

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГОУ ВПО «ВЯТСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

КАФЕДРА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В. А. ЛИХАНОВ, О. П. ЛОПАТИН

ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Киров 2007

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГОУ ВПО «ВЯТСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

КАФЕДРА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В. А. ЛИХАНОВ, О. П. ЛОПАТИН

ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

**Учебно – методическое пособие
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине «Теория горения и взрыва»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по специальности
280103 – Защита в чрезвычайных ситуациях**

Киров 2007

УДК 631.372

Лиханов В.А., Лопатин О.П. Теория горения и взрыва: Учебно – методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва» для студентов инженерного факультета, обучающихся по специальности 280103 – Защита в чрезвычайных ситуациях. - Киров: Вятская ГСХА, 2007. – 118 с.

Рецензенты: директор Чебоксарского института (филиала) Московского государственного открытого университета, профессор кафедры тракторов и автомобилей **А.П. Акимов** (Чебоксарский институт (филиал) МГОУ); заведующий кафедрой тракторов и автомобилей ФГОУ ВПО «Нижегородская ГСХА», профессор **Л.А. Жолобов** (ФГОУ ВПО «Нижегородская ГСХА»).

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к печати учебно-методической комиссией инженерного факультета Вятской ГСХА (протокол № 6 от 20 апреля 2006 г.).

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Теория горения и взрыва» разработано академиком Российской Академии транспорта, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой двигателей внутреннего сгорания **Лихановым В.А.**, кандидатом технических наук, старшим преподавателем кафедры **Лопатиным О.П.**

© ФГОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», 2007
© В.А. Лиханов, О.П. Лопатин, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №1. Определение состава и количества воздуха для сгорания топлива	5
Лабораторная работа №2. Технический анализ углеводородного топлива	19
Лабораторная работа №3. Воспламенение веществ при химических реакциях	27
Лабораторная работа №4. Оценка свойств пламени	37
Лабораторная работа №5. Определение теплоты сгорания топлив	46
Лабораторная работа №6. Оценка пожарной опасности веществ и материалов	58
Лабораторная работа №7. Контроль параметров воздушной среды	105
Лабораторная работа №8. Категорирование и классификация помещений и зон пожаровзрывоопасности	107

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва» для студентов инженерного факультета, обучающихся по специальности 280103 – Защита в чрезвычайных ситуациях.

Горение и взрыв – с детства и навсегда поражающие наше воображение феномены природы, несомненно, одни из важнейших для природы и человеческой практики физико-химические процессы.

Выполнение по учебно-методическому пособию лабораторных работ позволяет ознакомиться с методикой и приборами для определения состава и количества воздуха при сгорании топлива, технического анализа топлива, оценки свойств пламени, определения теплоты сгорания топлив, оценки пожарной опасности веществ и материалов, контроля параметров воздушной среды, категорирования и классификации помещений и зон пожаровзрывоопасности, а также изучить воспламенение веществ в химических реакциях.

Лабораторная работа № 1 (4 часа)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА ДЛЯ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Цель работы

Ознакомление с методами определения состава воздуха. Расчет количества воздуха для сгорания топлива.

Задачи работы

Изучить методы определения состава воздуха. Определить состав воздуха одним из методов. Рассчитать необходимое количество воздуха для сгорания топлива.

Методы определения состава воздуха

Сжигание фосфора. Для приблизительного определения содержания азота, точнее азота и инертных газов, и кислорода в воздухе (по объему) сжигают под стеклянным колоколом красный фосфор. Если нет колокола с открытым горлом, его можно изготовить из большой склянки объемом 3...5 л, обрезав у нее дно. На стенках колокола отмечают 5 равных объемов.

Колокол помещают в стеклянную чашку (кристаллизационную и т. п.) высотой 10...12 см, диаметром на 5...6 см больше колокола, в которую при вынутой из горла колокола пробке наливают столько воды, чтобы колокол был погружен в нее до первого снизу деления. Чтобы колокол не слишком плотно прилегал к чашке, на дно ее кладут две стеклянные палочки или трубочки.

Приподняв колокол, помещают под него на поверхность воды укрепленную на корковой пробке (диаметром 4...5 см, толщиной около 1...1,5 см) крышку от фарфорового тигля (или жестяную коробочку), на которой находится не более 0,5...1 г фосфора.

Перед демонстрацией опыта накаливать (можно в пламени стеклянной спиртовки) конец достаточно длинной железной проволоки (можно использовать ложечку для сжигания веществ в кислороде), ввести ее в открытое горло колокола и прикоснуться к фосфору. Как только фосфор загорится, быстро вынуть проволоку и сразу же плотно закрыть колокол пробкой (рис. 1.1). Поверхность пробки желательно заранее слегка смочить водой, тогда она лучше и быстрее входит в горло колокола. В первый момент вследствие расширения нагретого воздуха уровень воды внутри колокола понижается. Если колокол недостаточно тяжел, то приходится придерживать его рукой, чтобы он не всплывал, иначе он может опрокинуться, и часть воздуха выйдет. Вскоре вода внутри колокола начинает подниматься.



Рисунок 1.1 - Горение фосфора под колоколом

Минут через пятнадцать, после того как газ вполне охладится и образовавшийся оксид фосфора P_2O_5 растворится, долить в чашку столько воды, чтобы она стояла на одном уровне снаружи и внутри колокола. Уровень воды при этом поднимается приблизительно на одно деление. Если к воде был прибавлен синий лакмус, цвет его переходит в красный.

Открыв колокол, опустить в него зажженную свечу, укрепленную на проволоке или на ложечке для сжигания веществ в кислороде, или лучинку. Пламя внутри колокола тотчас же гаснет. После этого можно вставить в горло колокола другую пробку с газоотвод-

ной трубкой, конец которой опустить (неглубоко) в стакан с известковой водой. При приливании в чашку с колоколом воды (если это позволяет высота чашки) находящийся в колоколе газ будет вытесняться и проходить через известковую воду, не давая при этом мутить (отличие азота от углекислого газа). Опыт дает лишь приблизительные результаты, так как после зажигания фосфора часть теплого воздуха, прежде чем будет вставлена пробка, успевает выйти из колокола и, кроме того, некоторая часть кислорода не вступает в реакцию. Так как обе эти причины влияют на результат в противоположных направлениях, то уменьшение объема газа обычно довольно близко к $1/5$ первоначального объема.

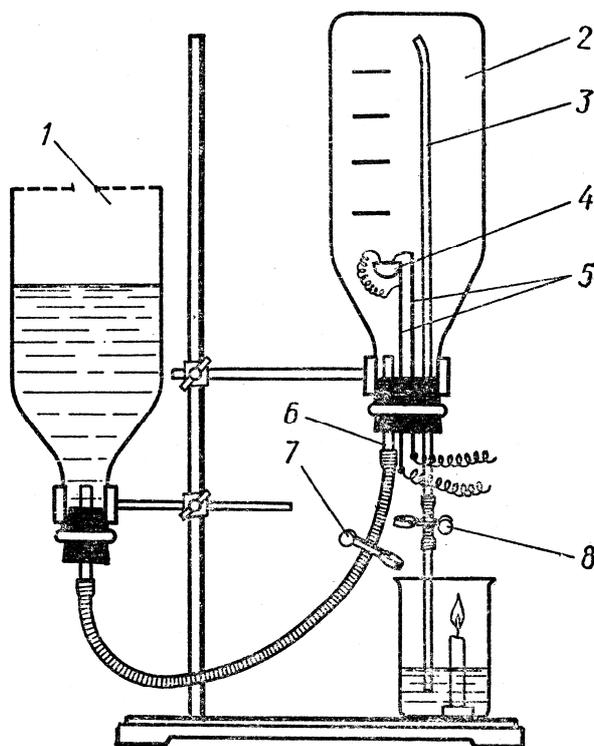


Рисунок 1.2 - Прибор для определения состава воздуха сжиганием фосфора:
1 – бутылка с обрезанным дном; 2 – бутылка с делениями; 3, 6 – стеклянная трубка; 4 – фарфоровый тигель; 5 – медные проволоки; 7, 8 – зажимы

Те же результаты получают, если зажечь фосфор раскаленной спиралью, подключенной в электрическую цепь, не вынимая пробку из горла колокола.

Для определения содержания азота и кислорода в воздухе сжиганием фосфора используют прибор И.И. Вангера (рис. 1.2). Прибор состоит из бутылки 1 с обрезанным или просверленным дном, бутылки 2 с более широким горлом с нанесенными на ней делениями, отмечающими пять одинаковых объемов. Через резиновую пробку бутылки 2 проходит длинная стеклянная трубка 3, соединенная резиновой трубкой, имеющей зажим 8, с другой стеклянной трубкой, конец которой погружен в стакан с известковой водой. Короткая стеклянная трубка 6 соединена резиновой трубкой, имеющей зажим 7, с отводной трубкой бутылки 1. Через пробку бутылки 2 проходят две толстые медные проволоки 5 с присоединенными к наружным концам проводами для подключения питания. Внутренний конец одной из проволок согнут кольцом, в которое помещен маленький фарфоровый тигель 4. Внутри тигля находится небольшая нихромовая спираль, оба конца которой присоединены к медным проволокам.

Перед опытом вынимают пробку из горла бутылки 2 вместе вставленными в нее трубками и медными проволоками, насыпают в тигель около 0,5 г сухого красного фосфора, слегка прижимают спираль к дну тигля, заполняют резиновую трубку водой. Закрывают зажим 7 и плотно вставляют пробку на место. В стакан наливают известковую воду, в бутылку 1 – подкрашенную воду, закрывают зажим 8 и испытывают прибор на герметичность: при поднятой бутылке 1 и открытом зажиме 7 вода не должна входить в бутылку 2 через трубку 6. Опускают бутылку 1 примерно до середины бутылки 2, подают напряжение на спираль. Как только фосфор начинает гореть, питание отключают. Когда горение прекратится, дают прибору остыть, открывают зажим 7 и немного приподнимают бутылку 1. Вода входит в бутылку 2 только до первого нижнего деления. Приподняв картонную крышку стакана, зажигают находящуюся в нем свечу, открывают зажим 8 и поднимают бутылку 1 выше уровня воды в бутылке 2. Вода входит в бутылку 2, вытесняет заключенный в ней газ (азот) через трубку 3. Выходящий газ пробулькивает через известковую воду, но помутнения не вызывает. Горящая в стакане свеча гаснет.

На рис. 1.3 показан упрощенный вариант описанного прибора (Ф.Д. Смирнов).

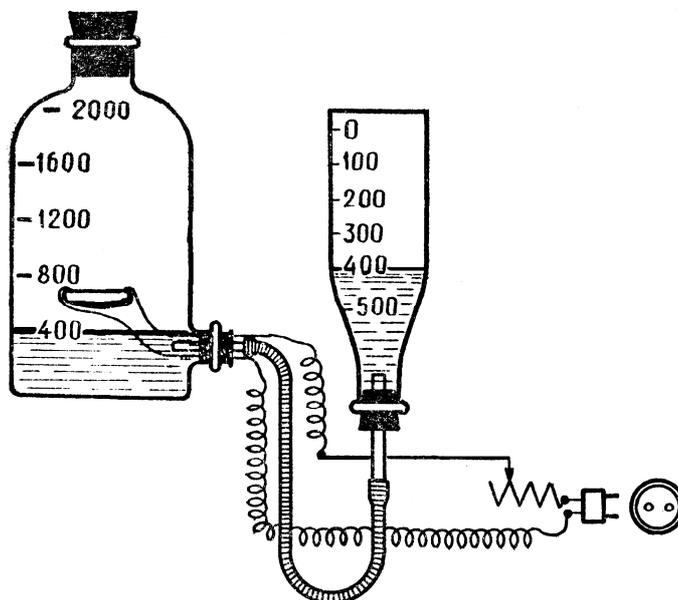


Рисунок 1.3 - Прибор для определения состава воздуха сжиганием фосфора

Основным резервуаром в нем служит двухлитровая тубулированная склянка. Красный фосфор зажигается нихромовой спиралью в фарфоровой лодочке, укрепленной между двумя запитанными медными проволоками. Бутыль с обрезанным (или просверленным) дном служит уравнивающим сосудом. С основным резервуаром он соединен резиновой трубкой. Схема включения и принцип действия прибора Ф.Д. Смирнова понятны из рисунка.

Сжигание спирта. Опыт можно показать, сжигая под колоколом спирт и прибавляя к воде в чашке известь, которая поглощает образующийся при горении оксид углерода CO_2 . Смачивают спиртом вату, прикрепленную к проволоке, вставленной в подобранную к колоколу резиновую пробку. Проволоку загибают на конце крючком, на который и насаживают вату. Вата должна находиться на такой высоте, чтобы конец ее приходился чуть выше четвертого деления колокола. Перед опытом нужно прибавить в чашку с водой 1...2 столовые ложки свежепогашенной извести и хорошо перемешать. После этого поставить в чашку колокол, смочить вату спиртом, зажечь и, быстро опустив в колокол, плотно закрыть его проб-

кой. Чтобы колокол не всплывал, его придерживают вначале рукой. В дальнейшем поступать так же, как при сжигании фосфора в колоколе.

Сжигание серы. Определить содержание кислорода в воздухе можно при сжигании серы в приборе, изображенном на рис. 1.4 (Ф.А. Вальков).

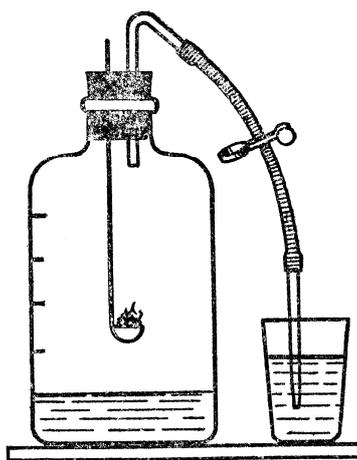


Рисунок 1.4 - Определение состава воздуха сжиганием серы

В склянку, объем которой разделен на 6 частей, наливают раствор щелочи (10-процентный раствор NaOH или KOH) до первого нижнего деления. От верхнего уровня раствора остается 5 равных объемов. В ложечке, вставленной в подобранную к склянке резиновую пробку, зажигают серу (берется в избытке по сравнению с эквивалентным количеством находящегося в склянке кислорода) и плотно вставляют пробку в горло склянки. Когда горение прекратится и газы внутри прибора остынут, открывают зажим на резиновой трубке, соединенной с изогнутой стеклянной трубкой, входящей в пробку, и второй стеклянной трубкой, опущенной в стакан с водой. Оксид серы SO_2 поглощается водой хуже, чем оксид фосфора P_2O_5 , но он хорошо поглощается раствором щелочи (можно слегка взбалтывать раствор и склянке), поэтому вода из стакана поступает в склянку и заполняет ее на $1/5$ объема от верхнего уровня раствора щелочи.

Окисление оксида азота NO. Связывая кислород воздуха, заключенного в определенном объеме, оксидом азота NO с после-

дующим поглощением образовавшегося оксида азота NO_2 водой, можно приблизительно определить объемное содержание кислорода и азота в воздухе. Прибор для такого определения изображен на рис. 1.5 (Н.А. Ярощук).

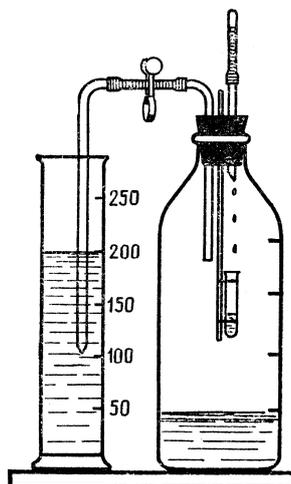


Рисунок 1.5 - Определение содержание кислорода в воздухе с помощью оксида азота NO

Он состоит из склянки емкостью 500 мл. Объем склянки разделен на 5 равных частей. Через резиновую пробку, закрывающую горло склянки, проходит стеклянная палочка с прикрепленной к ней резиновыми колечками небольшой пробиркой (длиной 5 см), капельная пипетка емкостью 1,5...2 мм и газоотводная трубка с зажимом, другой конец которой опущен в мерный цилиндр с водой.

Перед опытом внутреннюю поверхность хорошо вымытой склянки смачивают водой (лишнюю воду сливают), в пробирку насыпают 925 мг (расчетное количество) нитрита натрия NaNO_2 , в пипетку набирают 1,5 мл 20-процентной азотной кислоты, левое колено газоотводной трубки до зажима наполняют водой (засасыванием) и закрывают зажим. Плотнo вставляют пробку (с приспособлениями) в горло склянки, следя, чтобы газоотводная трубка была погружена в воду в цилиндре на глубину от деления 200 до 100 мл. При проведении опыта надавливают на резиновый баллончик пипетки, чтобы азотная кислота отдельными каплями вытекала в пробирку с нитритом натрия. Происходит реакция с выделением 200 мл оксида азота NO , для окисления которого до диоксида азота

NO_2 должно быть затрачено 100 мл содержащегося в объеме склянки кислорода. Образующийся диоксид азота NO_2 начинает вступать в реакцию с водой, находящейся на стенках склянки, в которой возникает разрежение. Открывают зажим, после чего вода из цилиндра перетекает по трубке в склянку, поглощая весь диоксид азота NO_2 . Всего перетекает около 100 мл воды (0,2 объема склянки).

Поглощение кислорода щелочным раствором пирогаллола. Для более точного анализа можно воспользоваться поглощением кислорода щелочным раствором пирогаллола $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ (триоксibenзол) в приборе, изображенном на рис. 1.6.

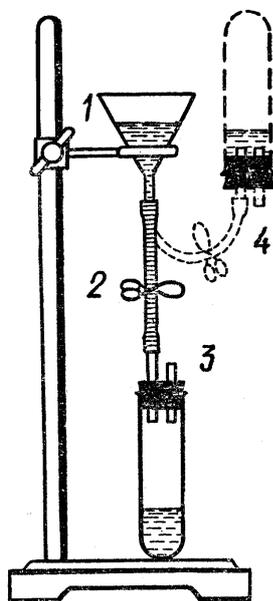


Рисунок 1.6 - Определение состава воздуха при помощи раствора пирогаллола:

1 – воронка; 2 – зажим; 3 – стеклянная палочка; 4 – положение пробирки при установлении одинакового уровня жидкости

Принцип действия прибора заключается в следующем. В воронку 1 наливают раствор пирогаллола. Когда зажим 2 открыт, раствор стекает в пробирку до тех пор, пока весь кислород находящегося в пробирке воздуха не будет поглощен. Объем перелившегося в пробирку раствора равен объему поглощенного кислорода. Прибор устроен так, что воздух в пробирке до и после опыта может быть приведен к атмосферному давлению. Для удобства нанесения меток вдоль пробирки наклеивают узкую бумажную полоску или

наносят матовую полоску наждачной бумагой. К пробирке следует подобрать хорошую резиновую пробку с двумя отверстиями, в одно из которых вставляют стеклянную трубочку, соединенную с небольшой воронкой, в другое - стеклянную палочку 3.

При проведении опыта нужно отвесить приблизительно 5 г едкого калия, растворить в 5 мл воды (и отдельной пробирке) и охладить до комнатной температуры. В другой пробирке растворить около 4 г пирогаллола в 10 мл воды. Снять с пробки прибора надетую на нее пробирку (за рант, чтобы она не нагрелась от руки), вынуть из пробки стеклянную палочку. Смешать оба приготовленных раствора и сейчас же вылить в воронку. Приоткрыть зажим так, чтобы каучук и трубочка наполнились раствором, и снова закрыть. Вытекшие из трубочки несколько капель раствора можно собрать в пробирку из-под раствора и перелить обратно в воронку. Так как после смешения пирогаллола со щелочью раствор быстро начинает поглощать кислород из окружающего воздуха, следует немедленно надеть на пробку снятую пробирку (опять держа ее за рант) и вставить стеклянную палочку.

Теперь воздух в пробирке, несмотря на то, что в нее вошла пробка, находится при атмосферном давлении (объем вдвинутой в пробку палочки так мал, что им можно пренебречь). Температура воздуха в пробирке также равна температуре окружающего воздуха. Открыть зажим на каучуке. Жидкость начинает стекать в пробирку. Когда ток жидкости прекратится, взять пробирку за рант и приподнять, как показано на рисунке пунктиром, чтобы установить уровень жидкости в пробирке и в воронке на одной высоте. Теперь оставшийся в пробирке азот опять находится под тем же давлением и при той же температуре, что и окружающий воздух. Закрыть зажим и перевернуть пробирку в первоначальное положение. Отметить карандашом по наклеенной бумажной или матовой полоске положение нижнего конца пробки и уровень жидкости в пробирке. Отняв пробирку от прибора, вылить из нее раствор, вымыть ее и дать стечь воде.

Влить в пробирку воду из бюретки до первой метки и повторить опыт, доливая воду до второй метки. Найти объемное соотношение между кислородом и азотом воздуха. Ничтожное количество

углекислого газа (0,03...0,04 %) не принимается во внимание (CO_2 поглощается щелочным раствором одновременно с кислородом).

Прокаливание меди. В сухую чистую пробирку внести около 0,5 г свежевосстановленной мелкозернистой или порошкообразной меди и плотно закрыть пробирку пробкой. Поддерживая пробирку в горизонтальном положении, распределить легким постукиванием находящуюся в ней медь по стенкам, начиная от дна и до середины.

Нагреть пробирку с медью в пламени спиртовки, начиная от дна. Нагревание можно считать законченным, когда вся медь перейдет в оксид меди CuO или часть меди перестанет изменяться. На это требуется 3...4 мин. Охладить пробирку с полученным оксидом до комнатной температуры.

После охлаждения опустить пробирку с CuO закрытым концом в воду и вынуть пробку. Установить пробирку в сосуде так, чтобы уровень воды, вошедшей в пробирку, совпал с уровнем воды в сосуде (приведение к атмосферному давлению). В этом положении снова закрыть пробирку пробкой и вынуть ее из воды. Перевернув пробирку вниз дном, вынуть пробку и испытать оставшийся в пробирке газ горящей лучинкой.

Налить в бюретку воду и установить уровень ее на одном из целых делений. Вылить воду из опытной пробирки в бюретку и по разности уровней определить объем вошедшей в пробирку воды, а следовательно, и объем кислорода, содержавшегося в воздухе, заключенном в пробирке.

Водой из бюретки заполнить опытную пробирку до обреза пробки, входящей туда при закрывании пробирки. Найти таким образом объем оставшегося в пробирке газа.

Сумма объемов вошедшей в пробирку воды и воды, затраченной на заполнение оставшегося объема, даст объем воздуха, заключенного в пробирке до опыта. (Объемом внесенной меди и оксида меди можно пренебречь.)

Вычисляют объемное содержание кислорода в воздухе по формуле

$$V_{\text{O}_2} = \frac{V_1 \cdot 100}{V},$$

где V_1 – объем кислорода;
 V – объем воздуха.

Определение количества воздуха для сгорания топлива

Минимальное количество воздуха, необходимого для полного сгорания единицы массы (кг) или объема (м^3) горючего вещества, называется теоретически необходимым.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 кг вещества равен:

$$L_o = \frac{22,4n}{m\mu},$$

где n – количество воздуха, необходимого на горение m кмоль вещества, кмоль;
 22,4 – объем 1 кмоль газов;
 μ – молекулярная масса вещества.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 м^3 горючих газов определяется по формуле

$$L_o = \frac{n}{m},$$

где n – количество воздуха, необходимого на горение m кмоль вещества, кмоль.

