X$  раз;

Данные к задаче 3 расчетного задания № 3

№ вар	Уравнение реакции	T, К	k, мин <sup>-1</sup>	c <sub>0</sub> , моль/дм <sup>3</sup>	Вещество А	t, сек	X, раз
1	CH <sub>3</sub> COH = C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	455	11,1	3,10	CH <sub>3</sub> COH	120	8
2	2N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 4NO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	730	5·10 <sup>-2</sup>	0,03	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	120	3
3	COCl <sub>2</sub> = CO + Cl <sub>2</sub>	552	2,7·10 <sup>-3</sup>	2,50	COCl <sub>2</sub>	7200	5
4	CH <sub>3</sub> COH = C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	455	11,3	3,10	CH <sub>3</sub> COH	500	8
5	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	323	0,069	0,353	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl	300	5
6	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	300	0,07	0,353	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl	600	4
7	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl + HCl	298	0,01	0,901	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	7200	5
8	2N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 4NO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	730	5·10 <sup>-2</sup>	0,03	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	120	3
9	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl = C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	323	0,069	0,353	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> Cl	300	5
10	CH <sub>3</sub> COH = C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	455	11,1	3,10	CH <sub>3</sub> COH	120	8
Реакция II порядка, n = 2							
11	2NO + H <sub>2</sub> = N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	450	0,01	3,60	H <sub>2</sub>	300	7
12	H <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> = C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	340	10 <sup>-3</sup>	0,51	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7200	6
13	Na + CH <sub>3</sub> Cl = NaCl + CH <sub>3</sub>	405	10 <sup>-2</sup>	0,90	CH <sub>3</sub> Cl	3600	7
14	2SO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> = 2SO <sub>3</sub>	760	0,135	2,30	SO <sub>2</sub>	3600	3
15	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> + NaOH = CH <sub>3</sub> COONa + C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	600	0,72	6,40	NaOH	30	10
16	H <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> = C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	340	10 <sup>-3</sup>	5,00	H <sub>2</sub>	300	5
17	N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> = 2NO	1251	10 <sup>-2</sup>	0,84	N <sub>2</sub>	20	3
18	Na + CH <sub>3</sub> Cl = NaCl + CH <sub>3</sub>	405	10 <sup>-2</sup>	0,90	CH <sub>3</sub> Cl	3600	7
19	2NO + H <sub>2</sub> = N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	450	0,01	3,60	H <sub>2</sub>	300	7
20	2SO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> = 2SO <sub>3</sub>	760	0,135	2,30	SO <sub>2</sub>	3600	3

4. При температуре  $T_1$  деревянный брусок сгорает за  $\tau$  минут. Через какое время он сгорит при увеличении температуры до  $T_2$ , если температурный коэффициент равен  $\gamma$ .

№ вар	Температура $T_1, ^\circ\text{C}$	Время $\tau$ , мин	Температура $T_2, ^\circ\text{C}$	$\gamma$
1	25	20	50	2,0
2	23	50	43	3,1
3	25	70	40	3,9
4	24	40	54	3,6
5	25	50	40	2,4
6	23	80	43	3,0
7	24	20	54	2,15
8	25	40	50	2,8
9	27	70	57	2,65
10	25	30	55	3,2
11	23	50	53	4,0
12	24	20	44	2,25
13	26	80	46	3,5
14	25	70	50	2,1
15	27	30	57	2,75
16	26	60	66	3,3
17	23	20	53	2,5
18	24	50	44	3,8
19	22	30	52	2,35
20	24	80	44	2,2

5. В закрытом сосуде вместимостью  $V \text{ м}^3$  находится  $n_{\Gamma}$  моль углеводородного соединения и  $n_{\text{K}}$  моль кислорода. В результате реакции сгорания установилось химическое равновесие, а в сосуде образовались газообразные продукты сгорания с общим давлением  $P$  и температурой  $T$ . Вычислить равновесные концентрации всех реагентов газовой смеси при температуре  $298 \text{ K}$ , если система подчиняется законам идеального газа. Определить константы равновесия по давлениям и концентрациям. Чему равны парциальные давления газов в равновесной смеси?

№ вар	Исходное горючее вещество в газовой фазе	Химическая формула	Количество горючего $n_r$ , моль	Количество кислорода $n_k$ , моль
1	Ацетилен	$C_2H_2$	1	25
2	1,3-Бутадиен	$C_4H_6$	2	24
3	<i>n</i> -Бутан	$C_4H_{10}$	3	23
4	1-Бутен	$C_4H_8$	4	22
5	Гептан	$C_7H_{16}$	5	21
6	Декан	$C_{10}H_{22}$	6	20
7	Дивиниловый эфир	$C_4H_6O$	7	19
8	Изобутан	$C_4H_{10}$	8	18
9	Изобутилен	$C_4H_8$	9	17
10	Метан	$CH_4$	10	16
11	<i>n</i> -Метилацетилен	$C_3H_4$	11	15
12	Оксид этилена	$C_2H_4O$	12	14
13	Пентан	$C_5H_{12}$	13	13
14	Пропан	$C_3H_8$	14	12
15	Пропилен	$C_3H_6$	15	11
16	Сероводород	$H_2S$	16	10
17	Ацетон	$C_3H_6O$	17	9
18	Формальдегид	$CH_2O$	18	8
19	Этан	$C_2H_6$	19	7
20	Этилен	$C_2H_4$	20	6