Проведение работы

1. Изучить методы определения состава воздуха.
2. Определить состав воздуха одним из методов.
3. Пользуясь последними двумя цифрами номера зачетной книжки, рассчитать минимальное количество воздуха, необходимо-

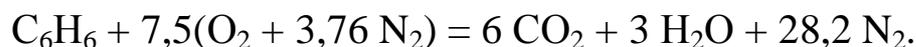
го для полного сгорания 1 кг и 1 м³ веществ (табл. 1.1) при стандартных атмосферных условиях.

Таблица 1.1 - Исходные данные для расчета расхода воздуха на горение

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Горючее вещество 1	Последняя цифра зачетной книжки	Горючее вещество 2
0	Ацетон (C ₃ H ₆ O)	0	Нонан (C ₉ H ₂₀)
1	Бензин (C _{7,0} H _{13,7})	1	Бутан (C ₄ H ₁₀)
2	Керосин (C _{11,1} H _{21,8})	2	Водород (H ₂)
3	Диэтиловый эфир (C ₄ H ₁₀ O)	3	Метан (CH ₄)
4	Гексан (C ₆ H ₁₄)	4	Пропан (C ₃ H ₈)
5	Ксилол (C ₈ H ₁₀)	5	Этан (C ₂ H ₆)
6	Стирол (C ₈ H ₈)	6	Пентан (C ₅ H ₁₂)
7	Толуол (C ₇ H ₈)	7	Октан (C ₈ H ₁₈)
8	Этиловый спирт (C ₂ H ₅ OH)	8	Гептан (C ₇ H ₁₆)
9	Метиловый спирт (CH ₃ OH)	9	Декан (C ₁₀ H ₂₂)

Пример 1. Определить объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг бензола при стандартных атмосферных условиях.

Решение. Составляем уравнение реакции горения бензола в воздухе:



Согласно уравнению реакции на горение 1 кмоль бензола требуется $n=7,5(1+3,76)=35,7$ кмоль воздуха.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 кг вещества равен:

$$L_o = \frac{22,4 n}{m \mu},$$

где n – количество воздуха, необходимого на горение 1 кмоль вещества, кмоль;

22,4 – объем 1 кмоль газов;

m – масса вещества, кг;

μ – молекулярная масса вещества.

Молекулярная масса бензола 78.

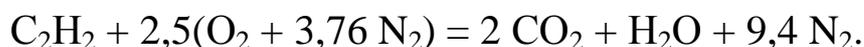
Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 кг бензола равен:

$$L_o = \frac{22,4 \cdot 35,7}{1 \cdot 78} = 10,25 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Ответ: Объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг бензола при стандартных атмосферных условиях, равен $10,25 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Пример 2. Определить объем воздуха, необходимый для сгорания 1 м³ ацетилена при стандартных атмосферных условиях.

Решение. Составляем уравнение реакции горения ацетилена в воздухе:



Согласно уравнению реакции на горение 1 кмоль ацетилена требуется $n=2,5(1+3,76)=11,9$ кмоль воздуха.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 м³ горючих газов определяется по формуле

$$L_o = \frac{n}{m},$$

где n – количество воздуха, необходимого на горение m кмоль вещества, кмоль.

Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания 1 м³ ацетилена равен:

$$L_o = \frac{11,9}{1} = 11,9 \text{ м}^3.$$

Ответ: Объем воздуха, необходимый для сгорания 1 м³ ацетилена при стандартных атмосферных условиях, равен 11,9 м³.

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, методы определения состава воздуха с изображением схем, результаты опыта, исходные данные для расчета количества воздуха для сгорания топлива, методику расчета, расчет, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. С какой целью необходимо знать состав воздуха?
2. Назовите лабораторные способы определения состава воздуха.
3. Раскройте содержание этих способов.
4. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива сжиганием фосфора.
5. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива сжиганием спирта.
6. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива сжиганием серы.
7. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива окислением оксидов азота.
8. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива поглощением кислорода щелочным раствором пирогаллола.
9. Опишите методику определения количества воздуха для сгорания топлива прокаливанием меди.
10. Как влияет состав воздуха на количество воздуха для сгорания топлива?

Лабораторная работа № 2 (4 часа)

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Цель работы

Ознакомление с методами технического анализа топлива.

Задачи работы

Определение качества образца топлива по внешним признакам, плотности, содержания фактических смол, наличия непредельных углеводородов и водорастворимых кислот и щелочей, фракционного состава.

Определение качества образца топлива по внешним признакам

Цвет образца топлива определяется просмотром в проходящем свете в пробирке из бесцветного стекла. Пробирку помещают между глазом наблюдателя и источником света. Цвет испытываемых образцов сравнивают с эталонными образцами.

Одновременно определяют прозрачность топлива; топлива с однородной фазовой структурой прозрачны. Нарушение фазовой однородности вызывает помутнение образца. Чаще всего топливо становится мутным при наличии в нем воды, которая может давать эмульсии. Прозрачность топлива сравнивают с эталонными образцами.

Определение плотности топлив

В мерный цилиндр налить топливо. Чистый и сухой ареометр (денсиметр) медленно и осторожно опустить в испытуемое топливо, придерживая его за верхний конец. После того, как ареометр прекратит колебаться, определить плотность по верхнему краю мениска. При отсчете глаз должен находиться на уровне мениска.

Температуру топлива определить по термометру. Ареометр показывает плотность топлива при температуре испытаний. Плотность при 20°C вычисляется по формуле с учетом температурных поправок:

$$\rho_{20} = \rho_t + \alpha(t - 20),$$

где ρ_t - плотность испытуемого топлива при температуре опыта;
 α - средняя температурная поправка плотности (из справочника);
 t - температура топлива при замере плотности.

Определение содержания фактических смол в топливе

Промытое и высушенное часовое стекло положить на кольцо с теплоизоляционной прокладкой, закрепленное в штативе. На стекло пипеткой осторожно по центру налить 1 мл отфильтрованного испытуемого бензина, который затем зажечь спичкой. После выгорания бензина на стекле остается правильный круг темно-желтого или коричневого цвета, диаметр которого необходимо измерить миллиметровой линейкой. Такое определение произвести не менее двух раз. Величина диаметра круга определяется как среднее арифметическое. По диаметру круга и данным таблицы определить содержание фактических смол в бензине.

Таблица 2.1 - Содержание фактических смол в топливе

Диаметр смоляного круга, мм	6,4	7,5	8,5	9,3	11,0	12,0	13,2	14,7	16,2	16,8
Содержание фактических смол, мг на 100 мл	5	10	15	25	50	75	100	125	175	225

Определение непредельных углеводородов в топливе

Топлива, в состав которых входят непредельные углеводороды, обладают плохой стабильностью; при хранении в них накапливаются значительные количества смол, органических кислот за счет реакций окисления, конденсации и полимеризации непредельных углеводородов. Смолы ухудшают процесс сгорания, увеличивают нагарообразование, накапливаются на деталях топливоподающих систем, а кислоты увеличивают коррозионный износ деталей.

Наличие непредельных углеводородов проверяют обесцвечиванием окислителей. В пробирку наливают по 3...4 см³ испытуемого топлива и водного раствора марганцево-кислого калия (KMnO₄), смесь тщательно перемешивают и дают отстояться.

При отсутствии непредельных углеводородов нижний малиново-фиолетовый слой марганцево-кислого калия не меняет свою окраску. При наличии непредельных углеводородов цвет меняется на желтый или темно-желтый.

Определение водорастворимых кислот и щелочей в топливе

Определение наличия водорастворимых кислот и щелочей выполняют по ГОСТ 6307-75. В чистую сухую делительную воронку объемом 250...300 мл налить 25 мл бензина и 25 мл горячей дистиллированной воды, нагретой до температуры 70...80°C.

Содержимое делительной воронки тщательно перемешать в течение 5 мин, периодически открывая пробку для выпуска газообразных продуктов, затем делительную воронку поместить в штатив, дать отстояться водяному слою, охладить его до комнатной температуры и осторожно слить по 3...5 мл вытяжки в две сухие пробирки.

В одну из пробирок к водной вытяжке из испытуемого бензина прибавляют 2 капли раствора метилового оранжевого и сравнивают цвет с дистиллированной водой, налитой в третью пробирку, к которой также прибавляют 2 капли раствора метилового оранжевого. Окрашивание испытуемой водной вытяжки в розовый цвет указывает на наличие в испытуемом бензине кислот.

Во вторую пробирку прибавляют 3 капли раствора фенолфталеина. Окрашивание раствора в розовый или красный цвет указывает, соответственно, на слабощелочную или щелочную реакцию.

Определение фракционного состава топлива

Фракционный состав бензина определяется по ГОСТ 2177-82 на стандартном аппарате.

Мензуркой отмеряют 100 мл бензина и осторожно переливают его в колбу аппарата. В шейку колбы вставляют термометр в плотно пригнанной пробке так, чтобы ось термометра совпала с осью шейки колбы, а верх ртутного шарика находился бы на уровне нижнего края отводной трубки в месте ее припая.

Равномерно нагревают колбу так, чтобы до падения первой капли дистиллята с конца трубки холодильника в мензурку прошло 5...10 мин.

Температуру, показываемую термометром в момент падения первой капли дистиллята в мензурку, отмечают как температуру начала кипения.

Далее перегонку вести с равномерной скоростью 20...25 капель за 10 с. Через каждые 10 мл дистиллята, полученного в мензурку, записывать показания термометра.

Концом кипения считается температура, при которой ртутный столбик термометра показывает наибольшую температуру: затем температура начинает снижаться. После этого нагрев колбы прекратить, дать стечь дистилляту в течение 5 мин и записать объем жидкости в цилиндре.

Охладить колбу до 20°C, осторожно вылить из нее остаток в мензурку вместимостью 10 мл и определить его объем.

Проведение работы

1. Определить качество образца топлива (не менее трех) по внешним признакам.

Полученные данные занести в таблицу для каждого образца топлива.

Таблица 2.2 - Характеристика образца
топлива _____ по внешним признакам
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Цвет	
2	Прозрачность	
3	Наличие воды	
4	Наличие механических примесей	
5	Заключение о соответствии топлива ГОСТу	

2. Определить плотность топлив (не менее трех).

Плотность топлива вычисляем по формуле для 20°C:

$$\rho_{20} = \rho_t + \alpha(t - 20),$$

где ρ_t - плотность испытуемого топлива при температуре опыта;

α - средняя температурная поправка плотности (таблица 5.1);

t - температура топлива при замере плотности.

Полученные данные занести в таблицу для каждого образца топлива.

Таблица 2.3 - Плотность топлива _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Плотность топлива по ареометру, °С	
2	Плотность топлива при 20 °С	
3	Заключение о соответствии топлива ГОСТу	

3. Определить содержание фактических смол в топливе.

Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 2.4 - Содержание фактических смол в топливе _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Диаметр круга после первого опыта, мм	
2	Диаметр круга после второго опыта, мм	
3	Среднее значение диаметра круга по двум опытам, мм	
4	Содержание фактических смол в топливе, мг/100 мл	
5	Допустимое содержание фактических смол в топливе по ГОСТ, мг/100 мл	
6	Заключение о качестве испытуемого топлива	

4. Определить наличие непредельных углеводородов в топливе.

Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 2.5 - Наличие непредельных
углеводородов в топливе _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Для исследований взято, мл топлива	
2	Для исследований взято, мл раствора	
3	Окраска растворителя	
4	Наличие в исследуемом образце топлива непредельных углеводородов	
5	Заключение о соответствии ГОСТу	

5. Определить содержание водорастворимых кислот и щелочей в топливе.

Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 2.6 - Содержание водорастворимых кислот
и щелочей в топливе _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Для исследований взято, мл топлива	
2	Для исследований взято, мл воды	
3	Для исследований взято, мл водной вытяжки	
4	Цвет после добавления раствора метилового оранжевого	
5	Содержание водорастворимых кислот в топливе	
6	Цвет после добавления раствора фенолфталеина	
7	Содержание щелочей в топливе	
8	Содержание водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ	

6. Определить фракционный состав топлива.
Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 2.7 - Температура начала кипения и выкипания
различных фракций топлива _____
(Марка, ГОСТ)

Наименование показателей	Температура, °С	
	Во время опыта	По ГОСТ
Начало кипения (первая капля)		
Фракции: 10 %		
20 %		
30 %		
40 %		
50 %		
60 %		
70 %		
80 %		
90 %		
Конец кипения		
Остаток в колбе, %		
Потери при разгонке, %		

По полученным данным опыта и предельным значениям ГОСТ построить два графика фракционной разгонки топлива.

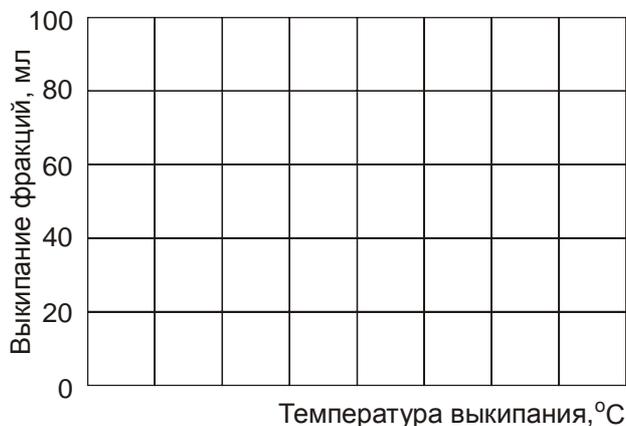


Рисунок 2.1 - График фракционной разгонки топлива _____
(Марка, ГОСТ)

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, результаты определения качества образца топлива по внешним признакам, плотности, содержания фактических смол, наличия непредельных углеводородов и водорастворимых кислот и щелочей, фракционного состава, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Что такое плотность жидкого топлива и как она измеряется?
2. Для чего нужно знать плотность топлива?
3. Как определить плотность газообразного топлива?
4. Каковы особенности методики экспресс-метода определения содержания фактических смол в топливе?
5. Как определить наличие непредельных углеводородов в топливе?
6. Как определить наличие водорастворимых кислот и щелочей в топливе?
7. Как определить фракционный состав жидкого топлива на примере бензина?

Лабораторная работа № 3 (4 часа)

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ВЕЩЕСТВ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ

Цель работы

Ознакомление со способами воспламенения веществ при химических реакциях.

Задачи работы

Изучить способы воспламенения веществ при химических реакциях. Прodelать опыт одним из способов. Описать химический процесс при воспламенении веществ.

Воспламенение перманганатом калия

Глицерин. Глицерин ($C_3H_5(OH)_3$) – представитель трехатомных спиртов. Это бесцветная густая сладкая на вкус жидкость, растворяется в воде. Растворы глицерина в воде имеют низкую температуру замерзания. При реакции с окислителями – перманганатом калия ($KMnO_4$), перекисью натрия (Na_2O_2), хлорной известью ($Ca(OCl)_2$) – глицерин самовозгорается.

Около 0,2...0,3 г (1/5 чайной ложки) мелкого порошка перманганата калия насыпать кучкой на металлическую крышку, помещенную на асбестированную сетку. В небольшое углубление в середине кучки пипеткой капнуть две капли глицерина. С момента падения первой капли глицерина в марганец секундомером засечь время. Определить время в секундах, через которое произойдет кипение и воспламенение смеси.

То, что самовозгорание происходит не сразу, объясняется сложностью процесса взаимодействия. На первой стадии его в результате реакции глицерина с перманганатом образуется марганцевая кислота, которая тут же распадается:



Марганцовый ангидрид – неустойчивое вещество. Он разлагается с выделением атомарного кислорода:



Атомарный кислород является сильным окислителем и немедленно реагирует с глицерином, вызывая его самовозгорание.

Этиловый спирт. На металлическую крышку, помещенную на асбестированную сетку, насыпать около 1 г мелкого порошка перманганата калия и осторожно облить с помощью пипетки концентрированной серной кислотой так, чтобы масса не растекалась. Из пипетки приливать к смеси по каплям спирт. Каждая капля вызывает появление пламени. Тот же результат получается с диэтиловым эфиром.

Ацетон. Ацетон – бесцветная легковоспламеняющаяся жидкость с характерным эфирным запахом. Ацетон самовозгорается при контакте с сильными окислителями: смесью серной кислоты с перманганатом калия, перекисью натрия, хромовым ангидридом.

Воспламенение оксидом хрома CrO_3

Оксид хрома (CrO_3) – кристаллическое вещество темно-малинового цвета. Может быть получен при взаимодействии насыщенного раствора дихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (хромпика) с концентрированной серной кислотой.

Оксид хрома является сильным окислителем. При попадании на хромовый ангидрид воспламеняются следующие жидкости: метиловый, этиловый, бутиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты, уксусный, масляный, бензойный, пропионовый альдегиды и паральдегид; диэтиловый эфир, этилацетат, амилацетат, метилдиоксан, диметилдиоксан; уксусная, пеларгоновая, нитрилакриловая кислоты; ацетон.

Этиловый спирт. В фарфоровую чашку поместить немного мелкого красного порошка сухого оксида хрома CrO_3 и пипеткой приливать спирт. Происходит воспламенение.

Метиловый спирт. Метиловый спирт – легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость, смешивающаяся с водой в любом соотношении, а также со многими органическими веществами. Метиловый спирт очень ядовит.

Метиловый спирт при контакте с хромовым ангидридом и перекисью натрия самовозгорается.

Бензол. Бензол (C_6H_6) – легковоспламеняющаяся, подвижная, бесцветная, нерастворимая в воде жидкость со своеобразным запахом. Пары бензола ядовиты. При смешивании бензола с окислителями – хромовым ангидридом (CrO_3), пероксидом натрия (Na_2O_2) – происходит разогревание. Очевидно, возможно и загорание.

Воспламенение азотной кислотой

При соприкосновении с азотной кислотой самовозгораются скипидар и этиловый и метиловый спирты.

Растительные материалы (солома, лен, хлопок, древесные опилки и стружки) самовозгораются, если на них попадает концентрированная азотная кислота.

В фарфоровую чашку, опущенную на дно стакана, налить дымящую азотную кислоту и добавить осторожно из пипетки 5 мл метилового спирта. Происходит энергичное окисление с воспламенением спирта и выделением бурых оксидов азота.

Глицерин. При взаимодействии глицерина с азотной кислотой в присутствии серной образуется тринитроглицерин (сложный эфир). Тринитроглицерин – одно из сильнейших взрывчатых веществ, взрывается от удара, сотрясения, взрыва запала гремучей ртути, в результате саморазложения.

Тринитротолуол. Тринитротолуол (тротил) – твердое кристаллическое вещество желтого цвета, плотностью $1,66 \text{ г/см}^3$, с температурой плавления 81°C , температурой самовоспламенения $290\dots 295^\circ\text{C}$. При длительном нагревании тринитротолуол окисляется азотной кислотой.

Воспламенение перекисью натрия

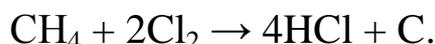
При соприкосновении с перекисью натрия способны самовозгораться следующие горючие и легковоспламеняющиеся жидкости: метиловый, этиловый, пропиловый, бутиловый, изоамиловый и бензиловый спирты, этиленгликоль, диэтиловый эфир, анилин, скипидар, ацетон и уксусная кислота.

Этилацетат. Этилацетат – вещество с приятным, ароматным запахом, легко испаряется, плохо растворяется в воде. Этилацетат самовозгорается в контакте с перекисью натрия (Na_2O_2) в присутствии воды, с хромовым ангидридом (CrO_3), с перманганатом калия (KMnO_4), с хлоратом калия (KClO_3) в присутствии серной кислоты.

Воспламенение хлором

Метан. Метан (CH_4) – газ без цвета и запаха, малорастворим в воде, легче воздуха.

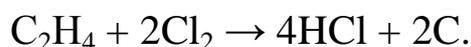
С хлором метан образует смесь, взрывающуюся при действии на нее солнечного света (пламени горящего магния, пламени ацетиленового и т.д.). Это объясняется тем, что молекулы хлора, поглощая энергию световых лучей, способны диссоциировать на атомы. Атомы хлора энергично вступают в реакцию с молекулами метана, происходит взрыв, в результате которого образуется углерод и хлористый водород:



Взрыв смеси метана с хлором может произойти и при нагревании до 150°C .

Этилен. Этилен (C_2H_4) – бесцветный газ со слабым эфирным запахом, немного легче воздуха, плохо растворим в воде, ядовит.

Этилен способен самовозгораться в атмосфере хлора:



Эта реакция протекает, как правило, со взрывом, особенно если на приготовленную смесь попадает солнечный свет.

Ацетилен. Ацетилен (C_2H_2) – бесцветный газ, имеющий в чистом состоянии слабый эфирный запах.

Ацетилен от контакта с хлором, бромом и фтором самовозгорается, что можно продемонстрировать следующим опытом. В цилиндр, заполненный хлором, осторожно внести стеклянную трубку, по которой поступает ацетилен. Как только трубка окажется в атмосфере хлора, ацетилен, выходящий из нее, загорается. Образуется сильно коптящее пламя. Реакцию горения ацетилена в хлоре можно представить уравнением



Если в смесь хлора с ацетиленом попадает воздух, происходит взрыв.

Диэтиловый эфир. Диэтиловый эфир – бесцветная подвижная жидкость с температурой кипения $35,6^\circ C$, замерзания $117^\circ C$. Эфир плохо растворим в воде, легче воды и имеет специфический запах.

Диэтиловый эфир самовозгорается при контакте с сильными окислителями: хлором, озоном, перекисью натрия, азотной кислотой, со смесью перманганата калия и серной кислоты.

Воспламенение на воздухе

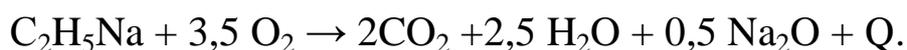
Диэтиловый эфир. Пары диэтилового эфира почти в 2,5 раза тяжелее воздуха и образуют с ним взрывчатые смеси.

Галогенсиланы. Галогенсиланы (кремнийорганические соединения) – летучие легковоспламеняющие жидкости. Пары их с воздухом образуют взрывоопасные смеси в широком интервале концентраций.

Металлорганические соединения. Metallорганические соединения легких металлов и отдельные соединения средних металлов являются пирофорами, так как имеют температуру самовоспламенения ниже $0^\circ C$. Например, метилнатрий (CH_3Na) имеет температуру самовоспламенения ниже $-100^\circ C$, триэтилалюминий ($(C_2H_5)_3Al$)

самовоспламеняется при -68°C , диэтилалюминийхлорид $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{AlCl}$ – при -60°C . На воздухе эти соединения самовозгораются, с водой взаимодействуют бурно со взрывом; загораются в атмосфере углекислого и сернистого газов.

Органические соединения щелочных металлов на воздухе самовоспламеняются со взрывом:



Металлорганические соединения алюминия, магния, цинка самовоспламеняются спокойно:



Алюминийорганические соединения. Алюминийорганические соединения – пирофорные жидкости, самовоспламеняющиеся на воздухе. Они легко взаимодействуют с эфиром, образуя комплексные соединения – эфиры алюминийалкилов. Эти эфиры бесцветные, легкоподвижные жидкости, на воздухе сильно дымят и самовозгораются.

Алюминийгалогидалкилы. Алюминийгалогидалкилы, например $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{AlCl}$, – жидкости от коричневого до темно-коричневого цвета, разлагающиеся при температуре выше 130°C с выделением свободного галогена. На воздухе дымят и самовозгораются.

Карбонилгидрид железа. Карбонилгидрид железа $(\text{Fe}(\text{CO})_4\text{H}_2)$ – желтоватая жидкость с отвратительным запахом. На воздухе самовозгорается со взрывом.

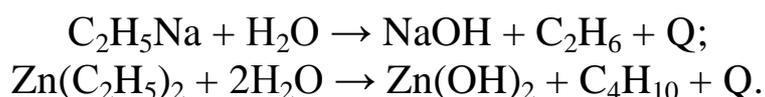
Низшие фосфины. Низшие фосфины – фосфины, содержащие низшие алкильные радикалы, являются жидкими веществами с отвратительным запахом. Низшие фосфины на воздухе самовоспламеняются.

Неполные фосфиты. Неполные фосфиты (диметилфосфит, диэтилфосфит, дипропилфосфит, дибутилфосфит) – сложные эфиры фосфористой кислоты. Неполные фосфиты на воздухе самовоспламеняются.

Воспламенение водой

Органические соединения легких металлов. Взаимодействие органических соединений легких металлов и некоторых средних с водой протекает со взрывом.

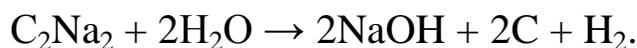
Например:



Вымытую чашечку наполняют на 3/4 объема чистой водой и, отрезав кусочек натрия, кладут его на поверхность воды в середине чашечки. Натрий плавится от теплоты реакции, шарик «бежит» в воде. Под конец может происходить разбрызгивание щелочи и воспламенение выделяющегося водорода.

При действии калия на воду реакция идет еще энергичнее, чем при действии натрия. Выделяющийся водород загорается и горит фиолетовым пламенем, при этом сгорает и часть калия с образованием белого дыма, состоящего из твердых частиц пероксида калия.

Ацетиленид натрия. Ацетиленид натрия (C_2Na_2) – белый порошок, нерастворимый в растворителях. Кислород и сухой воздух на него не действуют. С водой ацетиленид натрия взаимодействует со взрывом:



Алюминийгалоидалкилы, эфиры алюминийалкилов. Алюминийгалоидалкилы и эфиры алюминийалкилов со взрывом взаимодействуют с водой.

Воспламенение в атмосфере углекислого газа

Металлорганические соединения. Многие металлорганические соединения легких и средних металлов (натрия, бериллия, алюминия, магния и т.д.) самовозгораются в атмосфере оксида уг-

лерода, хлористого водорода, накаляются до свечения в атмосфере сернистого газа:



Проведение работы

1. Изучить и записать способы воспламенения веществ при химических реакциях.

Результаты изучения занести в таблицу.

Таблица 3.1 - Воспламенение веществ при химических реакциях

№ п/п	Вещество	Вещество, при взаимодействии с которым происходит воспламенение
1	Глицерин	
2	Этиловый спирт	
3	Метиловый спирт	
4	Пропиловый спирт	
5	Бутиловый спирт	
6	Изобутиловый спирт	
7	Изоамиловый спирт	
8	Бензиловый спирт	
9	Уксусный альдегид	
10	Масляный альдегид	
11	Бензойный альдегид	
12	Пропионовый альдегид	
13	Паральдегид	
14	Диэтиловый эфир	
15	Этилацетат	
16	Амилацетат	
17	Метилдиоксан	
18	Диметилдиоксан	
19	Уксусная кислота	
20	Пеларгоновая кислота	
21	Нитрилакриловая кислота	
22	Ацетон	

Продолжение таблицы 3.1

23	Скипидар	
24	Бензол	
25	Солома	
26	Лен	
27	Хлопок	
28	Древесные опилки и стружки	
29	Тринитротолуол (тротил)	
30	Этиленгликоль	
31	Анилин	
32	Метан	
33	Этилен	
34	Ацетилен	
35	Галогенсиланы	
36	Метилнатрий	
37	Триэтилалюминий	
38	Диэтилалюминийхлорид	
39	Органические соединения щелочных металлов	
40	Металлорганические соединения алюминия	
41	Металлорганические соединения магния	
42	Металлорганические соединения цинка	
43	Алюминийгалоидалкилы	
44	Эфираты алюминийалкилов	
45	Карбонилгидрид железа	
46	Низшие фосфины	
47	Неполные фосфиты	
48	Ацетиленид натрия	

2. Прodelать опыт одним из способов.
3. Описать химический процесс при воспламенении веществ.
4. Результаты опыта занести в таблицу.

Таблица 3.2 - Опытные данные химической реакции

Вещество 1 (химическая формула)	Вещество 2 (химическая формула)	Время кипения смеси	Время воспламенения смеси

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, описание способов воспламенения веществ при химических реакциях, таблицу воспламенения веществ при химических реакциях, методику проведения выполняемого опыта, химизм опыта, таблицу опытных данных, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Назовите способы воспламенения веществ при химических реакциях.
2. Раскройте содержание этих способов.
3. Для чего нужно знать название веществ, при воздействии которых друг с другом происходит воспламенение?
4. Опишите методику воспламенения перманганатом калия.
5. Опишите методику воспламенения оксидом хрома.
6. Опишите методику воспламенения азотной кислотой.
7. Опишите методику воспламенения перекисью натрия.
8. Опишите методику воспламенения хромовым ангидридом.
9. Опишите методику воспламенения натрием и калием.

Лабораторная работа № 4 (4 часа)

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПЛАМЕНИ

Цель работы

Ознакомление со строением и свойствами пламени.

Задачи работы

Изучить строение и свойства пламени.

Структура пламени

Пространство, в котором сгорают пары и газы, называется пламенем или факелом. Пламя может быть кинетическим или диффузионным в зависимости от того, горит ли заранее подготовленная смесь паров или газов с воздухом или такая смесь образуется в пламени в процессе горения. В условиях пожара газы, жидкости и твердые вещества горят диффузионным пламенем.

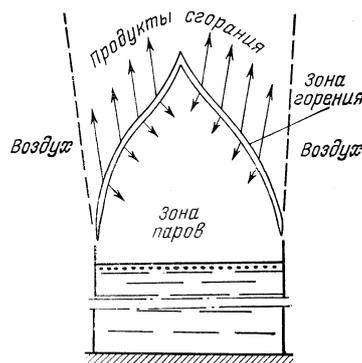


Рисунок 4.1 - Строение ламинарного диффузионного пламени

Структура диффузионного пламени существенно зависит от сечения потока горючих паров и газов и его скорости. По характеру потока различают ламинарное и турбулентное диффузионное пламя. Ламинарное пламя возникает при малых сечениях потока паров

или газов, движущихся с небольшой скоростью (пламя свечи, спички, газа в горелке небольшого диаметра и т. д.). При пожарах образуется турбулентное пламя. Оно меньше изучено, и для объяснения этого явления используют положения теории ламинарного пламени. На рис. 1 показано строение ламинарного диффузионного пламени жидкости, горящей в сосуде небольшого диаметра.

Пламя состоит из зоны горения и зоны паров, последняя занимает почти весь объем пламени. Подобное по строению пламя образуется также при горении газов и твердых веществ, если скорость движения газов и паров соответствует ламинарному режиму. Зона горения в диффузионном пламени представляет собой очень тонкий слой, в котором протекает реакция горения. Превращение веществ и выделение тепла в этом слое вызывают возникновение молекулярной диффузии в прилегающих к нему слоях воздуха и горючего. Причиной молекулярной диффузии является разность парциальных давлений и температур газов, участвующих в горении.

На рис. 4.2 показана схема распределения концентраций газов и паров в ламинарном диффузионном пламени и окружающей его среде. Эта схема отражает процессы диффузии, происходящие в пламени.

Образующиеся в зоне горения продукты сгорания диффундируют как в воздух, так и в горючие пары и газы (см. рис. 4.1). В пламени малого размера (на рис. 4.2 диаметр горелки равен 6,53 мм) продукты сгорания находятся во всем объеме зоны паров и газов, а в пламени большого размера только в слое, прилегающем к зоне горения (см. рис. 4.1).

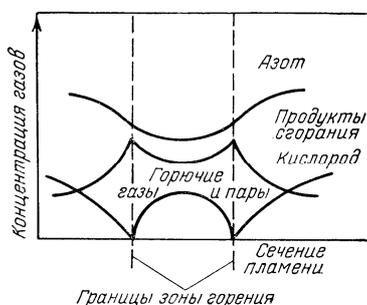


Рисунок 4.2 - Распределение концентраций газов и паров в ламинарном диффузионном пламени

Концентрация кислорода в зоне горения равна нулю, так как он полностью вступает в реакцию. Вследствие этого кислород в зону паров диффундировать не может, и горение в ней отсутствует. Отсутствие горения в зоне паров и газов можно продемонстрировать на следующем опыте.

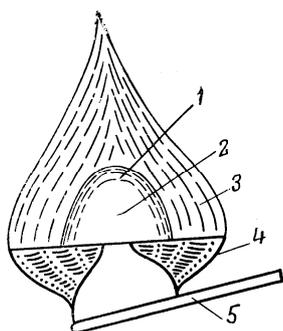


Рисунок 4.3 - «Окно» в зоне горения:

1 – зона горения; 2 – «окно»; 3 – пламя; 4 – сосуд; 5 - лучина

В плоский сосуд диаметром 5...6 см (рис. 4.3) наливают горячую жидкость и зажигают ее. Когда жидкость разгорится, снизу к краю сосуда подносят горящую лучину. Продукты сгорания от лучины огибают край сосуда и движутся вверх, прекращая доступ кислорода к пламени. В месте соприкосновения продуктов сгорания лучины с пламенем горения не наблюдается. В образовавшееся отверстие («окно») можно видеть, что горение в зоне паров и газов отсутствует, и зона горения, видимая по ее свечению, представляет собой тонкий газовый слой.

Отсутствие кислорода в зоне горения вызывает диффузию в нее воздуха из окружающей среды. Воздух диффундирует через слой продуктов сгорания, поэтому концентрации кислорода и азота по мере приближения к зоне горения понижаются (см. рис. 4.2). Поступающий в зону горения кислород реагирует с диффундирующим в нее горючим, а азот диффундирует в зону паров и газов. В результате этого состав горючей смеси по фронту пламени стремится к стехиометрическому.

Температура в зоне паров значительно ниже, чем в зоне горения. Так, в пламени керосина (рис. 4.4) температура потока паров около поверхности жидкости равна температуре ее кипения.

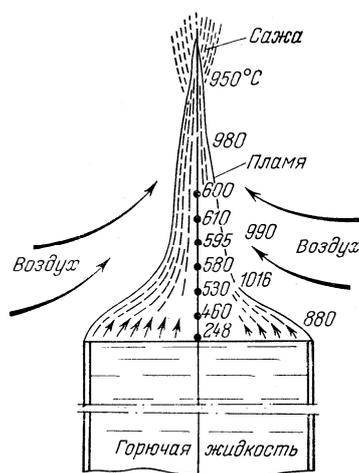


Рисунок 4.4 - Температура зон пламени при горении керосина

По мере движения потока к зоне горения температура паров (на рис. 4.4 точки на вертикальной линии) повышается: сначала за счет излучения зоны горения, а затем в результате диффузии из нее нагретых продуктов сгорания. Нагрев обуславливает термическую диссоциацию паров около зоны горения; при этом образующиеся свободные атомы и радикалы совместно с продуктами сгорания поступают в зону горения. Атомы углерода, поступая в зону горения, возбуждаются и, будучи некоторое время в свободном состоянии, светятся. Если вместо углерода вводить в пламя частицы других твердых веществ, пламя приобретает иной, чем при горении углерода, цвет. Так, если в несветящее пламя метилового спирта ввести соль стронция, то пламя окрасится в красный цвет, при введении соли меди - в синий или зеленый.

Температура зоны горения пламени меняется по его высоте. Объясняется это изменением состава стехиометрической смеси в зоне горения и затратой тепла на нагрев поступающего в нее воздуха. В нижней части пламени хотя и образуется стехиометрическая смесь с наибольшей теплотой горения, однако температура горения не является здесь максимальной, так как значительное количество

тепла затрачивается на нагрев холодного воздуха. В средней части пламени теплота горения стехиометрической смеси меньше, чем в нижней, что обусловлено диффузией в нее продуктов сгорания, однако поступающий в зону горения нагретый воздух компенсирует потери тепла, и температура горения в этой части пламени является максимальной. В верхней части диффузионного пламени стехиометрическая смесь имеет еще меньшую теплоту горения, и нагретый воздух, поступающий для ее образования, не может компенсировать всех потерь тепла, поэтому температура горения здесь минимальная. Поэтому в верхней части пламени часто образуется сажа. Турбулентное пламя отличается от ламинарного тем, что не имеет четких очертаний и постоянного положения фронта пламени. Температура его при горении нефтепродуктов составляет: 1200°С для бензина, 1100°С для керосина тракторного, дизельного топлива, сырой нефти и 1000°С для мазута. При горении древесины в штабелях температура турбулентного пламени составляет 1200...1300 °С.

Определение наличия в пламени горючих газов

Для изучения пламени можно воспользоваться, например, парафиновой свечой. Свече следует дать предварительно погореть некоторое время в защищенном от колебания воздуха месте, чтобы сгорела верхняя суженная часть и чтобы вокруг фитиля образовалось правильное углубление.

Во внутренней темной части пламени свечи находятся горючие газы, которые можно вывести из пламени стеклянной трубочкой и зажечь. Не очень толстостенную трубку длиной 10 см, диаметром 5...7 мм укрепить в проволочной держалке, прогреть ее предварительно в пламени лабораторной спиртовки (чтобы горючие пары не конденсировались в трубке), ввести трубку несколько наклонно в темную часть пламени и через некоторое время зажечь отходящие газы у верхнего конца (рис. 4.5).

Для успеха опыта важно, чтобы около свечи не было сильного движения воздуха. Размеры и наклон стеклянной трубки также имеют значение. Пламя у конца трубочки получается достаточных размеров и не гаснет в течение долгого времени.

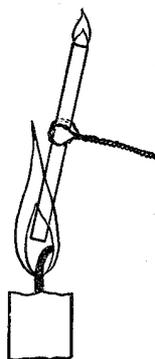


Рисунок 4.5 - Метод определения наличия в пламени горючих газов

Выполнить опыт с лабораторной спиртовкой. Зажечь лабораторную спиртовку, установив фитиль на такой высоте, чтобы получилось не очень большое пламя (длиной около 10 см); фитиль полезно подрезать, чтобы он был ровный, нерастрепанный. Прогреть в пламени стеклянную трубочку длиной 10 см и диаметром 9 мм. Установить трубочку наклонно, держа нижний конец ее внутри пламени, как в опыте со свечой. Зажечь выходящие через трубочку пары спирта. Для успеха опыта нужно найти надлежащий наклон трубочки. Нижний конец ее должен находиться на расстоянии около 1 см от верхнего конца фитиля.

Определение приближенного строения пламени

Для определения самой горячей части пламени внести в пламя свечи бумагу, держа ее натянутой горизонтально над самым фитилем, но не касаясь его. Когда на бумаге сверху обозначится круг, вынуть бумагу из пламени. На верхней поверхности бумаги круг виден лучше, чем на нижней, так как на последней имеется слой копоти.

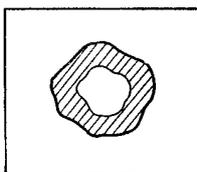


Рисунок 4.6 - Проекция пламени на плоскость

Бумага должна быть требуемой толщины и плотности. Получается как бы проекция пламени на плоскость (рис. 4.6).

Установить у спиртовки маленькое пламя длиной 6...7 см. Внести в него натянутую горизонтально полоску бумаги и держать ее на расстоянии 1...1,5 см от верха фитиля. На бумаге получается очень отчетливый круг.

Определение температуры пламени

Для определения температуры пламени дать предварительно погореть парафиновой свече, чтобы вокруг фитиля образовалось правильное углубление. Установить конец термопары в точке T_1 (рис. 4.7) и выдержать 5 минут.

Записать показания логомера. Переместить свечу таким образом, чтобы конец термопары оказался в точке T_2 . Выдержать 5 минут и записать температуру T_2 и далее таким же образом замерить температуру в точках T_3 , T_4 и T_5 .

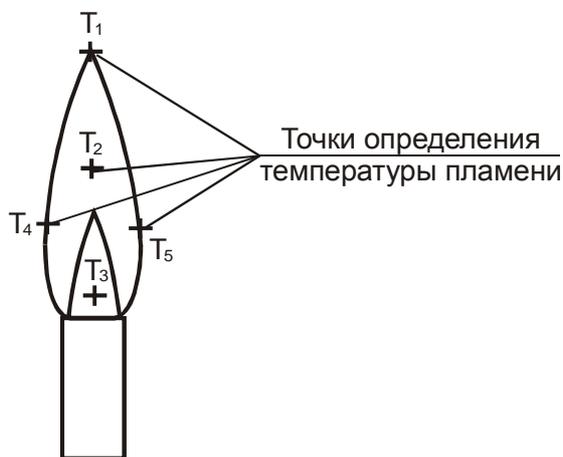


Рисунок 4.7 - Точки определения температуры пламени

Выполнить опыт по указанной методике с пламенем спиртовки.

Проведение работы

1. Изучить структуру пламени.
2. Определить наличие в пламени горючих газов.
Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 4.1 - Наличие в пламени горючих газов

Источник пламени	Наличие в пламени горючих газов	Характеристика пламени горючих газов

3. Определить приближенное строение пламени.
Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 4.2 - Строение пламени

Источник пламени	Проекция пламени на плоскость	Характеристика пламени

4. Определить температуру пламени (рис. 4.7).
Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 4.3 - Температура пламени

Источник пламени	Температура, °С					Характеристика пламени
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	

Для каждого вида пламени построить в масштабе векторы температур согласно рис. 4.8.

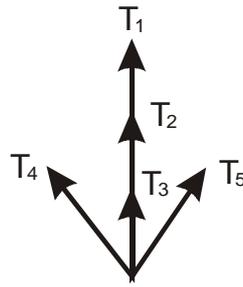


Рисунок 4.8 - Векторы температур пламени

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, описание структуры и строения ламинарного диффузионного пламени, схему строения ламинарного диффузионного пламени, схему распределения концентраций газов и паров в ламинарном диффузионном пламени и ее описание, схему оборудования для определения наличия в пламени горючих газов и таблицу опытных данных, результаты определения приближенного строения пламени, схему определения температуры пламени, таблицу опытных данных, векторы температур пламени, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Что называется пламенем?
2. Что такое кинетическое пламя?
3. Что такое диффузионное пламя?
4. Что такое турбулентное пламя?
5. Что такое ламинарное пламя?
6. Опишите методику определения наличия в пламени горючих газов.
7. Опишите методику определения приближенного строения пламени.
8. Опишите методику определения температуры пламени.

Лабораторная работа № 5 (4 часа)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВ

Цель работы

Ознакомление с методами определения теплоты сгорания топлив. Расчет теплоты сгорания топлив.

Задачи работы

Изучить методы определения теплоты сгорания топлив. Определить и рассчитать теплоту сгорания некоторых видов топлив.

Общие сведения

Теплота сгорания (теплотворная способность) - количество тепла, которое выделяется при полном сгорании единицы массы топлива - 1 кг жидкого или твердого, 1 м³ газообразного. По международной системе единиц СИ ее измеряют в джоулях (Дж). Этот показатель является одной из важнейших характеристик топлива: по его величине оценивают энергетические возможности топлива, его влияние на экономическую эффективность.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания. За высшую теплоту сгорания Q_v принимают все тепло, выделяющееся при сгорании 1 кг топлива, включая количество тепла, которое выделяется при конденсации паров как воды, образовавшейся при сгорании содержащегося в топливе водорода, так и воды, содержащейся в самом топливе. При определении низшей теплоты сгорания Q_n тепло, выделяющееся при конденсации паров воды из продуктов сгорания, не учитывается. Оценивая теплоту сгорания топлива, обычно пользуются значениями низшей теплоты сгорания.

Низшая удельная теплота сгорания – это теплота сгорания, получаемая в практических условиях.

Теплоту сгорания определяют как расчетным путем, так и экспериментально. Рассчитывают теплоту сгорания, пользуясь эмпирическими формулами, предложенными Д.И. Менделеевым:

$$Q_{\text{в}}=339C+1256H-109(O-S),$$

$$Q_{\text{н}}=339C+1030H-109(O-S)-25,12W,$$

где $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{н}}$ - высшая и низшая теплота сгорания топлива, соответственно, кДж/кг;

C , H , O , S , W - содержание в топливе углерода, водорода, кислорода, серы и влаги, % (об.).

Теплота сгорания топлива зависит от его химического состава. Причем наибольшей массовой теплотой сгорания обладает водород - 121000 кДж/кг (теплота сгорания углерода 34100 кДж/кг). Поэтому углеводороды, богатые водородом (например, парафиновые), имеют большую массовую теплоту сгорания, чем углеводороды с меньшим содержанием водорода (например, ароматические). Объемная теплота сгорания возрастает от парафиновых углеводородов к нафтеновым и ароматическим в связи с увеличением их плотности.

Определение теплоты сгорания горючих газовых смесей в калориметрах

Для определения теплоты сгорания газа в лабораторной практике довольно широко используется калориметрическая установка типа КЛП-1. Принцип работы этой установки основан на сжигании определенного объема газа. Вся выделившаяся теплота поглощается водой, непрерывно проходящей через калориметр. Количество воды и температура ее нагрева измеряются во время проведения эксперимента. Потери теплоты в окружающее пространство незначительны, и обычно ими пренебрегают при работе с данным прибором. Теплота сгорания газа подсчитывается по объему сгоревшего газа, количеству и температуре нагрева воды, прошедшей через калориметр.

Установка (рис. 5.1) состоит из калориметра 7, газовых часов 1, регулятора давления 4, горелки, напорного бака, технических весов и сборников воды.