#### Расчетное задание № 4

### Развитие процессов горения. Горение жидкостей. Пламя и его распространение

1. По аппроксимационной формуле рассчитайте концентрационные пределы распространения пламени заданного газообразного вещества при нормальных условиях и температуре  $T$ , используя данные Приложения (табл. 3).

№ вар	Вещество	Температура $T$ , °C
1	Аммиак $\text{NH}_3$	400
2	Ацетилен $\text{C}_2\text{H}_2$	500
3	Бутадиен $\text{C}_4\text{H}_6$	600
4	Бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$	100
5	Бутен $\text{C}_4\text{H}_8$	200
6	Бутен $\text{C}_4\text{H}_8$	300
7	Винилхлорид $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	400
8	Водород $\text{H}_2$	500
9	Изобутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$	600
10	Изобутилен $\text{C}_4\text{H}_8$	700
11	Метан $\text{CH}_4$	800
12	Оксид углерода $\text{CO}$	900
13	Оксид этилена $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	100
14	Пропан $\text{C}_3\text{H}_8$	200
15	Пропилен $\text{C}_3\text{H}_6$	300
16	Сероводород $\text{H}_2\text{S}$	400
17	Формальдегид $\text{CH}_2\text{O}$	500
18	Хлорэтан $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	600
19	Этан $\text{C}_2\text{H}_6$	700
20	Этилен $\text{C}_2\text{H}_4$	800

2. Рассчитайте концентрационный предел распространения (КПР) газовой смеси по аппроксимационной формуле, используя данные Приложения (табл. 3).

№ вар	Состав газовой смеси, %		
1	угарный газ $\text{CO}$ – 20 %	этан $\text{C}_2\text{H}_4$ – 70 %	метан $\text{CH}_4$ – 10 %
2	водород $\text{H}_2$ – 15 %	пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ – 25 %	бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ – 60 %
3	оксид углерода $\text{CO}$ – 22%	водород $\text{H}_2$ – 48 %	метан $\text{CH}_4$ – 30 %

№ вар	Состав газовой смеси, %		
	4	этан $C_2H_6$ – 0,3 %	пропан $C_3H_8$ – 58 %
5	оксид углерода CO – 45 %	водород $H_2$ – 33 %	метан $CH_4$ – 22 %
6	оксид углерода CO – 18 %	метан $CH_4$ – 45 %	этан $C_2H_6$ – 37 %
7	метан $CH_4$ – 50 %	этан $C_2H_6$ – 15 %	пропан $C_3H_8$ – 35 %
8	водород $H_2$ – 43 %	метан $CH_4$ – 25,5 %	бутан $C_4H_{10}$ – 31,5 %
9	оксид углерода CO – 48 %	водород $H_2$ – 23 %	метан $CH_4$ – 29 %
10	этан $C_2H_6$ – 5 %	пропан $C_3H_8$ – 66 %	бутан $C_4H_{10}$ – 29 %
11	оксид углерода CO – 17 %	этан $C_2H_6$ – 46 %	бутан $C_4H_{10}$ – 37 %
12	метан $CH_4$ – 20 %	пропан $C_3H_8$ – 40 %	бутан $C_4H_{10}$ – 40 %
13	водород $H_2$ – 15 %	метан $CH_4$ – 25 %	этан $C_2H_6$ – 60 %
14	оксид углерода CO – 30 %	метан $CH_4$ – 35 %	бутан $C_4H_{10}$ – 35 %
15	этан $C_2H_6$ – 20 %	пропан $C_3H_8$ – 50 %	бутан $C_4H_{10}$ – 30 %
16	метан $CH_4$ – 80 %	водород $H_2$ – 15 %	оксид углерода CO – 5 %
17	этан $C_2H_6$ – 50 %	пропан $C_3H_8$ – 25 %	бутан $C_4H_{10}$ – 25 %
18	метан $CH_4$ – 60 %	этан $C_2H_6$ – 25 %	пропан $C_3H_8$ – 15 %
19	оксид углерода CO – 10 %	водород $H_2$ – 70 %	метан $CH_4$ – 20 %
20	этан $C_2H_6$ – 48 %	пропан $C_3H_8$ – 33%	бутан $C_4H_{10}$ – 19 %

3. Определите характер свечения пламени заданных веществ.

№ вар	Вещества		
	1	Глицерин $C_3H_8O_3$	Этанол $C_2H_5OH$

№ вар	Вещества		
2	Пропанол $C_3H_7OH$	Нитробензол $C_6H_5NO_2$	Метанол $CH_3OH$
3	Формальдегид $CH_2O$	Этиленгликоль $C_2H_5OH$	Линолевая кислота $C_{18}H_{32}O_2$
4	Бутиловый спирт $C_4H_9OH$	Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	Кетен $CH_2CO$
5	Лимонная кислота $C_6H_8O_7$	Бензиловый спирт $C_7H_7OH$	Угольная кислота $H_2CO_3$
6	Аспарагин $C_4H_8N_2O_3$	Бензойная кислота $C_6H_5COOH$	Мочевина $NH_2CONH_2$
7	Стеариновая кислота $C_{18}H_{36}O_2$	Аспартам $C_{14}H_{18}N_2O_5$	Бензофенон $C_{13}H_{10}O$
8	Глюкоза $C_6H_{12}O_6$	Метионин $C_5H_{11}NO_2S$	Глутамин $C_5H_{10}N_2O_3$
9	Глутаминовая кислота $C_5H_9NO_4$	Аспарагиновая кислота $C_4H_7NO_4$	Фосген $COCl_2$
10	Ацетальдегид $CH_3CHO$	Хинин $C_{20}H_{24}O_2N_2$	Никотиновая кислота $C_5H_4NCOOH$
11	Винная кислота $H_2C_4H_4O_6$	Глицин $C_2H_5NO_2$	Аскорбиновая кислота $C_6H_8O_6$
12	Ацетилсалициловая кислота $C_9H_8O_4$	Молочная кислота $C_3H_6O_3$	Муравьиная кислота $HCOOH$
13	Формаид $HCONH_2$	Хлоруксусная кислота $C_2H_3ClO_2$	Сульфадимезин $C_{12}H_{14}O_2N_2S$
14	Ацетат аммония $NH_4C_2H_3O_2$	Диметилфосфат $(CH_3)_2HPO_4$	Пропионовая кислота $C_2H_5COOH$
15	Ацетон $CH_3COCH_3$	Ацетилхлорид $CH_3COCl$	Аланин $C_3H_7CNO_2$
16	Цистеин $C_3H_7NO_2S$	Серин $C_3H_7NO_3$	Гистидин $C_6H_9N_3O_2$
17	Тирозин $C_9H_{11}NO_3$	Камфора $C_{10}H_{16}O$	Бензофенон $C_{13}H_{10}O$
18	Щавелевая кислота $HOOC-COOH$	Фталевая кислота $H_2C_8H_4O_4$	Карбамат аммония $NH_4CO_2NH_2$

№ вар	Вещества		
	19	Сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$	Триптофан $C_{11}H_{12}N_2O_2$
20	Фенилаланин $C_9H_{11}NO_2$	Аргинин $C_6H_{14}N_4O_2$	Лизин $C_6H_{14}N_2O_2$

4. Используя коэффициенты безопасности (Приложение, табл. 5), рассчитайте безопасные концентрации паров заданного вещества и определите, можно ли проводить данный вид работ при заданных условиях.

№ вар	Вещество	Концентрация паров, %	Вид работы
1	Амилен $C_5H_{10}$	0,2	резка металла
2	Ацетальдегид $C_2H_4O$	0,5	вентиляционная камера
3	Ацетон $C_3H_6O$	0,8	сварочные
4	Бензол $C_6H_6$	0,1	токарные
5	Бутиловый спирт $C_4H_{10}O$	0,3	трубопровод
6	Гексан $C_6H_{14}$	0,4	покраска
7	Гептан $C_7H_{16}$	0,5	сварочные
8	Гидразин $N_2H_4$	0,1	газопровод
9	Декан $C_{10}H_{22}$	0,2	резка металла
10	Диэтиламин $C_4H_{11}N$	0,3	токарные
11	Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	0,4	вентиляционная камера
12	Изобутиловый спирт $C_4H_{10}O$	0,5	сварочные
13	Метиловый спирт $CH_4O$	0,1	резка металла
14	Октан $C_8H_{18}$	0,2	трубопровод
15	Пентан $C_5H_{12}$	0,3	покраска
16	Пиридин $C_5H_5N$	0,4	вентиляционная камера

№ вар	Вещество	Концентрация паров, %	Вид работы
17	Сероуглерод $CS_2$	0,5	сварочные
18	Стирол $C_8H_8$	0,1	резка металла
19	Толуол $C_7H_8$	0,2	газопровод
20	Этилацетат $C_4H_8O_2$	0,3	сварочные

5. Определите давление насыщенного пара заданного вещества при известной температуре  $T$  по уравнению Антуана. Необходимые для расчета данные возьмите в Приложении (табл. 4).