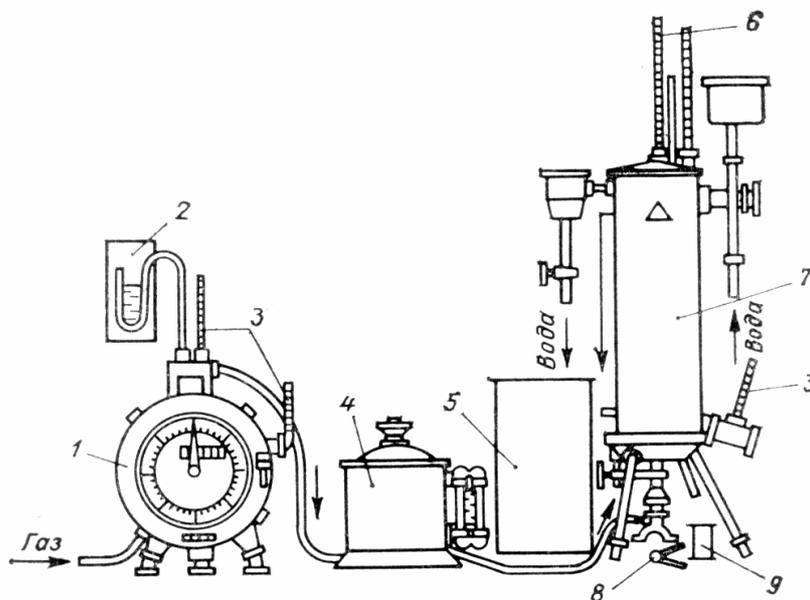


Рисунок 5.1 - Схема калориметрической установки:

- 1 - газовые часы; 2 - манометр, 3 - термометры; 4 - регулятор давления;
5 - сосуд для сбора воды, вытекающей из калориметра; 6 - термометры;
7 - калориметр; 8 - зеркало; 9 - мензурка для сбора конденсата

Калориметр (рис. 5.2) представляет собой металлический цилиндр с двойными стенками, внутри которого имеются еще несколько цилиндров. Цилиндры заключены в металлический кожух, к которому прикреплены три ножки с установочными винтами, с помощью которых калориметр устанавливается вертикально по отвесу. Во внутреннем цилиндре имеется камера 1, где происходит сгорание топлива в газовой горелке 2. Продукты горения поступают вверх, а затем по трубкам опускаются вниз и через выхлопную трубу 6 выходят в атмосферу. На выхлопной трубе имеется термометр 7 со шкалой от 0 до 50°C с ценой деления 1°C и шибер 5, с помощью которого регулируется скорость газов, проходящих через калориметр. Между стенками цилиндра протекает вода, которая воспринимает теплоту отходящих газообразных продуктов сгорания, нагревается и собирается в сосуде. Степень нагрева воды контроли-

руется двумя термометрами 12 и 13, поставленными на входе и выходе воды. Поступление воды из специального бака или водопровода регулируется распределительным краном 16, который позволяет излишек воды направлять в канализацию. Снизу калориметр снабжен краном для сбора конденсата, образующегося при сгорании водорода и углеводородных газов.

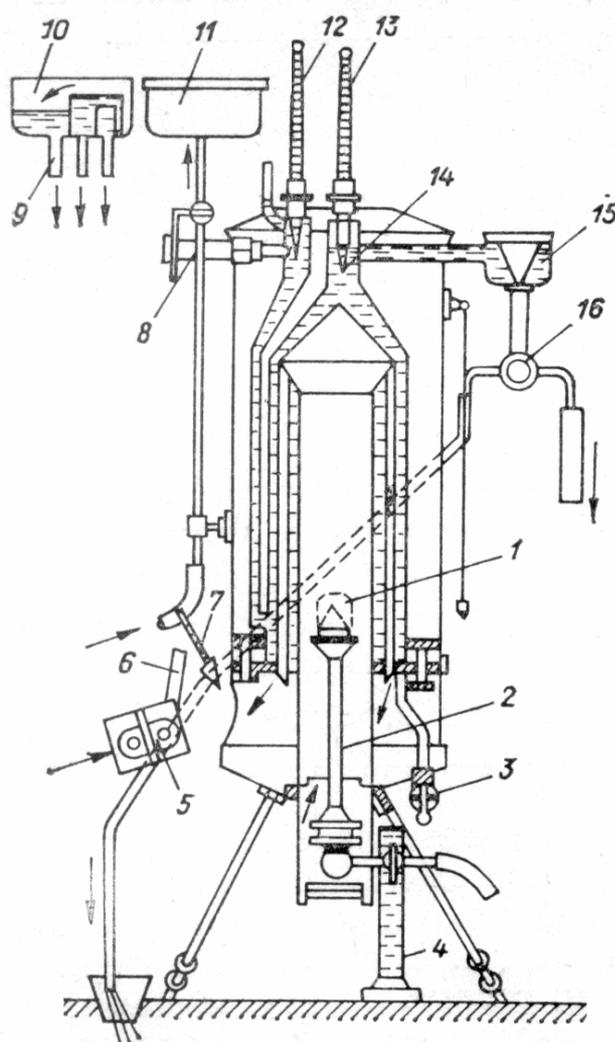


Рисунок 5.2 - Схематический разрез калориметра:

- 1 - камера горения; 2 - газовая горелка; 3 - спускной кран; 4 - мерный цилиндр; 5 - шибер; 6 - выхлопная труба; 7, 12, 13 - термометры; 8 - штуцер; 9 - стеклянная трубка; 10 - переливная воронка; 11 - приемник для воды; 14 - устройство для перемешивания; 15 - воронка; 16 - распределительный кран

Газовые часы, или газовый счетчик, служат для измерения объема газа. Газовый счетчик снабжен водяным U-образным манометром со шкалой 0-100 мм и термометрами со шкалой 0-50°C с ценой деления 1°C.

Регулятор давления представляет собой газгольдер и служит для выравнивания давления сгорающего газа. Он включается перед подачей газа в горелку.

Газовая горелка устроена по принципу обычной лабораторной газовой горелки и снабжена тремя насадками с отверстиями различных размеров, которые устанавливаются на горелку в зависимости от калорийности газа.

Напорный бак вместимостью 100-200 л с шаровым клапаном предназначен для питания калориметра водой комнатной температуры. Такая вода позволяет легче, чем вода из водопровода, достичь устойчивости в показаниях термометров на входе и выходе воды из калориметра и уменьшить потери тепла системы в окружающую среду. В качестве сборника нагретой воды применяют два одинаковых цилиндра.

В собранной установке открывают вентиль напорного бака и впускают воду в приемник для воды 11 (рис. 5.2), откуда через переливную воронку 10 и штуцер 8 вода поступает в водяную камеру. Пройдя калориметр, вода выливается в воронку 15 и через распределительный кран 16 в канализацию. Для вытеснения воздуха через горелку в калориметр пропускают 5-10 л анализируемого газа. Зажигают горелку и с помощью ее движка устанавливают пламя не выше 5 см. Затем горелку помещают в камеру горения калориметра таким образом, чтобы она не касалась стенок камеры. За этим следят, пользуясь зеркалом 8 (рис. 5.1).

Распределительным краном 16 устанавливают приток воды в калориметр в зависимости от показаний термометров 12 и 13. Разница в показаниях термометров на входе и выходе воды должна находиться в пределах 10-12°C, а термометр 7 должен показывать температуру, близкую к комнатной. В этих условиях потери теплоты в окружающую среду будут незначительными, и ими можно пренебречь. Проверяют возможность легкого перевода отводящей

трубки из положения «Канализация» в положение «Сбор теплой воды» и обратно.

После установления в течение 5 мин постоянной разницы температуры воды по термометрам 12 и 13 на входе и выходе воды приступают к замерам для определения теплоты сгорания газа. Для этого отсчитывают показания газового счетчика и переключают отводную трубку на положение «Сбор теплой воды». В течение всего опыта через каждую минуту записывают показания термометров 12 и 13 и температуру газа, поступающего в газовый счетчик.

По окончании опыта переключают трубку на положение «Канализация», проводят отсчет количества сгоревшего газа, записывают температуру входящей и выходящей воды, продуктов горения и окружающего воздуха. Взвешивают воду, прошедшую через калориметр, и собранный конденсат.

Для определения Q_v сжигают 10 л газа, а для определения Q_n - до 50 л (для более точного учета количества собираемого конденсата). Из показаний термометров во время опыта находят среднее арифметическое значение, которое принимают при расчетах.

Q_v рассчитывают по формуле, кДж/м³,

$$Q_v = \frac{4,2P_1(t_2 - t_1)}{V_o},$$

где P_1 – масса воды, прошедшей через калориметр, кг;

t_2 – средняя температура воды, входящей в калориметр, °С;

V_o – объем сгоревшего газа, приведенный к нормальным условиям, м³.

Q_n рассчитывают по формуле, кДж/м³,

$$Q_n = Q_v - Q_{\text{конд}} = Q_v - \frac{2512 P_2}{V_o},$$

где P_2 – масса конденсационной воды, кг;

2512 – удельная теплота конденсации воды, кДж/кг.

Определение теплоты сгорания жидких топлив

Теплота сгорания жидкого топлива – важнейшая энергетическая характеристика, которая является функцией химического состава и молекулярной массы топлива.

Теплоту сгорания жидких топлив определяют экспериментально сжиганием топлива в калориметре. Кроме того, теплоту сгорания подсчитывают по значениям плотности и анилиновой точки.

Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и косвенно отражает содержание ароматических углеводородов в нем. Ароматические углеводороды имеют наибольшие плотности и наименьшие анилиновые точки и в тоже время обуславливают наибольшую теплоту сгорания на единицу массы. Между плотностью, анилиновой точкой и низшей теплотой сгорания топлива Q_n установлена следующая зависимость, кДж/кг:

$$Q_n = 4,2[9940 + (t^a + 17,8)K],$$

где t^a – равнообъемная анилиновая точка испытуемого топлива, °С;

K – коэффициент, который вычисляется с точностью до 0,01 по формуле

$$K = \frac{15,65}{\rho_{20} + 4,44\alpha} - 14,56,$$

где ρ_{20} – плотность испытуемого топлива, приведенная к 20°С;

α – средняя температурная поправка плотности на 1°С.

Для определения плотности испытуемого топлива необходимо налить его в мерный цилиндр. Чистый и сухой ареометр (денсиметр) медленно и осторожно опустить в топливо, придерживая его за верхний конец. После того, как ареометр прекратит колебаться, определить плотность по верхнему краю мениска. При отсчете глаз должен находиться на уровне мениска.

Температуру топлива определить по термометру. Ареометр показывает плотность топлива при температуре испытаний. Плот-

ность при 20°C вычисляется по формуле с учетом температурных поправок:

$$\rho_{20} = \rho_t + \alpha(t - 20),$$

где ρ_t - плотность испытуемого топлива при температуре опыта;
 t - температура топлива при замере плотности.

Средняя температурная поправка плотности α определяется из таблицы 5.1.

Анилиновая точка – это критическая температура растворения исследуемого топлива до и после удаления ароматических углеводородов. Удаление ароматических углеводородов производится путем их адсорбции на силикагеле в стеклянной колонке. Для определения анилиновых точек применяют прибор, представленный на рисунке.

Таблица 5.1 - Температурные поправки при определении относительной плотности

Плотность	Поправка на 1°C	Плотность	Поправка на 1°C
0,700-0,710	0,000897	0,831-0,840	0,000725
0,711-0,720	0,000884	0,841-0,850	0,000712
0,721-0,730	0,000870	0,851-0,860	0,000699
0,731-0,740	0,000857	0,861-0,870	0,000686
0,741-0,750	0,000844	0,871-0,880	0,000673
0,751-0,760	0,000831	0,881-0,890	0,000660
0,761-0,770	0,000818	0,891-0,900	0,000647
0,771-0,780	0,000805	0,901-0,910	0,000633
0,781-0,790	0,000792	0,911-0,920	0,000620
0,791-0,800	0,000778	0,921-0,930	0,000607
0,801-0,810	0,000765	0,931-0,940	0,000594
0,811-0,820	0,000752	0,941-0,950	0,000581
0,821-0,830	0,000738		

Во внутреннюю пробирку наливают 3 мл анилина и 3 мл топлива. Вставляют мешалку в термометр так, чтобы ртутный шарик находился на границе раздела анилина и испытуемого топлива и не касался бы дна и стенок пробирки. Прибор погружают в стакан с

водой и укрепляют на штативе. Воду нагревают при помешивании до полного растворения топлива в анилине (до получения однородного раствора).

Отставив затем нагревательный прибор, наблюдают при постоянном перемешивании смеси внутренней мешалкой за охлаждающейся смесью и за показаниями термометра.

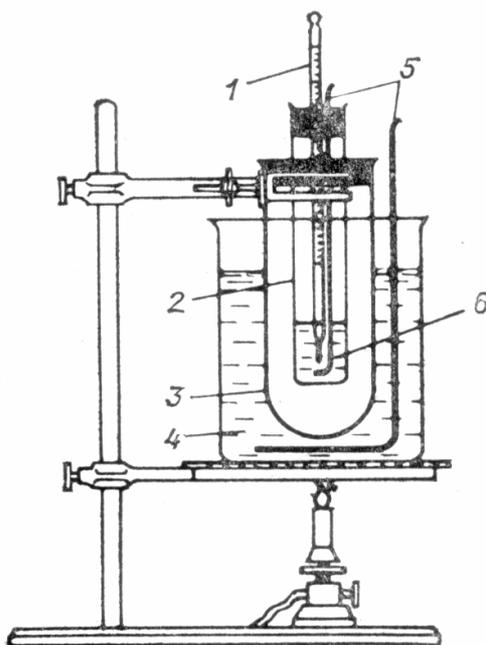


Рисунок 5.3 - Прибор для определения анилиновых точек:

1 – термометр; 2 – внутренняя пробирка; 3 – внешняя пробирка; 4 - жидкостная баня; 5 – мешалки; 6 – смесь анилина с испытуемым топливом

За анилиновую точку принимают температуру, при которой начинается расслоение раствора, выражающееся в его помутнении. Температуру с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ отмечают в тот момент, когда образовавшаяся равномерная муть скроет ртутный шарик термометра.

Не разбирая прибора, с той же порцией анилина и анализируемого продукта определение повторяют несколько раз до получения результатов, отличающихся не более чем на $0,2^{\circ}\text{C}$.

Проведение работы

1. Изучить методы определения теплоты сгорания топлив.

2. Определить теплоту сгорания одного из топлив.
Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 5.2 - Теплота сгорания топлива _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Температура топлива при определении плотности, °С	
2	Плотность испытуемого топлива, кг/м ³	
3	Плотность испытуемого топлива, приведенная к 20°С	
4	Анилиновая точка испытуемого топлива после первого опыта, °С	
5	Анилиновая точка испытуемого топлива после второго опыта, °С	
6	Анилиновая точка испытуемого топлива после третьего опыта, °С	
7	Средняя анилиновая точка испытуемого топлива, °С	
8	Заключение о качестве испытуемого топлива	

3. Пользуясь последней цифрой номера зачетной книжки, рассчитать низшую теплоту сгорания для топлива, состав которого приведен в таблице.

Таблица 5.3 - Исходные данные для расчета
низшей теплоты сгорания топлива

Последняя цифра зачетной книжки	Горючее вещество
0	$C^p=83,0\%$; $H^p=10,4\%$; $S^p=2,8\%$; $N^p=0,4\%$; $O^p=0,3\%$; $A^p=0,1\%$; $W^p=3,0\%$
1	$C^p=37,2\%$; $H^p=2,6\%$; $S^p=0,6\%$; $N^p=0,4\%$; $O^p=12,0\%$; $A^p=7,2\%$; $W^p=40,0\%$
2	$C^p=68,4\%$; $H^p=5,6\%$; $S^p=0,4\%$; $N^p=1,6\%$; $O^p=10,0\%$; $A^p=1,1\%$; $W^p=12,9\%$
3	$C^p=57,3\%$; $H^p=11,6\%$; $S^p=1,5\%$; $N^p=0,8\%$; $O^p=2,3\%$; $A^p=4,8\%$; $W^p=21,7\%$

Продолжение таблицы 5.3

4	$C^p=66,2\%$; $H^p=3,3\%$; $S^p=0,7\%$; $N^p=0,9\%$; $O^p=8,6\%$; $A^p=2,3\%$; $W^p=18,0\%$
5	$C^p=58,9\%$; $H^p=4,8\%$; $S^p=1,3\%$; $N^p=1,2\%$; $O^p=6,1\%$; $A^p=4,6\%$; $W^p=23,1\%$
6	$C^p=74,6\%$; $H^p=7,5\%$; $S^p=1,8\%$; $N^p=0,7\%$; $O^p=4,3\%$; $A^p=8,8\%$; $W^p=2,3\%$
7	$C^p=81,0\%$; $H^p=6,1\%$; $S^p=2,1\%$; $N^p=1,3\%$; $O^p=5,8\%$; $A^p=1,0\%$; $W^p=2,7\%$
8	$C^p=72,9\%$; $H^p=3,9\%$; $S^p=1,2\%$; $N^p=0,8\%$; $O^p=2,1\%$; $A^p=2,8\%$; $W^p=16,3\%$
9	$C^p=68,8\%$; $H^p=2,7\%$; $S^p=0,5\%$; $N^p=1,1\%$; $O^p=7,4\%$; $A^p=3,4\%$; $W^p=16,1\%$

4. Пользуясь последней цифрой номера зачетной книжки, рассчитать низшую теплоту сгорания для газового топлива, состав которого приведен в таблице.

Таблица 5.4 - Исходные данные для расчета низшей теплоты сгорания газового топлива

Последняя цифра зачетной книжки	Горючее вещество
0	$CH_4=94,0\%$; $C_2H_6=2,8\%$; $C_3H_8=0,4\%$; $C_4H_{10}=0,3\%$; $C_5H_{12}=0,1\%$; $N_2=2,0\%$; $CO_2=0,4\%$
1	$CH_4=93,6\%$; $C_2H_6=2,8\%$; $C_3H_8=0,4\%$; $C_4H_{10}=0,3\%$; $C_5H_{12}=0,4\%$; $N_2=1,8\%$; $CO_2=0,7\%$
2	$CH_4=92,1\%$; $C_2H_6=2,1\%$; $C_3H_8=0,7\%$; $C_4H_{10}=0,2\%$; $C_5H_{12}=0,7\%$; $N_2=3,3\%$; $CO_2=0,9\%$
3	$CH_4=90,4\%$; $C_2H_6=1,8\%$; $C_3H_8=1,3\%$; $C_4H_{10}=0,4\%$; $C_5H_{12}=0,5\%$; $N_2=4,8\%$; $CO_2=0,8\%$
4	$CH_4=91,4\%$; $C_2H_6=0,7\%$; $C_3H_8=1,1\%$; $C_4H_{10}=0,5\%$; $C_5H_{12}=0,2\%$; $N_2=5,5\%$; $CO_2=0,6\%$
5	$CH_4=93,8\%$; $C_2H_6=2,5\%$; $C_3H_8=0,9\%$; $C_4H_{10}=0,2\%$; $C_5H_{12}=0,3\%$; $N_2=1,9\%$; $CO_2=0,4\%$
6	$CH_4=91,2\%$; $C_2H_6=1,3\%$; $C_3H_8=1,2\%$; $C_4H_{10}=0,6\%$; $C_5H_{12}=0,7\%$; $N_2=4,7\%$; $CO_2=0,3\%$
7	$CH_4=91,9\%$; $C_2H_6=1,6\%$; $C_3H_8=1,6\%$; $C_4H_{10}=0,7\%$; $C_5H_{12}=0,1\%$; $N_2=3,6\%$; $CO_2=0,5\%$

Продолжение таблицы 5.4

8	CH ₄ =93,4%; C ₂ H ₆ =1,7%; C ₃ H ₈ =1,5%; C ₄ H ₁₀ =0,4%; C ₅ H ₁₂ =0,4%; N ₂ =2,4%; CO ₂ =0,2%
9	CH ₄ =92,3%; C ₂ H ₆ =1,4%; C ₃ H ₈ =0,8%; C ₄ H ₁₀ =0,3%; C ₅ H ₁₂ =0,3%; N ₂ =4,5%; CO ₂ =0,4%

Таблица 5.5 - Низшая теплота сгорания газов

Газ	Химическая формула	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
Метан	CH ₄	35,85
Этан	C ₂ H ₆	63,80
Пропан	C ₃ H ₈	91,30
Бутан	C ₄ H ₁₀	118,74
Пентан	C ₅ H ₁₂	146,20
Азот	N ₂	-
Диоксид углерода	CO ₂	-

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, описание методов определения теплоты сгорания жидких и газообразных топлив, таблицу экспериментальных данных, исходные данные для расчета низшей теплоты сгорания топлив, методику расчета, расчет, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение теплоты сгорания топлива.
2. Как определяется теплота сгорания твердых, жидких и газообразных топлив?
3. Назовите методы для определения теплоты сгорания топлива.
4. Какие химические элементы обладают наибольшей теплотой сгорания?
5. Что такое анилиновая точка?
6. Опишите методику определения анилиновой точки.

Лабораторная работа № 6 (4 часа)

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Ознакомление с классификацией пожароопасных веществ. Изучение показателей пожарной опасности веществ. Оценка пожарной опасности углеводородов; органических соединений, содержащих кислород и азот; элементоорганических соединений; полимеров; веществ, применяемых в сельском хозяйстве. Определение показателей пожарной опасности веществ.

Задачи работы

Изучить классификацию и показатели пожароопасных веществ. Изучить пожарную опасность углеводородов; органических соединений, содержащих кислород и азот; элементоорганических соединений; полимеров; веществ, применяемых в сельском хозяйстве. Определить некоторые показатели пожароопасных веществ.

Классификация пожароопасных веществ

Человек научился добывать огонь и применять его для своих нужд много тысячелетий назад. Но огонь не только выполняет полезную работу, но и приносит человеку материальный ущерб. Пожарами, в основе которых лежит химическая реакция горения, могут быть уничтожены жилые и производственные здания, корабли, самолеты, продукты питания, т. е. все, что способно гореть, разрушаться от действия температуры и гибнуть в среде продуктов сгорания.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Ранее были указаны условия, необходимые для возникновения горения, а следова-

тельно, для возникновения пожара. В отсутствие контроля при создании этих условий возникает пожар, который может развиваться до больших размеров и нанести значительный материальный ущерб. Следовательно, возможность создания условий возникновения пожара или его быстрого развития представляет собой пожарную опасность.

Пожарной опасностью называется возможность возникновения или развития пожара, заключенная в каком-либо веществе, состоянии или процессе. Из этого определения можно сделать вывод, что пожарную опасность представляют вещества и материалы, если они в силу своих свойств благоприятствуют возникновению или развитию пожара. Такие вещества и материалы относятся к пожароопасным.

Пожароопасные вещества по способности к горению подразделяются на горючие, трудногорючие и негорючие.

Горючими называются вещества (материалы, смеси, изделия), способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания. Среди пожароопасных веществ большинство являются горючими. Горючие вещества, в свою очередь, разделяются на легковоспламеняющиеся и трудновоспламеняющиеся.

Легковоспламеняющимся веществом (материалом, смесью) называется горючее вещество (материал, смесь), способное воспламениться от кратковременного воздействия пламени спички, искры, накаливаемого электропровода и тому подобных источников зажигания с низкой энергией. Следует отметить, что воспламенение этих веществ происходит при хранении на открытом воздухе или в помещении без предварительного подогрева. К легковоспламеняющимся веществам относятся все горючие газы (водород, метан, этан, пропан и др.), горючие жидкости (ацетон, бензин, бензол, диэтиловый эфир и др.) и горючие твердые вещества (целлулоид, полистирол, древесная стружка, лист бумаги и др.).

Трудновоспламеняющимся веществом (материалом, смесью) называется горючее вещество (материал, смесь), способное воспламениться только под воздействием мощного источника зажигания. К таким веществам относятся гетинакс, полихлорвиниловая плитка,

фенольноформальдегидный стеклопластик, древесина, подвергнутая поверхностной огнезащитной обработке, и др.

Трудногорючими называют вещества (материалы, смеси, изделия), способные гореть под воздействием источника зажигания, но не способные к самостоятельному горению после удаления его.

По пожарной опасности их можно подразделить на три группы:

- вещества, горение которых происходит только при нагреве до температур, близких к температуре их самовоспламенения (трихлорацетат натрия, дихлоральмочевина и др.);

- вещества, имеющие определенную область зажигания при температурах, до которых возможен их нагрев в производстве, а также имеющие температуру вспышки в закрытом тигле (дихлорметан);

- вещества, выделяющие пары или газы, обладающие определенной областью воспламенения в воздухе (слабые водные растворы спиртов, кетонов, альдегидов, органических кислот, аммиачная вода).