№ вар	Вещество	Температура $T$ , С
1	Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	15
2	Этилбензол $C_8H_{10}$	16
3	Циклогексан $C_6H_{12}$	17
4	Бензол $C_6H_6$	18
5	Амиловый спирт $C_5H_{11}OH$	19
6	Этиленгликоль $C_2H_4O_2$	20
7	Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	21
8	Ацетон $C_3H_6O$	22
9	Ацетальдегид $C_2H_4O$	23
10	Гексан $C_6H_{14}$	24
11	Гептан $C_7H_{16}$	25
12	Метанол $CH_3OH$	26
13	Бутанол $C_4H_9OH$	27
14	Октан $C_8H_{18}$	28
15	Пентан $C_5H_{12}$	29
16	Пропанол $C_3H_7OH$	30
17	Пропилбензол $C_9H_{12}$	20
18	Этанол $C_2H_5OH$	21
19	Этилацетат $C_4H_8O_2$	22
20	Муравьиная кислота $CH_2O_2$	23

6. Резервуар заполнен жидким веществом. Используя данные Приложения (табл. 3), вычислите объемную и массовую кон-

центрацию паров вещества в свободном пространстве резервуара при заданной температуре  $T$  и давлении  $P$ . Сделайте вывод о взрывоопасности этого вещества при заданных условиях.

№ вар	Жидкое вещество	Температура $T$ , °С	Давление $P$ , мм. рт. ст
1	Амиловый спирт $C_5H_{11}OH$	10	770
2	Ацетальдегид $C_2H_4O$	11	780
3	Гексан $C_6H_{14}$	12	790
4	Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	13	800
5	n-Ксилол $C_8H_{10}$	14	795
6	Метанол $CH_3OH$	15	790
7	Этиленгликоль $C_2H_4O_2$	16	785
8	Октан $C_8H_{18}$	17	780
9	Пропанол $C_3H_7OH$	18	775
10	Пропилбензол $C_9H_{12}$	19	770
11	Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	20	765
12	Этилацетат $C_4H_8O_2$	21	760
13	Диметиловый эфир $C_2H_6O$	22	755
14	2-Метилбутан $C_5H_{12}$	23	750
15	Циклогексан $C_6H_{12}$	24	745
16	Циклогексен $C_6H_{10}$	25	740
17	2-Метилгексан $C_7H_{16}$	26	755
18	Ацетон $C_3H_6O$	27	770
19	Бутанол $C_4H_9OH$	28	780
20	Этанол $C_2H_5OH$	29	790

7. Вычислите температурные пределы распространения пламени заданного вещества при нормальном давлении  $P_0=101,3$  кПа, используя данные уравнения Антуана и Приложение (табл. 3).

№ вар	Вещество	Уравнение Антуана
1	Амиловый спирт $C_5H_{11}OH$	$\lg P = 6,3073 - 1287,625 / (161,330 + t)$
2	Ацетон $C_3H_6O$	$\lg P = 6,37551 - 1281,721 / (237,088 + t)$
3	Ацетальдегид $C_2H_4O$	$\lg P = 6,31653 - 1093,537 / (233,413 + t)$
4	Бензол $C_6H_6$	$\lg P = 5,61391 - 902,275 / (178,099 + t)$
5	Бутанол $C_4H_{10}O$	$\lg P = 8,72232 - 2664,684 / (279,638 + t)$
6	Гексан $C_6H_{14}$	$\lg P = 5,99517 - 1166,274 / (223,661 + t)$
7	Гептан $C_7H_{16}$	$\lg P = 6,07647 - 1295,405 / (219,819 + t)$
8	Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$	$\lg P = 6,12270 - 1098,945 / (232,372 + t)$
9	Диметилловый эфир $C_2H_6O$	$\lg P = 6,34963 - 1004,099 / (254,831 + t)$
10	Метилловый спирт $CH_4O$	$\lg P = 7,3527 - 1660,454 / (245,818 + t)$
11	Муравьиная кислота $CH_2O_2$	$\lg P = 4,99272 - 765,889 / (154,546 + t)$
12	Октан $C_8H_{18}$	$\lg P = 6,09396 - 1379,556 / (211,896 + t)$
13	Пентан $C_5H_{12}$	$\lg P = 5,97208 - 1062,555 / (231,805 + t)$
14	Пропанол $C_3H_8O$	$\lg P = 7,44201 - 1751,981 / (225,125 + t)$
15	Пропилбензол $C_9H_{12}$	$\lg P = 6,29713 - 1627,827 / (220,499 + t)$
16	Толуол $C_7H_8$	$\lg P = 6,0507 - 1328,171 / (217,713 + t)$
17	Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	$\lg P = 7,10337 - 1906,53 / (255,973 + t)$
18	Этанол $C_2H_6O$	$\lg P = 7,81158 - 1918,508 / (252,125 + t)$
19	Этилацетат $C_4H_8O_2$	$\lg P = 6,22672 - 1244,951 / (217,881 + t)$
20	Этилбензол $C_8H_{10}$	$\lg P = 6,35879 - 1590,660 / (229,581 + t)$

8. Какая масса жидкости испарится за определенное время при разливе некоторого объема вещества, если известна температура воздуха и скорость движения воздуха в помещении. Необходимые для расчета данные возьмите в Приложение (табл. 7).

№ вар	Вещество	Время, час	Объем вещества, дм <sup>3</sup>	Температура, °С	Скорость движения воздуха, м/с
1	Амилацетат C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0,3	10	15	0,1
2	Амилен C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0,2	15	16	0,2
3	Амиловый спирт C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	0,1	17	17	0,3
4	Анилин C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	0,4	18	18	0,4
5	Ацетальдегид C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0,5	20	19	0,1
6	Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0,6	22	20	0,2
7	Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,7	23	21	0,3
8	Бутилацетат C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0,8	25	22	0,4
9	Бутиловый спирт C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,1	27	23	0,1
10	Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,2	28	24	0,2
11	Диэтиламин C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	0,3	30	25	0,3
12	Изобутиловый спирт C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,4	32	15	0,4
13	Метиловый спирт CH <sub>4</sub> O	0,5	35	16	0,1
14	Октан C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,6	37	17	0,2
15	Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,7	40	18	0,3
16	Пропиловый спирт C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	0,8	10	19	0,4
17	Сероуглерод CS <sub>2</sub>	0,1	12	20	0,1
18	Уксусная кислота C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0,2	15	21	0,2
19	Этилацетат C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0,3	17	22	0,3
20	Этиленгликоль C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0,4	20	23	0,4

9. По числу связей в структурной формуле вещества рассчитайте температурные пределы распространения пламени, температуру вспышки и температуру воспламенения данной жидкости. К какому типу жидкостей (ГЖ, ЛВЖ) относится данное вещество согласно показателям его пожароопасности. Необходимые для расчета данные возьмите в Приложении (табл. 8, 9).

№ вар	Вещество	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Число связей
1	Этиламин	15,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 5$ $\text{C} - \text{N} \rightarrow 1$ $\text{N} - \text{H} \rightarrow 2$
2	Амиловый спирт	118,2	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 4$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 11$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
3	Ацетон	117,3	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 2$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 6$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$
4	Ацетальдегид	108,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 4$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$
5	Гексан	110,4	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 5$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 14$
6	Гептан	118,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 6$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 16$
7	Диэтиловый эфир	120,5	$\text{C} - \text{H} \rightarrow 9$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
8	Метанол	113,7	$\text{C} - \text{H} \rightarrow 3$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
9	Этиленгликоль	102,3	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 4$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 2$

№ вар	Вещество	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Число связей
10	Бутанол	111,0	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 3$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 9$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
11	Пентан	123,3	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 4$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 12$
12	Пропанол	103,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 2$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 7$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
13	Голуол	115,4	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 6$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 8$
14	Уксусная кислота	109,2	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 4$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 2$
15	Этанол	106,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 5$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 1$ $\text{O} - \text{H} \rightarrow 1$
16	Этилацетат	112,1	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 3$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 8$ $\text{C} - \text{O} \rightarrow 2$
17	Этан	103,9	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 6$
18	Хлорэтан	88,4	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 1$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 5$ $\text{C} - \text{Cl} \rightarrow 1$
19	Пропан	93,6	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 2$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 8$
20	Бутан	101,8	$\text{C} - \text{C} \rightarrow 3$ $\text{C} - \text{H} \rightarrow 10$

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Что такое горение и чем оно сопровождается? Необходимые факторы для возникновения горения.
2. Горючие вещества. Дайте определение и приведите примеры. Свойства горючего вещества.
3. Пожар как химический процесс превращения вещества.
4. Физическая сущность процесса горения.
5. Типы химических реакций. Окислительно-восстановительные реакции, приводящие к пожарам и взрывам.
6. Основные положения современной теории окисления-восстановления.
7. Возникновение горения по механизму самовоспламенения.
8. Возникновение горения по механизму самовозгорания.
9. Возникновение горения по механизму вынужденного воспламенения.
10. Термодинамика химического процесса.
11. Законы (начала) термодинамики.
12. Передача теплоты в закрытых и открытых термодинамических системах.
13. Тепловой эффект (энтальпия) химической реакции. Закон Гесса. Экзотермические и эндотермические процессы.
14. Понятие энтропии при превращении вещества.
15. Уравнение Гиббса для химического процесса.
16. Понятие химического равновесия. Константа химической реакции и константа равновесия химической реакции.
17. Направление течения химического процесса. Принцип Ле-Шателье и его влияние на направление химического процесса.
18. Определение и математическое выражение скорости химической реакции. Кинетическая кривая скорости реакции.