Негорючими называют вещества (материалы, смеси, изделия), не способные к горению в атмосфере воздуха.

Среди негорючих веществ находится много весьма пожароопасных. Они могут быть объединены в следующие группы:

- вещества, выделяющие горючие продукты или тепло при взаимодействии с водой или друг с другом, например, карбид кальция CaC_2 , металлический натрий и негашеная известь с водой, разбавленные кислоты (серная, соляная и др.) с металлами;

- окислители: KMnO_4 , Na_2O_2 , CrO_3 , PbO_2 , HNO_3 , H_2O_2 , сжатый и жидкий кислород и др.;

- вещества, самовозгорающиеся на воздухе: желтый фосфор, триизобутилалюминий, жидкий фосфористый водород и др.

Показатели пожарной опасности веществ

Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) создал систему оценки пожарной опасности обычных горючих веществ и материалов. Она состоит из

описания параметров пожарной опасности веществ и материалов, указаний области их применения и методов определения, а также рекомендаций по использованию параметров пожарной опасности в практической работе пожарной охраны, проектных и других организаций. Для оценки пожарной опасности каждого горючего вещества определяется комплекс показателей, вид и число которых зависят от его агрегатного состояния. Для оценки пожарной опасности газов определяют следующие показатели:

- температура самовоспламенения;
- область воспламенения в воздухе;
- максимальное давление взрыва;
- категория взрывоопасной смеси;
- минимальная энергия зажигания;
- минимальное взрывоопасное содержание кислорода;
- нормальная скорость горения;
- критический (гасящий) диаметр;
- характер взаимодействия горящего вещества с водопенными средствами тушения.

Для оценки пожарной опасности жидкостей определяют показатели:

- температура самовоспламенения;
- группа горючести;
- температура вспышки;
- температура воспламенения;
- температурные пределы воспламенения паров в воздухе;
- скорость выгорания;
- характер взаимодействия горящего вещества с огнетушащими средствами тушения.

При оценке пожарной опасности легковоспламеняющихся жидкостей дополнительно определяются параметры, требуемые при оценке газов.

Для оценки пожарной опасности всех твердых веществ и материалов определяют показатели:

- температура самовоспламенения;
- группа горючести;
- температура воспламенения;

- характер взаимодействия горящего вещества с огнетушащими средствами.

Для твердых веществ с температурой плавления ниже 300°C дополнительно определяют:

- температуру вспышки;
- температурные пределы воспламенения паров в воздухе.

При оценке пористых, волокнистых и сыпучих материалов рекомендуется дополнительно определять:

- температуру самонагревания;
- температуру тления при самовозгорании;
- температурные условия теплового самовозгорания. При

оценке порошкообразных или образующих пыль веществ дополнительно определяют:

- нижний предел воспламенения аэровзвеси;
- максимальное давление взрыва смеси;
- минимальную энергию зажигания;
- минимальное взрывное содержание кислорода.

Пожарная опасность углеводородов

Предельные углеводороды. Предельными углеводородами называют соединения, молекулы которых состоят из углерода и водорода, причем атомы углерода связаны между собой простой связью, а их свободные связи насыщены атомами водорода.

Предельные углеводороды при обычной температуре не окисляются и не вступают в реакцию с другими веществами. Малая химическая активность их объясняется тем, что атомы углерода полностью «насыщены» атомами водорода и не могут поэтому присоединять атомы других элементов. Молекулы предельных углеводородов способны только к замещению атомов водорода атомами других элементов (Cl, Br, F, I) или группой атомов. Предельные углеводороды являются горючими веществами.

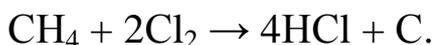
Метан - простейший представитель предельных углеводородов, основной компонент природного газа. Метан - газ без цвета и запаха, малорастворим в воде, легче воздуха (относительная плотность по воздуху равна $16/29 = 0,55$). Он не способен к реакции

присоединения, только атомы водорода могут в нем замещаться атомами хлора, брома, иода и фтора.

Таблица 6.1 - Показатели пожарной опасности предельных углеводородов

Углеводороды	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Теплота сгорания, кДж/кг	НКПВ, %	ВКПВ, %
Метан CH ₄	Газ	0,415	-161,6	537	49560	5	15
Этан C ₂ H ₆	Газ	0,546	-88,6	472	47460	2,9	15
Пропан C ₃ H ₈	Газ	0,582	-42,1	466	46620	2,1	9,5
Бутан C ₄ H ₁₀	Газ	0,600	-0,5	405	45780	1,9	9,1
Пентан C ₅ H ₁₂	Жидкость	626	36,1	309	45360	1,4	7,8
Гексан C ₆ H ₁₄	Жидкость	659	68,7	247	44940	1,2	7,5
Гексадекан C ₁₆ H ₃₄	Твердый	775	287,0	-	-	-	-

С хлором метан образует смесь, взрывающуюся при действии на нее солнечного света или другого сильного источника света (пламени горящего магния, пламени ацетилена и т. д.). Это объясняется тем, что молекулы хлора, поглощая энергию световых лучей, способны диссоциировать на атомы. Атомы хлора энергично вступают в реакцию с молекулами метана, происходит взрыв, в результате которого образуется углерод и хлористый водород:



Взрыв смеси метана с хлором может произойти и при ее нагревании до 150°С. Следовательно, недопустимо совместное хранение баллонов с хлором и метаном.

На воздухе метан горит слабосветящимся пламенем с выделением большого количества тепла:



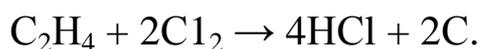
Максимальная температура пламени метана достигает приблизительно 2000°C. Смесь метана с воздухом взрывоопасна. При взрыве метано-воздушных смесей развивается давление до 706 кПа. Поэтому очень важно в производствах, где возможно образование метана, или в рудниках, где может выделяться, природный газ, следить за составом воздуха и в аварийных случаях принимать срочные меры.

Для предупреждения взрыва при аварийном выделении метана и для тушения факела в закрытых объемах обычно используют диоксид углерода CO₂ или азот. Минимальная концентрация диоксида углерода как огнетушащего средства равна 26 % (об.), азота 39% (об.).

Непредельные углеводороды. Наряду с предельными существуют непредельные, или ненасыщенные, углеводороды. Эти углеводороды отличаются от предельных строением молекул, а следовательно, и свойствами. Атомы углерода в молекулах непредельных углеводородов не полностью «насыщены» атомами водорода. Это приводит к тому, что между атомами углерода появляется двойная или тройная связь, в зависимости от того, сколько атомов водорода не хватает до полного насыщения.

Непредельные углеводороды с двойной связью. К непредельным углеводородам с одной двойной связью относится этилен и его гомологи (общая формула этих углеводородов C_nH_{2n}). В качестве примера рассмотрим свойства этилена.

Этилен - бесцветный газ со слабым эфирным запахом, немного легче воздуха ($d = 28/29 = 0,96$), плохо растворим в воде, ядовит. Этилен способен самовозгораться в атмосфере хлора:



Эта реакция, как правило, протекает со взрывом, особенно если на приготовленную смесь попадает солнечный свет. Следовательно, совместное хранение баллонов с хлором и этиленом недопустимо. Этилен, как и все углеводороды, является горючим веществом. В отличие от метана он горит сильно светящимся пламенем,

это обусловлено повышенным содержанием углерода (86 % против 75 % в метане). Смеси этилена с воздухом при поджигании взрываются с большой силой. Давление при этом достигает 764 кПа.

Для предупреждения взрыва при аварийном истечении этилена и тушения факела пламени в закрытых объемах необходимая минимальная концентрация диоксида углерода как огнетушащего средства составляет 42 % (об.), а азота 52% (об.).

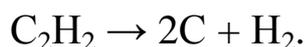
Таблица 6.2

Показатели пожарной опасности непредельных углеводородов

Углеводороды	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Теплота сгорания, кДж/кг	НКПВ, %	ВКПВ, %
Этилен С ₂ Н ₄	Газ	1,259	-103,7	540	47250	3	32
Пропилен С ₃ Н ₆	Газ	1,875	-47,7	410	45780	2,2	10,3
Бутилен С ₄ Н ₈	Газ	2,500	-6,2	384	45360	1,6	9,4

Непредельные углеводороды с тройной связью. К непредельным углеводородам с тройной связью относятся ацетилен и его гомологи.

Ацетилен - бесцветный газ, имеющий в чистом состоянии слабый эфирный запах. Газообразный чистый ацетилен под давлением неустойчив. При давлении более 196 кПа ацетилен способен разлагаться со взрывом (под действием удара или местного нагрева):



Температура взрыва достигает 3000°С, давление увеличивается приблизительно в 11 раз. Поэтому ацетилен нельзя хранить в сжатом состоянии, подобно другим газам, в стальных баллонах обычного типа. Для его хранения и перевозки применяют баллоны, наполненные активным углем, пропитанным ацетоном, в котором и

растворяют ацетилен под давлением. При таком способе хранения ацетилен не взрывается даже при давлении 2940 кПа.

Ацетилен с воздухом образует взрывчатые смеси; пределы воспламенения НПВ - 2%, ВПВ - 81%. Температура самовоспламенения 335°C. При сжигании ацетилена в кислороде развивается высокая температура, достигающая 4000°C. Теплота сгорания 57960 кДж/м³.

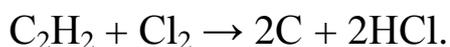
Ацетилено-воздушные смеси взрываются с большой силой. Давление взрыва достигает 931 кПа. Для предупреждения взрыва при аварийном истечении ацетилена, а также для тушения факела в закрытых помещениях требуются большие концентрации диоксида углерода как огнетушащего средства: 57 % (об.) CO₂ и 70 % (об.) N₂.

При поджигании ацетилен горит коптящим пламенем, что обусловлено большим содержанием углерода (92,3 %). Процесс горения ацетилена можно представить следующим уравнением



От контакта с бромом, хлором и фтором ацетилен самовозгорается, что можно продемонстрировать следующим опытом.

Возьмем цилиндр, заполненный хлором, и осторожно внесем в него стеклянную трубку, по которой поступает ацетилен. Как только трубка окажется в атмосфере хлора, ацетилен, выходящий из нее, загорается. Образуется сильно коптящее пламя. Реакцию горения ацетилена в хлоре можно представить уравнением



Если в смесь хлора с ацетиленом попадает воздух, происходит взрыв.

Ароматические углеводороды. Ароматические углеводороды - это соединения, в молекулах которых содержится шесть атомов углерода, образующих замкнутый шестичленный цикл, связи которого насыщены только наполовину. Это кольцо называют бензольным ядром или бензольным кольцом.

Рассмотрим пожарную опасность ароматических углеводородов на примере бензола.

Бензол (C_6H_6) - легковоспламеняющаяся, подвижная, бесцветная, нерастворимая в воде жидкость со своеобразным запахом. Эта жидкость относится к диэлектрикам. Пары бензола ядовиты. Бензол, является хорошим растворителем масел и жиров.

При смешивании бензола с окислителями - пероксидом натрия Na_2O_2 , хромовым ангидридом CrO_3 – происходит разогревание. Очевидно, возможно и загорание.

Смесь, состоящая из бензола и бертолетовой соли $KClO_3$, загорается от действия капли серной кислоты.

При поджигании бензол горит сильно коптящим пламенем вследствие большого содержания углерода (92,3 %).

Линейная скорость выгорания бензола со свободной поверхности составляет 30 см/ч.

Пары бензола с воздухом взрывоопасны. При взрыве паровоздушных смесей бензола развивается давление до 784 кПа.

Таблица 6.3 - Показатели пожарной опасности ароматических углеводородов

Углеводороды	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С	НКПВ, %	ВКПВ, %
Бензол	880	80,2	-14	540	-14	12	1,4	8
Толуол	862	110,6	5	536	5	30	1,27	7
<i>o</i> -Ксилол	881	144,4	-	590	24	50	0,93	4,5
<i>m</i> -Ксилол	864	139,0	29	-	-	-	-	-
<i>n</i> -Ксилол	861	138,4	26	595	24	55	1,15	5,53
Этилбензол	862	136,0	20	420	18	45	0,7	-
Винилбензол (стирол)	907	146,0	30	-	-	-	1,1	6,1

Нефть и нефтепродукты. Нефть – маслянистая, обычно темная, реже желтая или светлая жидкость, легче воды. Плотность большинства нефтей колеблется от 770 до 960 кг/м³.

Таблица 6.4 - Показатели пожарной опасности некоторых нефтей

Нефть	Плотность, кг/м ³	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Карадагская	831	-21	320	-21	19
Кара-Чухурская	874	34	290	31	80
Шубайнская	916	26	375	22	53
Сураханская:					
масляная	888	22	300	18	43
обыкновенная	864	13	270	13	56
отборная	851	12	300	12	60

Таблица 6.5 - Показатели пожарной опасности нефтепродуктов

Нефтепродукты	Плотность, кг/м ³	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С	НКПВ, %	ВКПВ, %
Бензины:							
Бр-1	722	-17	350	-17	10	1,10	5,40
авиационный	732	-37	440	-37	-17	1,27	8,04
Керосины:							
тракторный	810	28	260	26	65	1,4	7,5
осветительный	840	58	250	57	87	1,4	7,5
Лигроин	760	10	380	2	34	1,4	6,0
Смазочные масла:							
моторное	903	200	380	146	191	-	-
веретенное	892	164	280	125	175	-	-
соляровое	892	142	360	116	147	-	-

Нефть является легко воспламеняющейся жидкостью, так как температура вспышки ее лежит в пределах от $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нефть имеет сравнительно низкую температуру самовоспламенения, лежащую в пределах от 260 до 375 К. Кроме того, она имеет высокую теплоту сгорания (выше 42000 кДж/кг).

Пожарная опасность органических соединений, содержащих кислород и азот

Спирты. Спиртами называют органические вещества, молекулы которых содержат одну или несколько гидроксильных групп, соединенных с углеводородными радикалами.

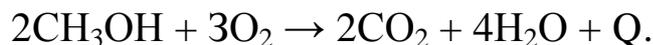
Предельные одноатомные спирты. Предельные одноатомные спирты можно рассматривать как продукты, замещения водородного атома в молекуле предельного углеводорода гидроксильной группой.

В качестве примера рассмотрим свойства метилового спирта.

Метиловый спирт - легко воспламеняющаяся бесцветная жидкость, смешивающаяся с водой в любом соотношении, а также со многими органическими веществами. Температура замерзания - $97,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Метиловый спирт очень ядовит, отравление им приводит к потере зрения, а часто даже к смерти. Пары спирта с воздухом образуют взрывчатые смеси. Концентрационные пределы воспламенения: НПВ - 6%, ВПВ - 34,5%. При взрыве паровоздушных смесей спирта развивается давление до 725,2 кПа. Метиловый спирт энергично реагирует с металлическим натрием, при этом выделяется водород и образуется метилат натрия:



Процесс горения метилового спирта идет по уравнению



Определенную пожарную опасность представляют водные растворы спирта (табл. 7).

Таблица 6.6 - Показатели пожарной опасности спиртов

Спирты	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламе- нения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Метиловый CH ₃ OH	791	64,7	8	464	7	39
Этиловый C ₂ H ₅ OH	793	78,4	13	404	11	41
Пропиловый C ₃ H ₇ OH	804	97,8	23	370	20	53
Бутиловый C ₄ H ₉ OH	809	117,4	34	345	31	60
Амиловый C ₅ H ₁₁ OH	814	138	40	300	38	80

Таблица 6.7 - Показатели пожарной опасности водных растворов метилового спирта

Концентрация, %	Температура вспышки, °С	Температура самовоспла- менения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
85	11	510	10	44
70	18	525	15	49
55	23	545	22	52
40	31	565	30	55
25	46	580	41	62
15	53	600	51	71
10	63	610	60	76
5	Нет	Нет	Нет	Нет

Из данных, приведенных в таблице, видно, что водные растворы, содержащие 25 % спирта и более, являются легковоспламеняющимися жидкостями. Это необходимо учитывать при использовании в технологическом процессе водных растворов спирта, а также при его тушении.

Аналогичную пожарную опасность представляют водные растворы этилового спирта.

От контакта с сильными окислителями спирт самовозгорается. Это можно наблюдать на опыте.

В фарфоровую чашку, опущенную на дно стакана, нальем дымящую азотную кислоту и добавим осторожно из пипетки 5 мл метилового спирта. Происходит энергичное окисление с воспламенением спирта и выделением бурых оксидов азота.

Метиловый спирт самовозгорается при контакте с хромовым ангидридом и перекисью натрия.

Многоатомные спирты. Наибольшее применение из многоатомных спиртов нашли этиленгликоль и глицерин.

Глицерин ($C_3H_5(OH)_3$) – представитель трехатомных спиртов. Это бесцветная густая сладкая на вкус жидкость, растворяется в воде. Растворы глицерина в воде имеют низкую температуру замерзания. При реакции с окислителями – перманганатом калия ($KMnO_4$), перекисью натрия (Na_2O_2), хлорной известью ($Ca(OCl)_2$) – глицерин самовозгорается.

Хранение глицерина с сильными окислителями недопустимо, так как в случае контакта этих веществ может возникнуть пожар. Аналогично ведет себя с окислителями и этиленгликоль.

Таблица 6.8 - Показатели пожарной опасности многоатомных спиртов

Спирты	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Этиленгликоль CH_2OH-CH_2OH	1114	-15,4	197,8	120	380	112	124
Глицерин $CH_2OH-CH(OH)-CH_2OH$	1261	17,9	290	200	400	158	240

При взаимодействии глицерина с азотной кислотой в присутствии серной образуется тринитроглицерин, который также является сложным эфиром.

Тринитроглицерин - одно из сильнейших взрывчатых веществ, взрывается от удара, сотрясения, взрыва запала гремучей ртути, в результате саморазложения. Его применяют для приготовления нитроглицериновых порохов и динамитов.

Простые эфиры. Простыми эфирами называют органические вещества, молекулы которых состоят из двух углеводородных радикалов, соединенных атомом кислорода.

В качестве примера рассмотрим свойства диэтилового эфира. Диэтиловый эфир (называемый также серным и медицинским) представляет собой бесцветную подвижную жидкость с температурой кипения $35,6^{\circ}\text{C}$, заморзания 117°C . Эфир плохо растворим в воде (один объем эфира растворяется в 10 объемах воды), легче воды (плотность по отношению к воде составляет 0,714) и имеет специфический запах.

Пары эфира почти в 2,5 раза тяжелее воздуха и образуют с ним взрывчатые смеси. Концентрационные пределы воспламенения: НПВ - 1,7 %, ВПВ - 49,0%. При работе с эфиром надо всегда помнить, что его пары могут распространяться на значительные расстояния, сохраняя при этом способность к горению. Поэтому основной мерой предосторожности при обращении с эфиром является удаление его от открытого огня или других каких бы то ни было источников воспламенения.

Температура вспышки диэтилового эфира -45°C , а температура самовоспламенения 164°C . При поджигании эфир горит синеватым пламенем с выделением большого количества тепла:



При воспламенении пламя эфира быстро увеличивается, так как верхний слой его быстро нагревается до температуры кипения. При горении эфир прогревается в глубину. Скорость роста прогретого слоя составляет 45 см/ч, а скорость выгорания его со свободной поверхности 30 см/ч.

Эфир самовозгорается при контакте с сильными окислителями: хлором, озоном, перекисью натрия, азотной кислотой, со сме-

сию перманганата калия и серной кислоты, хлората калия и серной кислоты.

Альдегиды. Альдегидами называют органические вещества, в молекулах которых содержится группа $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$, называемая альдегидной.

В качестве примера рассмотрим свойства уксусного альдегида.

Уксусный альдегид (ацетальдегид) - чрезвычайно летучая легко воспламеняющаяся жидкость с резким запахом, хорошо растворимая в воде, спирте и во многих других органических растворителях.

Таблица 6.9 - Показатели пожарной опасности альдегидов

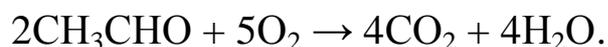
Альдегиды	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Температура вспышки, °С	НКПВ, %	ВКПВ, %
Муравьиный CH ₂ O	815	-21	430	-	7	73
Уксусный CH ₃ CHO	780	20,2	185	-33	4	55
Пропионовый CH ₃ -CH ₂ -CHO	807	48,8	-	-9	2,9	17
Масляный CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CHO	817	75,7	230	-7	-	-

Вдыхание паров уксусного альдегида вызывает учащенное сердцебиение и раздражение слизистой оболочки глаз, носа и дыхательных путей. Острое отравление ацетальдегидом может привести к воспалению легких и плевры. Предельно допустимая концентрация паров уксусного альдегида в воздухе производственных помещений 5 мг/м³.

Ацетальдегид легко полимеризуется, образуя при этом паральдегид - жидкость с температурой кипения 124°С и температурой плавления 12°С. Этим свойством альдегида (свойством превращаться в паральдегид) пользуются для его перевозки и хранения.

На месте потребления паральдегид деполимеризуют нагреванием, получая уксусный альдегид.

При поджигании ацетальдегид горит светящимся пламенем:



Кетоны. При окислении вторичных спиртов образуются кетоны.

В качестве примера рассмотрим свойства ацетона. Ацетон - бесцветная легко воспламеняющаяся жидкость с характерным эфирным запахом. Температура кипения его $56,1^\circ\text{C}$, температура плавления минус $94,3^\circ\text{C}$, плотность $0,79 \text{ г/см}^3$. Ацетон хорошо растворяется в воде, спиртах, эфирах, минеральных и растительных маслах, скипидаре и других веществах, является хорошим растворителем ацетилцеллюлозы, смол и жиров. Пары ацетона ядовиты, в два раза тяжелее воздуха и образуют с ним взрывчатые смеси. Концентрационные пределы воспламенения: НПВ - 2,2 %, ВПВ – 13 %. Температурные пределы воспламенения ацетона: НПВ минус 20°C , ВПВ плюс 6°C . При наличии источника воспламенения ацетон легко воспламеняется и горит светящимся пламенем:



При горении ацетон прогревается в глубину, образуя гомотермический слой; скорость роста прогретого слоя 60 см/ч . Температура прогретого слоя достигает 56°C . Скорость выгорания ацетона со свободной поверхности составляет 20 см/ч .

Определенную пожарную опасность представляют водные растворы ацетона. Водный раствор, содержащий только 10 % (масс.) ацетона, является легко воспламеняющейся жидкостью с температурой вспышки 11°C . Это свойство ацетона необходимо учитывать при использовании водных растворов его в технологическом процессе, а также при тушении горящего ацетона в резервуарах.

Ацетон самовозгорается при контакте с сильными окислителями: перекисью натрия, хромовым ангидридом, смесью серной ки-

слоты с перманганатом калия или с бертолетовой солью (KClO_3) и др. Температура самовоспламенения ацетона 465°C , теплота сгорания $31012,8$ кДж/кг.

Карбоновые кислоты. В состав всех органических кислот входит группа $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$, или $-\text{COOH}$, которая носит название карбоксильной; она содержит подвижный водород.

Предельные карбоновые кислоты. Физические свойства и показатели пожарной опасности некоторых предельных карбоновых кислот приведены в таблице.