19. Факторы, от которых зависит скорость химической реакции.
20. Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ. Закон действующих масс. Кинетическое уравнение простой реакции. Молекулярность реакции.
21. Основные положения теории активных столкновений и теории переходного комплекса.
22. Уравнение Аррениуса в дифференциальной и интегральной формах.
23. Цепные реакции. Стадии цепной реакции.
24. Разветвленные и неразветвленные цепные реакции.
25. Полуостров воспламенения.
26. Роль цепных реакций в тепловом самовоспламенении.
27. Классификация и характеристика пожароопасных веществ.
28. Органические и неорганические горючие вещества. Особенности горения, отличия.
29. Горючие газы. Дайте определение и приведите примеры.
30. Особенности горения газов.
31. Газы и пары. Концентрационные пределы воспламенения газов (паров) и их смесей.
32. Легковоспламеняющиеся жидкости. Дайте определение и приведите примеры.
33. Особенности горения жидкостей. Испарение жидкостей. Насыщенный пар. Температура вспышки. Температура воспламенения. Температура самовоспламенения.
34. Особенности горения твердых веществ.
35. Горючие пыли. Дайте определение и приведите примеры. Особенности горения пыли.
36. Виды окислителей и их характеристики.
37. Виды источников зажигания. Параметры источников зажигания.
38. Прекращение горения с точки зрения термодинамики.
39. Прекращение горения с точки зрения химической кинетики.

40. Физико-химические основы механизмов тушения пожаров. Предельные параметры процессов горения, их роль и значение в обеспечении пожарной безопасности технологических процессов и производств.
41. Основные способы предотвращения воспламенения горючих веществ и локализации пожаров, основанные на использовании предельных параметров горения.
42. Классификация огнетушащих веществ: по агрегатному состоянию, по типу огнетушащего действия.
43. Огнетушащие вещества охлаждающего, изолирующего, ингибирующего, разбавляющего действия. Приведите примеры.
44. Механизм действия изолирующего огнетушащие вещества.
45. Механизм действия разбавляющего огнетушащие вещества.
46. Механизм действия ингибирующего огнетушащие вещества.
47. Механизм действия охлаждающего огнетушащие вещества.
48. Вода – как средство тушения пожаров. Особенности и механизм тушения водой.
49. Какие вещества относят к нейтральным газам? Какие газы относят к инертным? В чем различие между инертными газами и нейтральными?
50. Пены как средства тушения пожара. Классификация. Методы получения и разрушения пен. Основные свойства пен.
51. Порошки как средства тушения пожара. Классификация. Методы получения. Устойчивость. Основные свойства порошков.
52. Огнетушащие составы.
53. Получение и хранение огнетушащих веществ.

**Примерные задачи,  
включенные в экзаменационные билеты**

1. Расчет коэффициента горючести.
2. Составление уравнений реакций горения в кислороде, в воздухе.
3. Расчет молей исходных веществ и продуктов реакции по уравнению реакции горения.
4. Расчет объема воздуха, необходимого для горения индивидуального вещества, газовой смеси, вещества сложного элементного состава.
5. Расчет объема и процентного состава продуктов горения индивидуального вещества, газовой смеси, вещества сложного элементного состава.
6. Расчет теплового эффекта реакции горения индивидуального вещества.
7. Перевод значения энтальпии горения из кДж/моль в кДж/кг.
8. Расчет низшей и высшей теплоты сгорания по формуле Д.И. Менделеева.
9. Определение характера свечения пламени.
10. Расчет концентрационных пределов распространения пламени (КПР).
11. Расчет КПР при повышенных температурах.
12. Расчет давления насыщенного пара по уравнению Антуана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процессы горения / И. М. Абдурагимов, А. С. Андросов, Л. К. Исаева, Б. В. Крылов. – М.:ВИПТШ МВД СССР, 1984. – 250 с.
2. Гельфман, М. И. Практикум по физической химии: учебное пособие / под ред. М. И. Гельфмана. СПб.: Лань, 2004. – 256 с.
3. ГОСТ 12.1.041-83. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность горючих пылей. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1983.
4. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 1989.
5. Демидов, П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. А. Шандыба, П. П. Щеглов. – М.: Химия, 1981. – 247 с.
6. Драйздел, В. Введение в динамику пожаров / В. Драйздел. – М.: Строительство, 1990. – 390 с.
7. Кольцов, К. С. Самовозгорание веществ и материалов и его профилактика / К. С. Кольцов, Б. Г. Попов. – М.: Химия, 1978. – 170 с.
8. Монахов, В. Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / В. Т. Монахов. – М.: Химия, 1979. – 423 с.
9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное изд. В 2 книгах / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук [и др.]. – М.: Химия, 1990.
10. Трифонов, К. И. Физико-химические процессы в техносфере: учебник для вузов / К. И. Трифонов, В. А. Девисилов. – М.: Форум: Инфра – М, 2007. – 240 с.
11. Шрайбер, Г. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении / Г. Шрайбер, П. Порет. – М.: Стройиздат, 1975. – 240 с.
12. Щеглов, П. П. Пожарная опасность полимерных материалов / П. П. Щеглов, В. Н. Иванников. – М.: Стройиздат, 1992. – 108 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические свойства воды:

- плотность  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;
- температура замерзания  $T_{\text{зам}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура кипения  $T_{\text{кип}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- плотность насыщенного водяного пара при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $98,1 \cdot 10^3 \text{ Па}$  –  $\rho_{\text{п}} = 0,6 \text{ кг/м}^3$ ;
- удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;
- удельная теплоемкость паров в диапазоне температур от  $100$  до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $c_{\text{пара}} = 2,52 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;
- скрытая теплота парообразования  $r = 2260 \text{ кДж/кг}$ .