Таблица 6.10 - Показатели пожарной опасности карбоновых кислот

Кислоты	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °C	Температура вспышки, °C	Температура самовоспламенения, °C	НПВ, °C	ВТВ, °C
Муравьиная HCOOH	1220	100,7	60	504		
Уксусная CH_3COOH	1049	118,1	38	454	35	76
Пропионовая $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	998	141,1	54	402	45	83
Масляная $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	959	163,5	72	385	62	96

В качестве примера рассмотрим свойства уксусной кислоты. Уксусная кислота является одной из наиболее давно используемых человеком кислот. Уксусная кислота самовозгорается при контакте с хромовым ангидридом, перекисью натрия и другими сильными окислителями.

Непредельные карбоновые кислоты. Среди непредельных одноосновных кислот известны кислоты с одной, двумя и тремя двойными связями. Непредельные кислоты являются более сильными, чем предельные, в чем и сказывается влияние двойной связи.

Олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты в виде эфиров глицерина распространены в природе (жиры и масла).

Физические и химические свойства. Непредельные одноосновные карбоновые кислоты - маслянистые жидкости, нераствори-

мые в воде и легче ее. Они, как и все карбоновые кислоты, способны взаимодействовать с солями, щелочами и оксидами металлов. Физические свойства и показатели пожарной опасности этих кислот приведены в таблице.

Непредельные карбоновые кислоты на воздухе при определенных условиях способны к самовозгоранию.

Таблица 6.11 - Показатели пожарной опасности непредельных карбоновых кислот

Кислоты	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Йодное число
Акриловая C ₂ H ₃ COOH	1062	141	48	440	-
Олеиновая C ₁₇ H ₃₃ COOH	891	286	184	280	89,96
Линолевая C ₁₇ H ₃₁ COOH	900	229	-	-	181,20
Линоленовая C ₁₇ H ₂₉ COOH	910	230	-	-	273,80

Сложные эфиры карбоновых кислот. Сложными эфирами называют органические вещества, молекулы которых состоят из углеводородных радикалов (остатков спирта) и кислотных остатков, соединенных атомом кислорода.

В качестве примера рассмотрим свойства этилацетата. Этилацетат - жидкость с приятным, ароматным запахом, легко испаряется, плохо растворяется в воде. С воздухом этилацетат образует взрывчатые смеси. Концентрационные пределы воспламенения: НПВ - 3,55 %, ВПВ - 16,8 % (вычисленные). Эфир способен к электризации. Этилацетат самовозгорается в контакте с хромовым ангидридом CrO₃, с перекисью натрия Na₂O₂ в присутствии воды, с перманганатом калия KMnO₄, хлоратом калия KClO₃ в присутствии серной кислоты. На воздухе горит светящимся пламенем с выделением значительного количества тепла.

Жиры (глицериды) представляют собой сложные эфиры трехатомного спирта (глицерина) и карбоновых кислот. Все жиры легче

воды (их плотность 900...950 кг/м³) и не растворимы в ней. Жиры растворяются во многих органических растворителях (бензине, эфире, сероуглероде, четыреххлористом углероде и др.). Растворимость их в органических веществах используют, например, при извлечении масел из семян. Все жиры являются горючими веществами. При горении их выделяется большое количество тепла: 1 г жира при горении дает 39060 кДж.

Таблица 6.12 - Показатели пожарной опасности сложных эфиров

Эфиры	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Метилацетат CH ₃ COOCH ₃	927	57,3	-15	470	-15	10
Этилацетат CH ₃ COOC ₂ H ₅	884	77,1	2	400	1	31
Пропилацетат CH ₃ COOC ₃ H ₇	887	101,3	-	450	-	-
Бутилацетат CH ₃ COOC ₄ H ₉	870	126,1	29	421	25	57
Амилацетат CH ₃ COOC ₅ H ₁₁	877	148,4	25	360	20	58

Масла и некоторые животные жиры склонны к самовозгоранию при определенных условиях. Для оценки способности масел к самовозгоранию необходимо знать количество ненасыщенных связей, что оценивают йодным числом. Чем больше йодное число, тем больше в масле непредельных соединений, а следовательно, оно будет более склонно к самовозгоранию. Практика показывает, что способны самовозгораться масла с йодным числом выше 50.

Нитросоединения. Нитросоединениями называют органические вещества, молекулы которых содержат одну или несколько групп NO₂, причем атом азота непосредственно связан с атомом углерода.

В качестве примера рассмотрим свойства нитробензола и тринитротолуола.

Нитробензол представляет собой желтоватую жидкость плотностью 1200 кг/м³, имеет запах горького миндаля, в воде не раство-

ряется, хорошо растворяется в серной кислоте с выделением тепла, ядовит. Температура кипения нитробензола $210,9^{\circ}\text{C}$, температура плавления $5,7^{\circ}\text{C}$, температура вспышки 90°C , температура самовоспламенения 495°C .

Нитробензол не обладает взрывчатым свойством; при поджигании горит, выделяя большое количество тепла.

Тринитротолуол (тротил) представляет собой твердое кристаллическое вещество желтого цвета плотностью $1,66 \text{ г/см}^3$, с температурой плавления 81°C , температурой самовоспламенения $290...295^{\circ}\text{C}$. В холодной воде тринитротолуол не растворяется, хорошо растворяется в спирте, бензоле, толуоле, ацетоне и др. Тринитротолуол является сильным взрывчатым веществом.

При поджигании на воздухе тринитротолуол горит сильно коптящим пламенем, в определенных условиях горение тринитротолуола может перейти в детонацию (взрыв).

Сочетание таких свойств, как большая стойкость, малая чувствительность к внешним воздействиям, отсутствие взаимодействия с металлами, нерастворимость в воде, достаточная мощность взрыва (т.е. образование большого количества газообразных веществ при разложении), сделало тринитротолуол основным бризантным взрывчатым веществом. Тротил широко применяют для наполнения артиллерийских снарядов, мин, торпед, авиабомб, ручных и противотанковых гранат. Температура взрыва тринитротолуола составляет 2800°C . Для снаряжения боеприпасов тротил применяют как самостоятельно, так и в виде сплавов и смесей с другими взрывчатыми веществами.

Сложные эфиры азотной кислоты. Азотная кислота образует с многоатомными спиртами (этиленгликолем, глицерином, клетчаткой и др.) сложные эфиры.

Нитроглицерин - густая бесцветная маслянистая жидкость плотностью 1600 кг/м^3 , вязкость его в 2,5 раза больше вязкости воды, но меньше вязкости глицерина. Он хорошо растворяется в большинстве органических растворителей: метиловом спирте, ацетоне, эфире, амилацетате, бензоле, толуоле, ксилоле, нитробензоле и т. д.

При быстром нагревании до 180°C нитроглицерин взрывается. При поджигании нитроглицерин дает только местную вспышку, сопровождающуюся его расплескиванием, устойчивого горения не происходит. Однако при ударе и трении нитроглицерин способен взорваться, поэтому в свободном виде его перевозить не разрешается.

При взрыве 1 кг нитроглицерина выделяется 715 л газообразных продуктов, из них 58,15 % CO₂, 19,82 % H₂O, 18,50 % N₂, 3,53 % O₂. Давление взрыва составляет 119560 МПа, процесс сопровождается выделением 6237 кДж/кг, при этом развивается температура выше 4000°C. На практике для возбуждения детонации нитроглицерина и нитроглицериновых взрывчатых веществ используют капсуль-детонатор.

Нитроклетчатка (нитрат целлюлозы) - сложный эфир клетчатки и азотной кислоты. Клетчатка (целлюлоза) является основой всякого вида растений, а потому чрезвычайно распространена в природе.

Практически различают следующие виды нитроцеллюлозы:

- коллоксилин, содержащий 11,5...12 % азота, полностью растворимый в смеси спирта с эфиром;
- пироксилин № 2, содержащий 12,05...12,4 % азота, растворимый в смеси спирта и эфира не менее чем на 90%;
- пирокolloдий Менделеева, содержащий 12,45 % азота, растворимый в смеси спирта с эфиром не менее чем на 95%;
- пироксилин № 1, содержащий 13,0...13,5 % азота, растворимый в смеси спирта с эфиром на 5...10 %.

Пироксилин является взрывчатым веществом (бризантным), в сухом состоянии может взрываться от удара и трения. В небольших количествах сгорает спокойно, в количестве выше 200 кг горение заканчивается взрывом. Во влажном состоянии (20...30 % влажности) пироксилин представляет собой совершенно безопасное вещество плотностью около 1650 г/м³, с температурой самовоспламенения 160...180°C. При сгорании пироксилина образуются следующие продукты: 24,7 % NO, 41,9 % CO, 18,4 % CO₂, 7,9 % H₂, 5,8 % N₂ и 1,3 % CH₄. При взрыве пироксилин разлагается с выделением газов другого состава.

Целлулоид. Целлулоид представляет собой твердый раствор нитроклетчатки и камфоры в соотношении 2:1. Это прозрачная масса, твердая при обычной температуре и размягчающаяся при нагревании. Целлулоид не растворим в холодной и горячей воде. В тонких пластинах он гибок и эластичен. Плотность целлулоида 1340...1440 кг/м³.

Целлулоид хорошо растворяется в ацетоне, бутиловом спирте, амилацетате и других органических растворителях; является огнеопасным материалом. Температура самовоспламенения его не превышает 200°C, она может снижаться после длительного хранения, что обусловлено улетучиванием камфоры. Целлулоид сгорает с большой скоростью. Горение сопровождается образованием факела значительной высоты. Так, 70 г целлулоида дают факел высотой 1 м, 100 г - 2 м. При горении большого количества целлулоида высота факела может достигать 25 м (температура пламени до 1700°C). Сгорая, целлулоид выделяет большое количество газообразных продуктов. Так, при сгорании 1 кг целлулоида при 1100°C и нормальном давлении выделяется около 4 м³ газообразных продуктов. Большое содержание кислорода в целлулоиде способствует его горению при малом доступе воздуха.

Разогретый целлулоид разлагается без доступа воздуха. При неполном сгорании выделяются газообразные продукты разложения, способные образовывать с воздухом взрывчатые смеси; в состав продуктов разложения входят такие отравляющие и горючие вещества, как оксид NO и диоксид NO₂ азота, оксид углерода CO, синильная кислота HCN. Объем газа, выделяющегося при разложении целлулоида, зависит от температуры. С повышением температуры увеличиваются объем и давление газов.

Огнетушащими средствами для целлулоида являются вода, четыреххлористый углерод, диоксид углерода, песок. Воду можно применять в виде сильных компактных струй (под давлением 0,5 МПа и более), в распыленном состоянии или в виде пара.

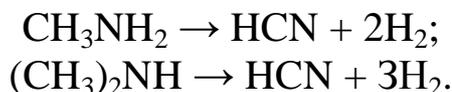
Аминосоединения. Аминами называются продукты, полученные в результате замены в молекуле аммиака одного, двух или трех атомов водорода углеводородными радикалами.

Амины легко воспламеняются от маломощных источников зажигания. Все амины энергично взаимодействуют с сильными окислителями.

Таблица 6.13 - Показатели пожарной опасности первичных аминов

Амины	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Метиламин CH ₃ NH ₂	-	-6,8	-	430		
Этиламин C ₂ H ₅ NH ₂	708	16,6	-39	555	-39	-22
Пропиламин C ₃ H ₇ NH ₂	719	48,7	-37	318		
Бутиламин C ₄ H ₉ NH ₂	740	77,8	-12	312		
Амиламин C ₅ H ₁₁ NH ₂	761	104	-1	-		
Анилин C ₆ H ₅ NH ₂	1022	184,4	79	262	70	90

Процесс взаимодействия обычно заканчивается воспламенением амина. При тушении аминов необходимо учитывать возможность появления в продуктах горения (особенно при недостаточном количестве воздуха) токсичных веществ - цианистого водорода и оксидов азота. При нагревании до высоких температур без доступа воздуха амины разлагаются также с образованием цианистого водорода:



Пожарная опасность элементоорганических соединений

К элементоорганическим соединениям относятся вещества, в молекулах которых содержатся атомы кремния, фосфора или металла.

Кремнийорганические соединения. Кремнийорганическими соединениями называются органические вещества, в молекулах которых содержатся атомы кремния.

Наиболее простыми соединениями кремния являются силаны - соединения кремния с водородом. Силан (SiH_4) и дисилан (Si_2H_6) являются газами, остальные - жидкостями. Все силаны представляют собой весьма пожароопасные и химически активные вещества. Силаны самовоспламеняются на воздухе ($t_{\text{св}} < -100^\circ\text{C}$). Причем первые члены гомологического ряда самовоспламеняются со взрывом; реакция протекает по уравнению



С галогенами силаны вступают в реакцию замещения, образуя галогенсиланы:



Галогенсиланы - летучие легко воспламеняющиеся жидкости.

Алкилсиланы. Метилсилан SiH_3CH_3 и диметилсилан $\text{SiH}_2(\text{CH}_3)_2$ представляют собой газы с большой областью воспламенения (от 0,2 до 90 %) и сравнительно низкой температурой самовоспламенения. Триметилсилан $\text{SiH}(\text{CH}_3)_3$ и тетраметилсилан $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ являются легко воспламеняющимися летучими жидкостями, пожарная опасность которых зависит от величины и числа, радикалов. Например, тетраметилсилан $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ кипит при $26,5^\circ\text{C}$, имеет $t_{\text{всп}} = -70^\circ\text{C}$, а тетраэтилсилан $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ кипит при 157°C и имеет $t_{\text{всп}} = 30^\circ\text{C}$.

Низшие галогенпроизводные алкилсиланов с небольшим числом атомов хлора - летучие жидкости, относятся к классу ЛВЖ. Они имеют весьма низкий нижний концентрационный предел воспламенения (0,2...0,8 %), большую область воспламенения (верхний концентрационный предел отдельных веществ превышает 90 %). Причем температурные пределы воспламенения также составляют широкий диапазон. Верхний температурный предел воспламенения близко приближается к температуре кипения.

Высшие галогенпроизводные алкилсиланов - мало летучие жидкости, по пожарной опасности характеризуются так же, как и обычные ГЖ.

Все низшие алкоксисиланы и их галогенпроизводные сильно гидролизуются, даже влагой воздуха (поэтому на воздухе дымят). С увеличением молекулярной массы и числа радикалов склонность алкоксисиланов к гидролизу уменьшается и увеличивается активностью к окислению и термическому разложению. Например, метилдихлорсилан $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ сильно гидролизуется влагой воздуха, окисляется при небольшом нагревании, имеет температуру самовоспламенения 175°C . Нонилтрихлорсилан $(\text{C}_9\text{H}_{19})\text{SiCl}_3$ под действием воды гидролизуется лишь при нагревании, термически устойчив до 200°C , самовоспламеняется при 255°C .

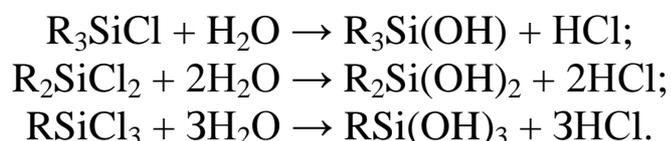
Низшие алкоксисиланы являются летучими легковоспламеняющимися жидкостями с низким концентрационным пределом воспламенения (0,7...3 %) и большим температурным интервалом воспламенения. В отличие от алкилсиланов имеют меньшую область воспламенения и более низкую температуру самовоспламенения. Например, область воспламенения диметилдихлорсилана $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ 0,8...30 %, а температура самовоспламенения 380°C ; область воспламенения диметоксидихлорсилана $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{SiCl}_2$ 2,1...24 %, а температура самовоспламенения 210°C .

Алкоксисиланы и алкоксигалогенсиланы горят ярким пламенем, температура горения составляет $1200\text{...}1300^\circ\text{C}$, теплота сгорания их сравнима с теплотой сгорания кислородсодержащих органических соединений и лежит в пределах $20000\text{—}30000$ кДж/кг. Алкоксисиланы легче воды, а алкоксигалогенсиланы тяжелее воды.

Как правило, с увеличением молекулярной массы и числа оксирадикалов температуры кипения и вспышки вещества повышаются. При введении атомов галоида в молекулу алкоксисиланов их температуры вспышки и самовоспламенения возрастают. Так, пропилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7)$ имеет температуру вспышки 28°C ; при введении атома хлора в пропильный радикал $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl})$ температура вспышки повышается до 45°C .

Силанолы. Силанолы являются продуктами гидролиза алкилсиланов и алкоксисиланов. По строению они аналогичны спиртам.

В зависимости от числа атомов галогена в молекуле алкилгалогенсилана или алкоксигалогенсилана образуются моносиланола, силандиолы и силантриолы:



Моносиланола представляют собой устойчивые на воздухе жидкости. В воде не растворимы. Низшие являются легковоспламеняющимися жидкостями, высшие относятся к классу ГЖ.

Силантриолы. Силантриолы - вещества весьма неустойчивые и в момент образования легко теряют воду, превращаясь в полимер трехмерной структуры.

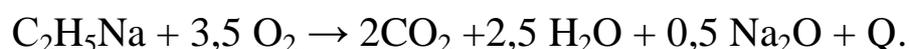
Полученные таким образом трехмерные полисилоксаны представляют собой твердые неплавкие смолы. Они находят применение в качестве термостойкого электроизоляционного материала, который выдерживает температуру до 300°C.

Металлорганические соединения. Металлорганическими соединениями называются вещества, в молекулах которых атомы металла непосредственно связаны с атомами углерода.

Все металлорганические соединения являются горючими веществами.

Металлорганические соединения легких металлов и отдельные соединения средних металлов являются пирофорами, так как имеют температуру самовоспламенения ниже 0°C. Например, метилнатрий (СН₃Na) имеет температуру самовоспламенения ниже -100°C; триэтилалюминий (С₂Н₅)₃Al самовоспламеняется при -68°C, диэтилалюминийхлорид (С₂Н₅)₃AlCl - при -60°C. На воздухе эти соединения самовозгораются, с водой взаимодействуют бурно, со взрывом; загораются в атмосфере углекислого и сернистого газов.

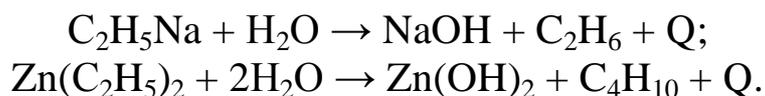
Органические соединения щелочных металлов на воздухе самовоспламеняются со взрывом:



Металлорганические соединения алюминия, магния, цинка самовоспламеняются спокойно:



Взаимодействие органических соединений легких металлов и некоторых средних с водой протекает со взрывом. Например:



Многие металлорганические соединения легких и средних металлов (натрия, бериллия, алюминия, магния и т. д.) самовозгораются в атмосфере углекислого газа, хлористого водорода, накаляются до свечения в атмосфере сернистого газа:



Особое положение в ряду металлорганических соединений занимают ацетилениды и карбиды. Эти соединения устойчивы на воздухе, но при трении, ударе, нагревании до 120...200°C они взрываются. Карбиды щелочных металлов бурно со взрывом взаимодействуют с водой. Ацетиленид натрия C_2Na_2 - белый порошок, нерастворимый в растворителях. Кислород и сухой воздух на него не действуют. При нагреве на воздухе превращается в Na_2CO_3 , разогреваясь до свечения; взаимодействует энергично с сухим хлором с выделением светящейся сажи и NaCl . В парах брома реакция идет со взрывом. С водой ацетиленид натрия взаимодействует со взрывом:



Широкое применение в синтезе высокомолекулярных соединений нашли алюминийорганические соединения. Это - пирофорные жидкости, самовоспламеняющиеся на воздухе. Они легко взаимодействуют с эфиром, образуя комплексные соединения - эфиры

алюминийалкилов. Эти эфиры - бесцветные легкоподвижные жидкости, на воздухе сильно дымят и самовозгораются. Взаимодействие с водой сопровождается взрывом. При разбавлении бензолом активность эфиров понижается.

Алюминийгалогидалкилы, например $(C_2H_5)_2AlCl$, - это жидкости от коричневого до темно-коричневого цвета, разлагающиеся при температуре выше $130^\circ C$ с выделением свободного галогена. На воздухе дымят и самовозгораются. Со взрывом взаимодействуют с водой. Комплексные металлоорганические соединения тяжелых металлов характеризуются сравнительно малой стойкостью. На свету и особенно при нагревании до определенной температуры разлагаются со взрывом. Например, золотобромдиэтилпиридин взрывается при нагревании до $79^\circ C$.

Металлоорганические соединения тяжелых металлов (ртути, свинца и т. д.) представляют собой жидкости, устойчивые к действию воздуха и воды. Многие из них сильно летучи. Как правило, все они чрезвычайно ядовиты. По степени пожарной опасности характеризуются как ЛВЖ или ГЖ (в зависимости от молекулярной массы углеводородного радикала). Например, диэтилртуть $(C_2H_5)_2Hg$ - бесцветная, легкоподвижная, летучая, чрезвычайно ядовитая жидкость с температурой кипения $159^\circ C$ и температурой вспышки $18^\circ C$.

Особую группу образуют соединения железа, кобальта, никеля с оксидом углерода.

$Fe(CO)_4H_2$ - карбонилгидрид железа - желтоватая жидкость с отвратительным запахом. На воздухе самовозгорается со взрывом. Таким образом, наиболее пожароопасными являются металлоорганические соединения легких и средних металлов. Эффективного средства тушения этих соединений нет. Наибольший эффект дает тушение их составами СИ-2 и СИ-ВК. Расход состава СИ-2 составляет 20 кг на 1 м^2 горячей поверхности разлитого металлоорганического соединения, при этом толщина слоя огнетушащего порошка должна быть не менее 10 см. Можно применять также хлористый натрий, но он менее эффективен. Ни в коем случае не допускается применять воду, пену, диоксид углерода для тушения металлоорганических соединений I и II групп.

Металлорганические соединения тяжелых металлов тушат так же, как обычные ЛВЖ или ГЖ.

Фосфорорганические соединения. Органические соединения фосфора систематически начали исследовать во второй половине XIX века.

Фосфины. Первичные, вторичные и третичные фосфины, содержащие низшие алкильные радикалы, являются жидкими веществами с отвратительным запахом. Лишь метилфосфин CH_3PH_2 является бесцветным газом. Фосфины не растворимы в воде. Легко окисляются под действием окислителей с выделением тепла, что может привести к самовозгоранию. На воздухе жадно поглощают кислород. Поэтому низшие фосфины на воздухе самовоспламеняются.

Третичные фосфины, содержащие в радикале четыре и более атомов углерода, являются твердыми веществами; в воде не растворяются. На воздухе окисляются медленно и имеют сравнительно невысокую температуру самовоспламенения. Например, трибутилфосфин $(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{P}$ имеет температуру самовоспламенения 200°C .

Производные фосфорсодержащих кислот. Производные фосфорсодержащих кислот можно успешно тушить водой, воздушно-механической пеной, диоксидом углерода или азотом.

Рассмотрим пожарную опасность двух производных фосфорсодержащих кислот.

Диэтилэтилфосфонат (диэтиловый эфир этилфосфоновой кислоты) представляет собой бесцветную жидкость с неприятным запахом; ядовит, в воде не растворяется, тяжелее воды, плотность 1025 кг/м^3 при 25°C ; при нагревании до 250°C разлагается; температура вспышки 105°C ; хорошо тушится водой, воздушно-механической пеной.