*Таблица 1*

### Интегральные теплоты растворения солей в воде при $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Моляльность раствора, моль/кг	$\Delta H_m, \text{ кДж/моль}$					
	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{NaCl}$	$\text{NaBr}$	$\text{KNO}_3$	$\text{KCl}$	$\text{KBr}$
0	25,77	3,89	-0,63	34,93	17,23	20,04
0,01	25,77	4,06	-0,50	35,03	17,39	20,17
0,02	25,79	4,10	-0,42	35,02	17,44	20,25
0,05	25,82	4,18	-0,31	34,94	17,51	20,29
0,1	25,75	4,25	-0,29	34,77	17,55	20,33
0,2	25,56	4,27	-0,27	-	17,57	20,29
0,3	25,38	4,25	-0,29	-	17,55	20,25
0,4	25,21	4,16	-0,40	-	17,50	20,15
0,5	25,06	4,10	-0,44	-	17,43	20,04
1,0	24,31	3,79	-0,86	-	17,28	19,54
2,0	23,05	3,18	-1,65	-	16,72	18,68
Насыщ. раствор	-	1,95	-3,61	-	15,45	16,49

Таблица 2

## Свойства спиртов

Спирт	Молекулярная масса спирта	Доля ОН-групп в молекулярной массе, %	Содержание углерода, %
Этиловый	46	36,9	52,2
Изопропиловый	60	28,3	60
Бутиловый	74	22,9	64,8
Изоамиловый	88	19,3	68,2
Глицерин	92	55,4	39,1

Таблица 3

**Значения коэффициентов «а» и «b» для расчета концентрационных пределов распространения пламени**

Область применения	<i>a</i>	<i>b</i>
Для вычисления нижнего предела	8,684	4,679
Для вычисления верхнего предела		
при $n < 7,5$	1,550	0,560
при $n > 7,5$	0,768	6,554

Таблица 4

## Физико-химические константы некоторых веществ

№	Вещество	Константы уравнения Антуана	Диэлектр. прониц.	$T_{\text{кип}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{\text{образ}}, \text{ кДж/моль}$	$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль}$
1	Амиловый спирт $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	$\lg p = 6,3073 - 1287,625/(161,330 + t)$	14,4	138	- 36,39	46,05
	Ацетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	$\lg p = 6,37551 - 1281,721/(237,088 + t)$	20,7	56,5	- 248,28	32,29
3	Ацетальдегид $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\lg p = 6,31653 - 1093,537/(233,413 + t)$	21,1	20,2	- 166,36	27,00
4	Бензол $\text{C}_6\text{H}_6$	$\lg p = 5,61391 - 902,275/(178,099 + t)$	2,02	80,1	+ 82,9	48,14
5	Гексан $\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\lg p = 5,99517 - 1166,274/(223,661 + t)$	1,890	68,74	- 167,2	28,88
6	Гептан $\text{C}_7\text{H}_{16}$	$\lg p = 6,07647 - 1295,405/(219,819 + t)$	1,974	98,43	- 187,7	
7	Диэтиловый эфир $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	$\lg p = 6,9979 - 1098,945/(232,372 + t)$	4,22	34,5	- 252,2	26,71
8	м-Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	$\lg p = 6,58807 - 1906,796/(234,917 + t)$	2,374	139	- 28,4	36,84
9	п-Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	$\lg p = 6,25485 - 1537,082/(223,608 + t)$	2,270	138,3	- 24,4	36,56
10	о-Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	$\lg p = 6,28893 - 1575,114/(223,579 + t)$	2,568	144,4	- 24,4	36,71
11	Метанол $\text{CH}_3\text{OH}$	$\lg p = 7,3527 - 1660,454/(245,818 + t)$	32,63	64,9	- 203,1	35,28
12	Этилбензол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	$\lg p = 6,35879 - 1590,660/(229,581 + t)$	2,4	136,2	+ 29,9	36,31