Би- (2-этилгексил) -2-этилгексилфосфонат (диоктиловый эфир октилфосфоновой кислоты) представляет собой жидкость, имеющую токсические свойства; при нагревании выше 200°C начинает разлагаться; легче воды (плотность 908 кг/м^3 при 25°C); температура вспышки 215°C .

Поскольку производные фосфорсодержащих кислот при нагревании до высокой температуры разлагаются с выделением раз-

личных веществ, состав которых зависит от температуры и условий процесса разложения, температура самовоспламенения этих веществ изменяется в определенных пределах и лежит выше 400°C.

Неполные фосфиты (диметилфосфит, диэтилфосфит, дипропилфосфит, дибутилфосфит) интенсивно взаимодействуют с окислителями и самовозгораются. Вата, тряпки, стружка и другие подобные материалы, пропитанные этими соединениями, на воздухе самовозгораются.

Хлорпроизводные фосфитов при слабом нагревании разлагаются на галоидные алкилы и оксиды фосфора, энергично взаимодействуют с окислителями. Большинство фосфитов характеризуются как ГЖ. Наиболее опасными являются триметилфосфит, трихлорэтилфосфит.

Триметилфосфит - бесцветная легкоподвижная летучая жидкость с неприятным запахом, нерастворимая в воде; при нормальном давлении температура кипения составляет 112°C. В этих условиях кипение не сопровождается разложением. Пары в смеси с воздухом образуют взрывоопасные концентрации. Температура вспышки 54°C. При нагревании до температуры выше 150°C разлагается на этан и оксиды фосфора.

Трихлорэтилфосфит - бесцветная легкоподвижная горючая жидкость с температурой вспышки 135°C; в воде не растворима; при слабом нагревании разлагается с выделением хлористого этила и оксидов фосфора. Интенсивно взаимодействует с окислителями и при определенных условиях может самовозгораться.

Производные фосфорной кислоты H_3PO_4 представляют собой главным образом бесцветные с неприятным запахом токсичные жидкости. Температура вспышки выше 100°C. Низшие члены гомологического ряда фосфатов кипят при температуре выше 200°C без разложения при нормальном давлении. Высшие члены гомологического ряда имеют температуру кипения, превышающую 300°C, причем кипение сопровождается их разложением. Продуктами разложения являются углеводороды и оксиды фосфора.

Температура самовоспламенения фосфатов 350°C. Фосфаты не растворимы в воде; некоторые из них под действием воды разлагаются, например, тригексилфосфат. Горение фосфатов, как и других

фосфорорганических соединений, сопровождается образованием яркого пламени. Самовозгораются они под действием сильных окислителей. Хорошо тушатся водой, воздушно-механической пеной и инертными газами.

Триэтилфосфат - бесцветная легкоподвижная жидкость с характерным запахом; не растворим в воде; плотность 1070 кг/м^3 при 25°C ; плавится при $56,5^\circ\text{C}$, кипит при 210°C без разложения; температура вспышки 116°C ; самовоспламеняется при 362°C .

Пирофосфаты по степени пожарной опасности характеризуются так же, как и фосфаты.

Тиофосфаты - производные тиофосфорной кислоты; представляют собой горючие вещества (жидкие или кристаллические); растворимы в воде; на воздухе устойчивы; могут самовозгораться под действием сильных окислителей; горение сопровождается образованием яркого пламени и выделением оксидов фосфора и серы; такие соединения, как тиофос, фосфомид, применяют в качестве инсектицидов.

Пожарная опасность полимеров

Синтетические полимеры. Полимерами называются высокомолекулярные вещества с молекулярной массой от 10000 до нескольких миллионов, молекулы которых состоят из многократно повторяющихся одинаковых звеньев.

Пластические массы. Синтетические полимеры являются основой для получения пластических масс. В основном все пластические массы, полученные полимеризацией, под действием источника зажигания плавятся, разлагаются, продукты разложения образуют с воздухом горючие смеси, которые воспламеняются и горят. Температура воспламенения пластических масс выше 200°C , температура самовоспламенения выше 400°C . Теплота сгорания полимеров составляет более 31500 кДж/кг . В условиях пожара температура горения может достигать 1300°C . Смеси пыли пластических масс с воздухом взрывоопасны.

Продукты разложения токсичны. В состав продуктов разложения входят синильная кислота HCN, оксид углерода CO, оксиды азота NO, NO₂, хлористый водород HCl и др.

Пластмассы плохо смачиваются водой, поэтому при тушении их желательнее применять смачиватели.

Если в состав пластических масс входят негорючие компоненты (асбест, стеклянное волокно, тальк), то пожарная опасность таких пластических масс снижается. При добавлении в состав пластических масс горючих веществ (бумаги, ткани, древесной муки и др.) пожарная опасность их повышается. В условиях пожара пластинчатые массы на основе полимеризационных смол размягчаются, плавятся, воспламеняются и горят.

Рассмотрим свойства, характеризующие пожарную опасность пластических масс, полученных на основе полиэтилена, полистирола и поливинилхлорида.

Пластические массы на основе полиэтилена представляют собой твердые белые роговидные вещества, устойчивые к действию растворителей и концентрированных кислот; они являются хорошими диэлектриками. Температура плавления около 300°C. При температуре выше 100°C происходит их окисление и изменение физико-химических свойств. Для замедления процессов старения добавляют от 1 до 10 % стабилизаторов (фенолы, ароматические диамины). Пластические массы на основе полиэтилена горят светящимся пламенем. Температура воспламенения выше 300°C, температура самовоспламенения выше 400°C. В условиях пожара выделяется большое количество тепла. Теплота сгорания составляет 47767 кДж/кг.

При нагревании они деполимеризуются с выделением горючих газообразных продуктов, которые с воздухом могут образовывать взрывоопасные смеси. Продукты деполимеризации токсичны. Пыль полимера образует с воздухом взрывоопасные смеси с НКПВ - 12,6 г/м³.

Температура самовоспламенения аэрозвеси 800°C, максимальное давление при взрыве пылевоздушных смесей равно 0,56 МПа. Полиэтилен применяют для изготовления труб, пленок, электроизоляционных и других материалов.

Таблица 6.14 - Показатели пожарной опасности пластических масс

Полимеры	Агрегатное состояние	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Теплота сгорания, кДж/кг
Полистирол	Твердое прозрачное кристаллическое вещество	1040... 1070	200... 300	210... 250	440... 480	41832
Поликапролактан (полиамид 6)	Твердое роговидное вещество	1113	215... 220	395	440	30815
Полиэтилен (низкого давления)	Твердое вещество матового цвета	940... 960	300	306	417	46771
Полиметилметакрилат (органическое стекло)	Твердое прозрачное кристаллическое вещество	1180	200	214	439	27808

Пластические массы на основе полистирола представляют собой твердые прозрачные хрупкие вещества, растворимые в бензоле, толуоле и других ароматических углеводородах. Являются хорошими диэлектриками.

Температура плавления и воспламенения выше 200°С, температура самовоспламенения выше 400°С. Горят сильно коптящим пламенем. В условиях пожара выделяется большое количество тепла. Теплота сгорания выше 37800 кДж/кг. Пыль полистирола с воздухом взрывоопасна (НКПВ - 15 г/м³). Температура самовоспламенения взвеси 488°С. Максимальное давление при взрыве пылевоздушных смесей равно 0,65 МПа. Осевшая пыль пожароопасна. Температура тления 200°С.

Таблица 6.15 - Показатели пожарной опасности сополимеров

Сополимеры	Температура плавления, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	НКПВ, г/м ³	Минимальное опасное содержание кислорода, %
Стирол, акрилонитрил и бутадиен-нитрильный каучук	260...280	290	465	28	9
Стирол, акрилонитрил и метилметакрилат	220	296	465	25	10
Стирол с метилметакрилатом (МС)	240	285	442	25	13
Этилен и пропилен (СЭП)	300...400	316	403	37,5	8

Пластические массы на основе поливинилхлорида представляют собой твердые прозрачные вещества. При температуре 120...150°С разлагаются. При нагревании вспучиваются, обугливаются с выделением хлористого водорода HCl. Пыли поливинилхлорида с воздухом взрывоопасны (НКПВ - 100 г/м³). Температура самовоспламенения аэрозвеси 500°С. Максимальное давление при взрыве пылевоздушных смесей равно 0,28 МПа.

Пластические массы на основе резольных смол устойчивы к действию химических реактивов, воды, являются хорошими диэлектриками. Если в состав пластмассы на основе резольных смол входит несгораемый наполнитель (стеклянное волокно, стеклянная ткань, асбест), то такие пластические массы являются трудносгораемыми и горят только в присутствии постороннего источника зажигания. Пыль пластмасс, взвешенная в воздухе, взрывоопасна. Нижний концентрационный предел воспламенения 22,7 г/м³. Температура самовоспламенения аэрозвеси 500°С. Осевшая пыль пожароопасна. При тепловой обработке пластических масс, например при вальцевании и сушке прессматериалов, выделяются пары фено-

ла, анилина, формальдегида, которые при попадании в организм в значительных количествах могут вызвать отравление.

При горении пластических масс на основе поликонденсационных полимеров выделяется большое количество токсичных продуктов разложения (оксид углерода, оксиды азота). Тушить их следует водой, воздушно-механической и химической пенами, применяя изолирующие противогазы.

Синтетические волокна. Синтетические волокна заняли прочное место в промышленности и быту.

Волокно капрон. Капрон является наиболее распространенным из всех видов синтетических волокон. В химическом отношении капроновые волокна нестойки. Под действием кислот и щелочей, даже малой концентрации, они растворяются. Плотность их 140 кг/м^3 . Температура плавления $208...215^\circ\text{C}$, при 300°C волокно начинает разлагаться с выделением различных продуктов разложения. Температура воспламенения 395°C , теплота сгорания 31206 кДж/кг . Волокно легко воспламеняется, в расплавленном состоянии интенсивно горит с выделением большого количества дыма, в котором содержится много продуктов разложения. К тепловому самовозгоранию волокно не склонно.

Волокно лавсан. Лавсан относится к химически устойчивым волокнам. Он стоек к действию органических и минеральных кислот. В пламени волокно плавится и воспламеняется. Температура воспламенения 390°C . В расплавленном состоянии интенсивно горит ярким сильно коптящим пламенем. Теплота сгорания 22638 кДж/кг . Температура самовоспламенения его 440°C . К тепловому самовозгоранию волокно не склонно.

Волокно нитрон. Волокно легко воспламеняется под действием пламени (температура воспламенения 200°C). При $220...230^\circ\text{C}$ оно размягчается и одновременно разлагается. Температура самовоспламенения 505°C . Горит ярким коптящим пламенем. Теплота сгорания 30828 кДж/кг . К тепловому самовозгоранию волокно не склонно.

Волокно хлорин. Волокно хлорин относится к трудносгораемому материалу. Температура самовоспламенения составляет

540°C, а теплота сгорания 12127,6 кДж/кг. К самовозгоранию волокно не склонно.

Натуральный каучук. Натуральный каучук содержится в млечном соке некоторых тропических деревьев – каучуконосов. Из всех видов каучуков натуральный каучук наиболее пожароопасен, он имеет сравнительно низкую температуру воспламенения (129°C). Разложение каучука при температуре выше 250°C, сопровождающееся выделением различных газообразных продуктов, способствует образованию взрывоопасных концентраций продуктов разложения и при определенных условиях может повлечь за собой взрыв.

При горении каучук плавится и растекается, образуя подвижную среду, способствующую распространению пожара и затрудняющую процесс тушения пожара. Температура горения каучука зависит от условий протекания горения и может достигать 1500...1700°C. Пламя яркое, коптящее, характеризуется большим тепловым излучением.

Синтетические каучуки. Основным сырьем для получения синтетических каучуков служат нефтяные газы, гидролизный и синтетический этиловый спирт, ацетилен.

Натрийбутадиеновый каучук (СКВ). Этот каучук является пластичным продуктом с плотностью 890...920 кг/м³, диэлектрической проницаемостью 2,8, температурой стеклования от -48 до -73°C. Каучук горюч, горит ярким коптящим пламенем. Теплота сгорания 45360 кДж/кг, температура горения 1550...1560°C, температура воспламенения 220°C, температура самовоспламенения 352°C, склонен при определенных условиях к химическому самовозгоранию.

Хлоропреновые каучуки. Хлоропреновыми каучуками называются полимеры хлоропрена с другими мономерами, получаемыми полимеризацией. Российский эмульсионный хлоропреновый каучук называют наирит (от Наири - древнего названия Армении, где впервые был синтезирован этот каучук). Каучуки типа наирит в основном горючи.

Таблица 6.16

Показатели пожарной опасности каучукогенов

Каучукогены	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	НКПВ, %	ВКПВ, %
Бутадиен	0,621	-4,5	-108,9	-40	420	2	11,5
Изопрен	679	34,07	-146	-48	400	1,66	11,5
Диметилбутадиен	730,4	69	-	-	-	-	-
Хлоропрен	958,3	59,4	-	15	-	1,6	8,6
Изобутилен	0,595	-6,9	-140	-	456	1,8	9,6
Стирол	903	146	-33	32	490	1,05	7,5
Нитрил акриловой кислоты	811	78,5	-83	-5	370	3,05	17,0

Бутадиен-стирольный каучук (СКС, Буна S). Этот каучук представляет собой продукт сополимеризации бутадиена и стирола. Каучуки СКС горючи, имеют сравнительно низкие температуры воспламенения 285°С и самовоспламенения 336°С. Горят ярким сильно коптящим пламенем. Теплота сгорания около 43680...44100 кДж/кг, температура горения 1500...1600 °С. При определенных условиях каучук СКС склонен к самовозгоранию (если в качестве наполнителя не содержит масло НП-6).

Пожарная опасность веществ, применяемых в сельском хозяйстве

Классификация веществ, применяемых в сельском хозяйстве. По степени пожарной опасности химические вещества, применяемые в сельском хозяйстве, можно разделить на следующие группы:

1. Врывоопасные - вещества, способные взрываться или детонировать без участия кислорода воздуха. К ним относятся динитро-ортокрезол, аммиачная и калийная селитры и др. Эти вещества мо-

гут взрываться при резком нагревании, что может быть при пожаре, а также под действием детонации - взрыва другого взрывчатого вещества. К этой же группе можно отнести и сильные окислители. Например, хлорат магния, селитры, которые в чистом виде не взрываются, но при наличии в них диспергированных горючих примесей становятся взрывоопасными при нагреве, ударе. Многие из веществ этой группы, являясь сильными окислителями, могут вызвать самовозгорание горючих веществ при совместном хранении и транспортировании.

2. Легковоспламеняющиеся - вещества (материалы, смеси), способные воспламеняться от кратковременного действия источника зажигания с низкой энергией (искры, накалинные тела и т. п.). К таким веществам можно отнести бутанон, гербицид 2,4-ДА, дихлорэтан, керосин тракторный, хлорсмесь, цинеб, аммиак и др. Вещества этой группы являются газообразными или жидкими, имеют низкую температуру вспышки, как правило, ниже обычной (20...25°C), летучи; могут самовозгораться при смешивании с окислителями. Пары их с воздухом образуют смеси, способные к воспламенению при наличии источника зажигания.

3. Горючие - вещества, способные к самостоятельному горению после удаления источника зажигания. Это севин, сера, симазин, фосфамид, хлорофос 80 %-ный и др. Вещества этой группы по агрегатному состоянию бывают жидкими или твердыми. Пыль твердых горючих веществ с воздухом может образовывать взрывоопасные смеси (например, серная пыль).

4. Трудногорючие - вещества, способные гореть только под действием источника зажигания (например, в условиях пожара), но не способные к самостоятельному горению после его удаления: бромистый метил, аммиак водный технический, хлоренфенолят меди, дихлоральмочевина и др. Многие из них при смешивании с веществами первой группы способны интенсивно гореть и при определенных условиях взрываться.

5. Негорючие - вещества, не способные к горению. К этой группе относятся хлористый калий, сульфат калия, сульфат аммония, суперфосфат и др. При смешивании их с веществами (окислителями) первой группы образуются смеси, склонные при опреде-

ленных условиях к разогреванию и саморазложению, чувствительные к удару, трению и нагреву. Такая смесь при контактировании с веществами второй, третьей и четвертой групп может привести к их самовозгоранию.

Пестициды. Большинство пестицидов являются веществами токсичными. Яд в человеческий организм может проникать через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, кожу, даже неповрежденную. Всасывание через кожу усиливается при интенсивном потоотделении.

Подавляющее большинство пестицидов являются горючими веществами, загорающимися от кратковременно или длительно действующего источника зажигания. Процесс горения пестицидов сопровождается выделением большого количества ядовитых продуктов горения: хлористого водорода HCl , цианистого водорода HCN , оксида углерода CO , оксидов азота NO , NO_2 и др. При неполном горении количество выделяющихся ядовитых газов и паров увеличивается. Горение пестицидов сопровождается значительным выделением тепла. Теплота сгорания их в среднем составляет 12600...15000 кДж/кг. Температура горения в условиях пожара может достигать 1500°C . Температура воспламенения многих горючих пестицидов выше 300°C ; исключения составляют сероуглерод и дихлорэтан, температура воспламенения которых значительно ниже. Температура самовоспламенения пестицидов в среднем выше 450°C .

Пожарная опасность растворов пестицидов в горючих растворителях зависит главным образом от вида и количества горючего растворителя. Пожарная опасность горючих пестицидов в воде или в водных эмульсиях значительно понижается. Эмульсии вспыхивают и горят только в условиях длительно действующего на них открытого пламени или других высокотемпературных источников зажигания.

Основными средствами тушения многих ядохимикатов является вода, высокократная воздушно-механическая и химическая пены, порошковые составы, песок и др.

Динитроортокрезол [ДН, динок, селинон, 2-метил-4,6-динитрокрезол $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{OH}$] - кристаллическое вещество

желтого цвета. Плохо растворим в воде. Хорошо растворяется в этиловом спирте. Легко воспламеняется и горит коптящим пламенем с большой скоростью. Динитроортокрезол и его соли взрывоопасны.

На основе динитроортокрезола можно приготовить пастообразный препарат типа динок. Паста содержит около 50 % динитроортокрезола (в виде аммонийной соли), 2,0...25 % воды, а также добавки (сульфат натрия, смачиватели). Пастообразные препараты динок после высыхания становятся взрывоопасными, поэтому следует предотвращать высыхание динитроортокрезольных паст подачей значительного количества воды. Динитроортокрезол и препараты на его основе ядовиты.

Дихлорэтан (этилен хлористый $\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$) - бесцветная легко воспламеняющаяся жидкость с сильным запахом хлороформа. В воде труднорастворим, ядовит. Температура вспышки 9°C ; температура самовоспламенения 413°C , область воспламенения паров в воздухе 6,2...16 % (об.), или $250...640 \text{ г/м}^3$; температурные пределы воспламенения насыщенных паров в воздухе: нижний 8°C , верхний 31°C ; теплота сгорания 11196 кДж/кг . В воздухе горит коптящим пламенем; дымовые газы содержат токсичные пары. Тушить дихлорэтан следует тонкораспыленной водой или пеной, избегая при этом попадания дихлорэтана на резино-технические изделия (пожарные рукава, резиновые перчатки, обувь и т. п.), так как эти изделия быстро портятся.

Сероуглерод (CS_2) - бесцветная легко воспламеняющаяся сильно ядовитая жидкость с неприятным запахом тухлой редьки. Температура вспышки -43°C , температура самовоспламенения 90°C , область воспламенения паров в воздухе 1...50 % (об.), или $31...1560 \text{ г/м}^3$; температурные пределы воспламеняемости насыщенных паров в воздухе: нижний -50°C , верхний -26°C , теплота сгорания 14070 кДж/кг .

При добавлении четыреххлористого углерода к сероуглероду пожарная опасность последнего несколько уменьшается, но даже смесь из 20 % (масс.) сероуглерода и 80 % (масс.) четыреххлористого углерода имеет температурные пределы воспламенения: нижний -15°C , верхний 7°C . Температура самовоспламенения 151°C .

Ортокрезол ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) — бесцветная жидкость или кристаллы с сильным запахом фенола, растворяется в воде, плотность $1046,5 \text{ кг/м}^3$, температура плавления $30,3^\circ\text{C}$. При нагревании выше температуры плавления смешивается со спиртом и эфиром. Температура вспышки 91°C , температура самовоспламенения 480°C , теплота сгорания 34200 кДж/кг .

Препарат 2,4-Д (натриевая соль 2,4-дихлорфеноксисуксусной кислоты) - горючий кристаллический порошок серого цвета, хорошо растворяется в воде. Температура плавления $215...218^\circ\text{C}$. Температура вспышки 273°C , температура воспламенения 362°C , температура самовоспламенения 651°C . Взвешенная в воздухе пыль не взрывоопасна до концентрации 500 г/м^3 .

Удобрения. Пожарную опасность представляют следующие удобрения: селитры, аммиачная вода, мочевины.

Аммиачная селитра (NH_4NO_3) - бесцветное кристаллическое вещество, содержащее 60% кислорода, 5% водорода и 35% азота, причем половина азота находится в виде азота аммиака, а половина - в виде азота азотной кислоты. При повышении температуры селитра разлагается с выделением кислорода, который увеличивает интенсивность и распространенность пламени. Но даже без добавки горючих примесей аммиачная селитра способна к детонации. Это подтверждается примерами взрывов, происшедших в разных странах мира при попытке разрыхления селитры.

Скорость детонации селитры колеблется от 1500 до 3000 м/с. Объем выделяющихся газов при взрыве составляет 976 л/кг, теплота взрыва 1470 кДж/кг , температура взрыва 1230°C . При влажности выше 2,5 % детонационные свойства селитры пропадают. К удару аммиачная селитра нечувствительна, взрывается только при достижении так называемой критической массы.

Смеси аммиачной селитры с горючими материалами (деревом, соломой, торфом, льном, мешкотарой и др.) склонны к тепловому самовозгоранию, что обусловлено экзотермической реакцией нитрования. За счет теплоты реакции нитрования при температуре около 100°C начинается автокаталитическое разложение аммиачной селитры, в результате которого органические продукты разогреваются до температуры их самовоспламенения. Автокатализ вызыва-

ется главным образом выделяющимися при разложении аммиачной селитры диоксидом азота и в меньшей степени водяным паром. Особенно повышают пожаро- и взрывоопасность аммиачной селитры примеси порошкообразных металлов, которые могут служить сильнейшими катализаторами ее экзотермического разложения.

Калиевая селитра (KNO_3) в чистом виде - бесцветное кристаллическое вещество; температура плавления 337°C . Калиевая селитра более чувствительна к удару и трению, чем аммиачная. Пожарная опасность калиевой селитры может быть оценена хотя бы по тому показателю, что ее применяют для изготовления порохов и других быстрогорящих пиротехнических составов. Способность к взрыву калиевой селитры увеличивается при смешении ее с органическими веществами. Поэтому запрещается хранить селитры с другими органическими веществами.

На складах селитр возникший пожар распространяется с большой скоростью, что обусловлено выделением кислорода при разложении солей. Не рекомендуется приближаться вплотную к очагу горения, так как в результате выгорания селитры в массе ее могут образовываться пустоты, заполняемые водой. При нагревании вода превращается в пар, выделение которого аналогично взрыву.

Аммиак жидкий синтетический. Аммиак жидкий синтетический представляет собой бесцветную жидкость, хорошо растворимую в воде. Температура кипения $33,4^\circ\text{C}$, теплота испарения 1373 кДж/кг. Жидкий аммиак имеет температуру самовоспламенения 650°C . На воздухе он интенсивно испаряется, образуя с воздухом взрывоопасные смеси. Область воспламенения 15...28 % (об.). Давление при взрыве достигает 0,6 МПа. Горит бледно-желтым пламенем. Теплота горения 18690 кДж/кг. При взаимодействии жидкого аммиака с йодом или хлором образуется йодистый или хлористый азот - сильные взрывчатые вещества.

Аммиак водный технический (аммиачная вода) - бесцветная или желтая жидкость с резким запахом аммиака. Представляет собой раствор газообразного аммиака в воде. В растворе его содержится 20...25%, трудногорюч. Однако при нагревании аммиак легко испаряется и образует с воздухом в закрытом объеме взрыво-

опасные смеси. Температура вспышки 23°C при 25%-ной концентрации аммиака. Температурные пределы воспламенения $23\text{...}33^{\circ}\text{C}$, температура самовоспламенения выше 750°C . Аммиак образует взрывоопасные смеси с кислородом воздуха и оксидом азота N_2O . Области воспламенения: в кислороде 13,5...79 %, в оксиде азота N_2O 2,2...72 %..

Мочевина (карбамид) - диамид угольной кислоты (NH_2CONH_2), выпускается в виде кристаллов или гранул и относится к азотным удобрениям.

По данным ВНИИПО МВД СССР, мочевина имеет температуру вспышки 182°C , температуру воспламенения 233°C , температуру самовоспламенения 610°C . Дым при горении карбамида содержит токсичные пары. Взвешенная в воздухе пыль карбамида не взрывоопасна. При взаимодействии карбамида с азотной кислотой может образоваться взрывчатый нитрат мочевины.

Биоминеральные удобрения. Биоминеральные удобрения - это продукт переработки торфа, бурого угля, лигнина, сланцев бактериями. Почти все исходные продукты удобрений являются горючими материалами. Процесс приготовления биоминеральных удобрений является наиболее пожароопасным.

Определение температуры вспышки пожароопасного вещества

Температуру вспышки пожароопасного вещества (топлива) определяют по ГОСТ 12.1.044-84 в приборе закрытого типа марки ПВНЭ по ТУ 38.110207-86. Прибор ПВНЭ состоит из латунного стакана, специальной крышки, на которой размещены рычажное приспособление, термометр, мешалка, лампочка и нагреватель.

В сухой латунный стакан необходимо налить исследуемое топливо до кольцевой риски, закрыть его крышкой и вставить в нагреватель. Включить прибор ПВНЭ в электрическую сеть через лабораторный трансформатор. Нагревание топлива вести со скоростью $5\text{...}8^{\circ}\text{C}$ в минуту регулированием напряжения при периодическом перемешивании.

Когда топливо нагреется до температуры 20°C ниже предполагаемой температуры вспышки, нагревание вести так, чтобы температура повышалась со скоростью 2°C в минуту.

Зажечь фитиль лампочки и отрегулировать пламя так, чтобы форма его была близкой к форме шара диаметром 3...4 мм.

При температуре топлива ниже на 10°C ожидаемой температуры вспышки следует начать производить испытания на вспыхивание через каждые 2°C , для чего необходимо повернуть барашек рычажного приспособления, что приведет к открытию окна в крышке стакана и наклону в него зажигательной лампочки. Окно выдерживается открытым 1 с, в течение которой должно произойти вспыхивание пламени над поверхностью топлива.

После получения первой вспышки испытание продолжают, повторяя зажигание через каждые 2°C . Если при этом вспышка не произойдет, исследование прекращают.

За температуру вспышки принимают показания термометра в момент первого появления синего пламени над поверхностью топлива в приборе.

Определение огнеопасности ЛВЖ

В небольшую фарфоровую чашечку налить 30...50 граммов ЛВЖ. Отставить емкость с ЛВЖ. Через минуту зажечь лучину на расстоянии не менее 0,5 м от чашечки и затем приближать ее постепенно все ближе и ближе, пока не вспыхнут пары ЛВЖ. Расстояние, при котором произошло воспламенение ЛВЖ, замерить линейкой.

Проведение работы

Изучить классификацию и показатели пожароопасных веществ. Изучить пожарную опасность углеводородов; органических соединений, содержащих кислород и азот; элементоорганических соединений; полимеров; веществ, применяемых в сельском хозяйстве. Определить некоторые показатели пожароопасных веществ.

1. Изучить классификацию и показатели пожароопасных веществ.

2. Изучить пожарную опасность углеводородов; органических соединений, содержащих кислород и азот; элементоорганических соединений; полимеров; веществ, применяемых в сельском хозяйстве.

3. Определить температуру вспышки одного из пожароопасных веществ. Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 6.17 - Температура вспышки топлива _____
(Марка, ГОСТ)

№ п/п	Показатель	Характеристика
1	Температура вспышки, °С	
2	Температура вспышки по ГОСТ, °С	
3	Заключение о соответствии топлива ГОСТу	

4. Определить огнеопасность ЛВЖ. Полученные данные занести в таблицу.

Таблица 6.18 - Огнеопасность ЛВЖ

№ п/п	Наименование ЛВЖ	Огнеопасность, мм
1	Бензин	
2	Дизельное топливо	
3	Керосин	
4	Ацетон	
5	Спирт этиловый	
6	Эфир	

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, классификацию пожароопасных веществ, показатели пожарной опасности веществ, показатели пожарной опасности углеводородов (предельные, непредельные, непредельные с двойной и тройной связями и ароматические углеводороды, нефть и нефтепродукты), органических соединений, содержащих кислород и азот (спирты, простые эфиры, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, сложные эфиры карбоновых кислот, нитросоединения, сложные эфиры азотной кислоты, аминосоединения),

элементоорганических соединений (кремнийорганические, металлоорганические и фосфорорганические соединения), полимеров (синтетические полимеры, пластические массы, синтетические волокна, натуральный и синтетические каучуки), веществ, применяемых в сельском хозяйстве (классификация веществ, применяемых в сельском хозяйстве, пестициды, удобрения), таблицу опытных данных по определению температуры вспышки, таблицу опытных данных по определению огнеопасности ЛВЖ, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию пожароопасных веществ.
2. Назовите показатели пожарной опасности веществ.
3. Какие представители углеводородов наиболее пожароопасны? Почему?
4. Какие органические соединения, содержащие кислород и азота, наиболее пожароопасны? Почему?
5. Какие представители элементоорганических соединений наиболее пожароопасны? Почему?
6. Какие представители полимеров наиболее пожароопасны? Почему?
7. Какие вещества, применяемые в сельском хозяйстве, наиболее пожароопасны? Почему?
8. С какой целью нужно определять температуру вспышки?
9. Что такое огнеопасность ЛВЖ?
10. Какая из испытуемых ЛВЖ наиболее огнеопасна?

Лабораторная работа № 7 (4 часа)

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Цель работы

Ознакомление с методами и приборами контроля параметров воздушной среды.

Задачи работы

Изучить методы и приборы для контроля параметров воздушной среды.

Проведение работы

1. Пользуясь учебным пособием (Лиханов В.А., Лопатин О.П. Средства контроля токсичности воздушной среды и отработавших газов: Учебное пособие для студентов инженерного факультета, обучающихся по специальностям: 190601 - Автомобили и автомобильное хозяйство, 280103 - Защита в чрезвычайных ситуациях. - Киров: Вятская ГСХА, 2006. - 188 с.), изучить газоанализаторы, предназначенные для контроля окружающей среды:

- портативные газоанализаторы;
- стационарные газоанализаторы;
- газоанализаторы-сигнализаторы.

2. Результаты изучения свести в таблицу.

Таблица 7.1 - Характеристика газоанализаторов

Марка	Измеряемые компоненты	Характеристика, принцип работы

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, виды портативных, стационарных газоанализаторов и газоанализаторов-сигнализаторов для определения содержания токсичных компонентов в воздухе рабочей зоны и их основные характеристики, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. С какой целью нужно контролировать состав воздуха в рабочей зоне?
2. Назовите газоанализаторы для определения оксидов азота в воздухе рабочей зоны.
3. Назовите газоанализаторы для определения суммарных углеводородов в воздухе рабочей зоны.
4. Назовите газоанализаторы для определения оксида углерода в воздухе рабочей зоны.
5. Назовите газоанализаторы для определения диоксида углерода в воздухе рабочей зоны.
6. Назовите газоанализаторы-сигнализаторы для определения содержания токсичных компонентов в воздухе рабочей зоны.
7. Назовите газоанализаторы для определения токсичных компонентов в отработавших газах автомобиля.
8. Опишите принцип работы этих газоанализаторов.

Лабораторная работа № 8 (4 часа)

КАТЕГОРИРОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗОН ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ

Цель работы

Ознакомление с методикой определения категории помещения по взрывоопасной и пожарной опасности и класса взрывоопасной (пожароопасной) зоны.

Задачи работы

Определение категории помещения. Расчет избыточного давления взрыва паровоздушных смесей. Определение класса взрывоопасной (пожароопасной) зоны. Разработка технических мероприятий по понижению категории помещения и класса зоны.

Определение категории помещения

По взрывоопасной и пожарной опасности помещения и здания подразделяются на категории: А и Б – взрывоопасные, В1...В4 – пожароопасные, Г и Д названия не имеют, предполагается, что они безопасны по взрыву и пожару.

Категории помещений определяются в соответствии с НПБ 105-95 (нормы пожарной безопасности) по таблице 8.1. Определение категории следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от высшей А к низшей Д.

Разделение помещений на категории В1...В4 производится по расчетной удельной пожарной нагрузке $g, \text{МДж/м}^2$ (табл. 8.2).

Таблица 8.1 - Характеристика категорий помещений

Категория помещений	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А – взрывопожароопасная	Горючие газы, ЛВЖ с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или один с другим в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б - взрывовспышки, пожароопасная	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой более 28°С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывопылевоздушные или паровоздушные смеси при избыточном давлении взрыва в помещении, превышающем 5 кПа.
В1...В4 - пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы. Вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или один с другим только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А и Б.
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Таблица 8.2 - Значения удельной пожарной нагрузки

Категория	Удельная пожарная нагрузка, г, МДж/м ²
В1	Более 2200
В2	1401...2200
В3	181...1400
В4	1...180

Температура вспышки – это самая низкая температура горючей жидкости, при которой в условиях специальных испытаний над ее поверхностью образуются пары, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования явно не достаточна для возникновения устойчивого горения.

Расчет избыточного давления взрыва при аварии

Избыточное давление взрыва (ΔP) – давление, создающееся внутри замкнутого помещения при взрыве взрывопожароопасных смесей. Предполагается, что при $\Delta P > 5$ кПа взрыв приводит к механическому разрушению строительных конструкций.

Таблица 8.3 - Исходные данные для расчета

Последняя цифра зачетной книжки	Объем жидкости, м ³	Вещество	Химическая формула	Молекулярная масса, μ , кг/кмоль	Плотность жидкости, $\rho_{ж}$, кг/м ³	Давление насыщенного пара, $P_{н}$, кПа	Максимальное давление пара, P_{max} , кПа	Температура вспышки $t_{всп}$, °C	НКПР, г/м ³	Низшая теплота сгорания, $H_{г}$, МДж/кг
0	Предпоследняя цифра зачетной книжки	Ацетон	C_3H_6O	58,1	791	24,2	572	-18	39	28,89
1		Бензин	$C_{7,0}H_{13,7}$	98,2	751	23,6	-	-35	43	41,87
2		Бензол	C_6H_6	78,1	874	11,6	882	-12	42	38,52
3		Диэтиловый эфир	$C_4H_{10}O$	74,1	714	59,4	720	-41	38,6	33,50
4		Гексан	C_6H_{14}	86,2	655	16,0	848	-23	39	45,09
5		Керосин	$C_{11,1}H_{21,8}$	154,7	819	0,5	-	40	42	43,54
6		Ксилол (смесь изомеров)	C_8H_{10}	106,2	855	1,2	765	29	44	28,80
7		Стирол	C_8H_8	104,2	907	0,7	647	30	46	42,60
8		Толуол	C_7H_8	92,1	867	2,9	634	7	38	41,03
9		Этиловый спирт (70%)	C_2H_6O	46,1	890	3,4	682	20	50	27,20

Масса поступивших в помещение паров ЛВЖ или ГЖ ($m_{п}$, кг) определяется исходя из следующих предпосылок:

- произошла расчетная (наиболее неблагоприятная) авария, т.е. разрушилась емкость, содержащая ЛВЖ;

- все содержимое емкости поступило в помещение;

- произошло испарение с поверхности разлившейся жидкости: площадь испарения ($F_{и}$ при разливе на пол) определяется из расчета, что 1 л ЛВЖ разливается на 1 м^2 пола помещения;

- аварийная вентиляция отсутствует или не работает;

- длительность испарения жидкости (τ , с) принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Масса жидкости (ЛВЖ или ГЖ), разлившейся в помещении ($m_{ж}$, кг) определяется по формуле

$$m_{ж} = V_{ж} \cdot \rho_{ж}, \quad (1)$$

где $V_{ж}$ - объем разлитой жидкости, м^3 ;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости при 20°C , $\text{кг}/\text{м}^3$.

Длительность испарения жидкости определяется по формуле

$$\tau = \frac{m_{ж}}{W \cdot F_{и}}, \quad (2)$$

где W - интенсивность испарения, $\text{кг}/\text{с} \cdot \text{м}^2$, рассчитывается по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu} \cdot P_{н}, \quad (3)$$

где η - коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения (при скорости воздушного потока $0,2 \text{ м}/\text{с}$ и температуре воздуха 20°C ; $\eta = 3,5$);

μ - молекулярная масса, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

$P_{н}$ - давление насыщенного пара (при 20°C), кПа .

При времени полного испарения жидкости, не превышающем или равном 3600 с, вся разлившаяся жидкость испаряется, поэтому масса паров равняется массе жидкости ($m_{п} = m_{ж}$).

Если время полного испарения жидкости превышает 3600 с, то длительность испарения принимается равной 3600 с, т.е. только часть разлитой жидкости за это время перейдет в пар. В таком случае масса паров рассчитывается по формуле

$$m_{\text{п}} = W \cdot F_{\text{и}} \cdot \tau = W \cdot F_{\text{и}} \cdot 3600. \quad (4)$$

Расчетное избыточное давление взрыва (ΔP) для индивидуальных горючих веществ определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{m_{\text{п}} \cdot z \cdot 100}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot c_{\text{ст}} \cdot K_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где P_{max} – максимальное давление взрыва газо- или паровоздушной смеси, (табл. исх. данных), при отсутствии данных принимается равным 900 кПа;

P_0 – начальное давление взрыва, 101 кПа;

z – коэффициент участия горючего во взрыве, равный 0,3;

$V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, м^3 ($V_{\text{св}} = 0,8 \cdot V_{\text{пом}}$, где

$V_{\text{пом}}$ – геометрический объем помещения, $V_{\text{пом}} = 4 \cdot F_{\text{и}}$, м^3);

$K_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения (принимается равным 3);

$\rho_{\text{п}}$ – плотность пара, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$c_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация паров или газов ЛВЖ и ГЖ, %.

Плотность пара, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вычисляется по формуле

$$\rho_{\text{п}} = \frac{\mu}{V_0 (1 + 0,00367 \cdot t_{\text{окр}})}, \quad (6)$$

где V_0 – мольный объем, равный 22,4 $\text{м}^3/\text{кмоль}$;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (согласно ГОСТ 12.1.005-88 не должна превышать 28°C).

Стехиометрическая концентрация паров или газов ЛВЖ и ГЖ, %, вычисляется по формуле

$$c_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (7)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения, определяемый по выражению

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (8)$$

где n_c, n_n, n_o, n_x – число атомов С, Н, О и галогенов (С1, Br, I, F) в молекуле горючего.

Расчетное избыточное давление взрыва (ΔP) для смесей веществ (например, ксилол, нефтепродукты) определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{m_n \cdot H_T \cdot P_0 \cdot z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_v \cdot c_p \cdot T_0 \cdot K_H}, \quad (9)$$

где H_T – низшая теплота сгорания, Дж/кг;

ρ_v – плотность воздуха до взрыва, равная $1,2 \text{ кг/м}^3$ при 20°C ;

c_p – теплоемкость воздуха, равная $1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$;

T_0 – начальная температура воздуха, $T_0 = t_{\text{окр}} + 273, \text{ K}$.

Если найденное расчетное избыточное давление взрыва (ΔP) превышает 5 кПа, то помещение (в зависимости от температуры вспышки) определяется как взрывопожароопасное категории А или В.

Если ΔP меньше 5 кПа, то помещение, как правило, относят к категории В1...В4. Для более точного определения категории пожароопасного помещения находится удельная пожарная нагрузка $g, \text{ МДж/м}^2$, по формуле

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (10)$$

где S – площадь размещения ЛВЖ или ГЖ до взрыва (пожарная нагрузка), м^2 , (но не менее 10 м^2);

Q – пожарная нагрузка, МДж, определяемая по выражению

$$Q = m_{\text{ж}} \cdot H_{\text{T}}, \quad (11)$$

где H_{T} - низшая теплота сгорания жидкости (пожарной нагрузки), МДж/кг.

Сравнивая полученное максимальное значение удельной пожарной нагрузки со значением, приведенным в таблице №2, находим категорию помещения по пожароопасности.

Определение класса зоны

В реальных условиях возможен взрыв паров ЛВЖ или ГЖ при нормальном режиме работы оборудования или на большом участке помещения. Это учитывается при классификации зон по пожаровзрывоопасности по правилам устройства электроустановок (ПУЭ). В качестве критерия для отнесения помещения (зоны) к взрывоопасным принят относительный объем образующейся взрывоопасной смеси паров ЛВЖ с воздухом.

К взрывоопасной зоне относится помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси паров ЛВЖ с воздухом.

Согласно ПУЭ, предусмотрены следующие классы взрывоопасных зон:

зоны класса В-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы;

зоны класса В-Ia - зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварии или неисправностей;

зоны класса В-Iб - зоны, расположенные в помещениях с признаками, аналогичными признакам зон класса В-Ia, но отличающиеся одной из следующих особенностей. К классу В-Iб относятся зоны

лабораторных и других помещений, в которых ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работы с ЛВЖ проводятся без применения скрытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с ЛВЖ проводится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами;

зоны класса В-Г – пространства у наружных установок, содержащих ЛВЖ; надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами;

зоны класса В-П – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы;

зоны класса В-Па – зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния не возникают при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Если объем взрывоопасной смеси составляет более 5 % свободного объема помещения, то все помещение является взрывоопасным.

Если объем взрывоопасной смеси меньше или равен 5 % свободного объема помещения, то взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, у которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ. Помещения за пределами взрывоопасной зоны считаются невзрывоопасными, если нет других факторов, создающих в них взрывоопасность.

К пожароопасной зоне относятся пространства внутри или вне помещений, в пределах которой постоянно или периодически обращаются горючие вещества при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях. Помещения и установки, в которых содержатся жидкости с температурой вспышки выше 61°С и пыли с НКПВ выше 65 г/м³, относят к пожароопасным и классифицируют по следующим зонам:

зоны класса П-И – зоны, расположенные в помещениях, в которых содержатся ЛВЖ или ГЖ (например, масла);

зоны класса П-II - зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна, с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м^3 ;

зоны класса П-IIa - зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества;

зоны класса П-III - расположенные вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C или твердые горючие вещества.

Для определения класса взрывоопасной зоны объем образовавшейся взрывоопасной смеси ($V_{\text{см}}, \text{м}^3$) находится по формуле

$$V_{\text{см}} = \frac{m_{\text{п}}}{\text{НКПР}}, \quad (12)$$

где НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени (воспламенения), г/м^3 .

Объемная доля горючей смеси в помещении ($r_{\text{см}}, \%$) определяется по формуле

$$r_{\text{см}} = \frac{V_{\text{см}} 100}{V_{\text{св}}}. \quad (13)$$

Разработка технических мероприятий по понижению категории помещения и класса зоны

При расчетном избыточном давлении взрыва ΔP , превышающем 5 кПа , необходимо провести технические мероприятия, чтобы понизить категорию помещения путем уменьшения расчетного избыточного давления взрыва.

Расчетное избыточное давление взрыва можно изменить следующими способами:

- уменьшением количества ЛВЖ и ГЖ, находящихся в помещении. Количество ЛВЖ и ГЖ, хранящихся в помещении, не должно превышать суточной потребности;

- устройством аварийной вентиляции, обеспеченной резервными вентиляторами; автоматической системой пуска при дости-

жении взрывоопасных концентраций паров ЛВЖ; устройствами для удаления воздуха из помещения, расположенными в непосредственной близости от места возможной аварии. В этом случае массу паров ($m_{п}$) следует разделить на коэффициент (K), определяемый по формуле

$$K = \frac{A \cdot \tau}{3600} + 1, \quad (14)$$

где A - кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией (час^{-1}). Определяется из отраслевых нормативов по охране труда, а при их отсутствии составляет не менее 8 час^{-1} .

После проведения технических мероприятий производится перерасчет ΔP . Если предусмотренные мероприятия позволили уменьшить избыточное давление до величины 5 кПа и менее, то помещение относят к категории В1...В4, а затем уточняют категорию помещения по пожароопасности и класс зоны по пожаровзрывоопасности.

Проведение работы

1. Выбрать по последним двум цифрам зачетной книжки исходные данные из таблицы 8.3.
2. Произвести расчет избыточного давления взрыва и определить категорию помещения.
3. Если категория помещения получилась пожароопасная – уточнить категорию, выполнив расчет удельной пожарной нагрузки.
4. Определить класс зоны.
5. Разработать технические мероприятия по понижению категории помещения и класса зоны, если расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа .
6. Полученные данные свести в таблицу.

Таблица 8.4 - Полученные данные

Наименование жидкости	Первоначальные данные			Данные после проведения технических мероприятий		
	ΔP , кПа	категория помещения	класс зоны	ΔP , кПа	категория помещения	класс зоны

Оформление отчета

Отчет выполняется в журнале для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва». Должен содержать цель и задачи работы, характеристику категорий помещений, характеристику классов взрывоопасных и пожароопасных зон, методику расчета избыточного давления взрыва при аварии, расчет, таблицу полученных данных, выводы по работе, число, подпись.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение взрывоопасной зоне.
2. Назовите и охарактеризуйте классы взрывоопасных зон.
3. Дайте определение пожароопасной зоне.
4. Назовите и охарактеризуйте классы пожароопасных зон.
5. Назовите и охарактеризуйте категории помещений по взрыво-пожароопасности.
6. Какие технические мероприятия применяют для понижения категории помещения и класса зоны?

Учебное издание

**Лиханов Виталий Анатольевич
Лопатин Олег Петрович**

ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине «Теория горения и взрыва»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по специальности
280103 – Защита в чрезвычайных ситуациях

Редактор А.В. Зверева

Формат 60x84 1/16. Объем усл. печ. л. 7,38. Тираж 100 экз.
Бумага офсетная. Цена договорная. Отпечатано с оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ФГОУ ВПО Вятская ГСХА
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133