Продолжение таблицы 4

13	Этиленгликоль C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	$\lg p = 8,13754 - 2753,183/(252,099 + t)$	37,7	197	- 453,8	56,93
14	Бутанол C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	$\lg p = 8,72232 - 2664,684/(279,638 + t)$	17,7	117	- 274,6	43,83
15	Октан C <sub>8</sub> H <sub>20</sub>	$\lg p = 6,09396 - 1379,556/(211,896 + t)$	1,948	125,66	- 208	34,62
16	Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	$\lg p = 5,97208 - 1062,555/(231,805 + t)$	1,844	36	- 146,4	52,12
17	Пропанол C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	$\lg p = 7,44201 - 1751,981/(225,125 + t)$	19,7	97,8	- 257,7	46,15
18	Пропанол-2 C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	$\lg p = 7,51055 - 1733,00/(232,380 + t)$	18,3	83,2	- 272,4	40,19
19	Пропилбензол C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	$\lg p = 6,29713 - 1627,827/(220,499 + t)$	2,284	159	+ 7,9	38,47
20	Толуол C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	$\lg p = 6,0507 - 1328,171/(217,713 + t)$	2,379	110,6	+ 50,17	33,53
21	Уксусная кислота C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	$\lg p = 7,10337 - 1906,53/(255,973 + t)$	6,15	118,1	- 437,3	27,2
22	Этанол C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	$\lg p = 7,81158 - 1918,508/(252,125 + t)$	25,2	78,5	- 234,9	38,59
23	Этилацетат C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	$\lg p = 6,22672 - 1244,951/(217,881 + t)$	6,02	77	- 442,9	
25	Диметиловый эфир C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	$\lg p = 6,34963 - 1004,099/(254,831 + t)$	3,50	- 24,8	- 184	
26	Дипропиловый эфир C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	$\lg p = 6,2408 - 1397,34/(240,177 + t)$	3,88	89,5	- 293,4	

Окончание таблицы 4

27	2-Метилбутан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	$\lg p = 5,91799 - 1022,511/(233,493 + t)$	1,9	27,9	- 154,5	
28	Муравьиная кислота CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$\lg p = 4,99272 - 765,889/(154,546 + t)$	57,9	100,8	- 378,6	46,3
29	Циклогексан C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	$\lg p = 5,96991 - 1203,526/(222,863 + t)$	2,02	80,7	- 123,13	30,73
30	Циклогексанон C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	$\lg p = 6,33089 - 1670,009/(230,312 + t)$	18,3	155,6	- 226	
31	Циклогексен C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	$\lg p = 6,0111 - 1229,973/(224,104 + t)$	2,220	82,9	- 5,36	
32	Циклопентан C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	$\lg p = 6,00291 - 1119,208/(230,738 + t)$	1,965	49,3	- 77,2	
33	2-Метилгексан C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	$\lg p = 5,99812 - 1236,026/(219,545 + t)$	1,9	90	- 194,9	
34	Пентанон-2 C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	$\lg p = 6,98913 - 1870,4/(273,2 + t)$	14,0	103,3	- 258,6	

Таблица 5

**Значение коэффициента безопасности ( $K_6$ )  
при проведении различных видов работ**

При расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технического оборудования, трубопроводов, вентиляционных систем	$K_6 = 2$
При расчете предельно-допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров, пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания	$K_6 = 20$

Таблица 6

**Характер свечения пламени в зависимости  
от  $\omega(C)$  и  $\omega(O)$**

Содержание углерода в горючем веществе, $\omega(C) \%$	Содержание кислорода в горючем веществе, $\omega(O) \%$	Характер свечения пламени
< 50	> 0	Пламя бесцветное или голубоватое
< 75	отсутствует или < 30	Пламя яркое, не коптящее
> 75	отсутствует или < 25	Пламя яркое, коптящее

Таблица 7

**Значение коэффициента  $\eta$  в зависимости  
от скорости воздушного потока**

Скорость воздушного потока в помещении, м/с	Значение коэффициента $\eta$ при температуре воздуха в помещении $t, ^\circ\text{C}$				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Таблица 8

**Эмпирические коэффициенты в зависимости  
от связей в структурной формуле вещества**

Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$	Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$
C – C	- 2,03	C – Cl	15,11
C $\equiv$ C	- 0,28	C – Br	19,40
C=C	1,72	C – Si	-4,84
C – H	1,105	Si – H	11,00
C – O	2,47	Si – Cl	10,07
C = O	11,66	N – H	5,83
C – N	14,15	O – H	23,90
CS $\equiv$ N	12,13	S – H	5,64
C – S	2,09	P – O	3,27
C = S	-11,91	P = O	9,64
C – F	3,33		

Таблица 9

## Коэффициенты j-той химической связи

Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$	Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$
C – C	0,027	C = O	- 0,826
C ≡ C	- 2,069	C – N	- 5,876
C = C	- 8,980	O – H	8,216
C – H	- 2,118	N – H	- 0,261
C – O	- 0,111		

*Учебное издание*

**Тарасова Юлия Викторовна  
Салищева Олеся Владимировна  
Васильева Ирина Валерьевна  
Захаренко Мария Анатольевна  
Назимова Екатерина Васильевна**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ  
И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

16+

Редактор О. П. Долгополова  
Технический редактор С. Н. Козеева

Подписано в печать 13.12.2018. Формат 60×84 1/16.  
Бумага типографская. Гарнитура Times New Roman  
Печ. л. 6,22. Тираж 500.  
Заказ №152 .

Оригинал-макет изготовлен в лаборатории множительной техники  
Кемеровского государственного университета  
650000, г. Кемерово, пр. Советский, 73

Отпечатано в лаборатории множительной техники  
Кемеровского государственного университета  
650000, г. Кемерово, пр. Советский, 73