МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Пенза
2014

УДК 544

Авторы

Вершинин Н.Н., Козлов Г.В., Григорьев Ю.А.

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук, доцент Д. Д. Бабаев, начальник кафедры «Порохов и взрывчатых веществ» Пензенского филиала Военной академии материально-технического обеспечения.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория горения и взрыва» / Н.Н. Вершинин [и др.] – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. ун-та, 2014. - 48 с.

В данных методических указаниях изложена методика и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва».

Методические указания к лабораторным работам содержат материал, способствующий качественной подготовке инженеров защиты окружающей среды. Они написаны в соответствии с учебной программой дисциплины «Теория горения и взрыва» и предназначены для студентов направления «Техносферная безопасность», а также других направлений и специальностей высшего профессионального образования для выполнения лабораторных работ.

Методические указания охватывают все разделы дисциплины: материальный и тепловой балансы, возникновение и распространение горения и взрыва, газообмен на внутреннем пожаре. Отличительной особенностью всех лабораторных работ является их исследовательская направленность и комплексный теоретический и экспериментальный метод определения исследуемых параметров. Это наиболее оптимальный способ обучения, позволяющий увидеть возможности теории в решении прикладных задач.

УДК 544

Содержание

	Введение	3
1.	Общие требования к выполнению, оформлению и обработке экспериментальных данных лабораторной работы……	4
2.	Меры безопасности и первой помощи при работе в лаборатории……..	4
3.	Лабораторная работа № 1. Исследование состава продуктов горения веществ…….	6
4.	Лабораторная работа № 2. Изменение давления взрыва газовоздушной смеси от ее состава……..	14
5.	Лабораторная работа № 3. Влияние флегматизаторов на концентрационные пределы распространения пламени (КПР)……..	19
6.	Лабораторная работа № 4. Зависимость температуры вспышки горючей жидкости от концентрации ее водных растворов……..	26
7.	Лабораторная работа № 5. Зависимость температуры самовоспламенения от концентрации паров горючей жидкости в паровоздушной смеси……	30
8.	Лабораторная работа № 6. Определение скорости распространения пламени по поверхности горючих жидкостей……	37
9.	Лабораторная работа № 7. Определение характеристик пожарной нагрузки	40
10.	Лабораторная работа № 8. Расчет площади, построение плана и графика развития пожара	42
	Литература	45
	Приложение	46

Введение

Методические указания способствуют закреплению теоретических знаний слушателей. Каждая лабораторная работа отвечает определенной теме дисциплины, и в ней изложены: цель работы, основные теоретические положения и описание лабораторной работы, порядок подготовки и проведения опыта и контрольные вопросы для проверки усвоения материала. Такая структура должна помочь в самостоятельной подготовке к выполнению лабораторной работы, способствовать осмысленному ее выполнению. Поэтому при подготовке к лабораторным работам необходимо изучить соответствующие разделы пособий:

Вершинин Н.Н., Козлов Г.В., Григорьев Ю.А. Учебное пособие «Теория горения и взрыва». Пенза, ПГУ., 2014.

Вершинин Н.Н., Козлов Г.В., Григорьев Ю.А. Практикум «Теория горения и взрыва». Пенза, ПГУ., 2014.

Материал методических указаний иллюстрирован графиками, справочными данными и примерами. Некоторые экспериментальные установки, используемые в лабораторных работах отличаются от гостированных тем, что они упрощены и позволяют работать на них без специальной подготовки.

Ознакомиться со стандартными методами и установками для определения показателей можно по ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов».

Общие требования к выполнению, оформлению и обработке экспериментальных данных лабораторной работы

Цель лабораторных работ способствовать закреплению теоретических знаний слушателей. Каждая лабораторная работа отвечает определенной теме курса, поэтому при подготовке к лабораторному занятию слушатель должен изучить теоретический материал по данной теме, а затем ознакомиться с описанием лабораторной работы.

В процессе проведения работы запись исходных данных, результатов испытаний и расчет конечных величин должны проводиться в специальных тетрадях или на отдельных листках. Оформление работы, графическое представление результатов там, где это более наглядно, должно быть выполнено с соблюдением математических методов обработки результатов.

Приступая к выполнению работы, слушатель должен получить у преподавателя задание, содержащее наименование исследуемого вещества и конкретные условия проведения эксперимента.

При выполнении работы слушатель должен быть знаком с общими правилами техники безопасности работы в лаборатории и пожароопасными свойствами исследуемого материала, а также особенностями данного эксперимента.

Меры безопасности и первой помощи при работе в лаборатории

1. При работе в лаборатории необходимо быть внимательным и соблюдать исключительную осторожность. Недостаточное знакомство с приборами и свойствами веществ, неаккуратность и отступление от правил техники безопасности и порядка проведения работы могут повлечь за собой тяжелые последствия.

Приступать к выполнению лабораторной работы разрешается только после инструктажа и соответствующей записи в журнале.

Слушатель обязан: строго соблюдать порядок выполнения работы, убрать с рабочего места все посторонние предметы, выяснить у преподавателя все возникающие в процессе работы вопросы.

2. Во избежание случайных отравлений запрещается пользоваться для питья лабораторной посудой.

3. Запрещается набирать пипеткой при помощи рта испытуемые жидкости; для этого следует пользоваться резиновой грушей.

4. Категорически запрещается сливать в канализацию огнеопасные жидкости, засорять грязью, твердыми предметами (бумага, древесина, битое стекло) раковины канализации.

5. В лаборатории категорически запрещается:

а) мыть оборудование, пол, столы бензином, керосином и другими легковоспламеняющимися жидкостями;

б) хранить тряпки, другие предметы, смоченные легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

6. Строго воспрещается проводить вблизи огня какие-либо работы, кроме предусмотренных описанием.

7. При пользовании газовыми горелками следует соблюдать следующие правила:

а) чтобы зажечь горелку надо немного открыть кран, выждать 2-3 с и затем, к выходному отверстию поднести пламя спички или электрозажигалки. Если от неправильного зажигания горелки пламя «проскакивает», т.е. горит внутри горелки, ее следует немедленно погасить, дать ей остыть и только после этого зажечь снова.

8. Действующие электронагревательные приборы нельзя оставлять без присмотра.

9. Все работы с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями должны проводиться в вытяжном шкафу или под вытяжным зонтом при работающей вентиляции.

10. Категорически запрещается нагревать на открытом огне сосуды, содержащие низкокипящие огнеопасные жидкости.

11. При нагревании ЛВЖ в количестве более 0,5 л необходимо под прибор ставить кювету достаточной емкости для предотвращения разлива жидкости в случае аварии.

12. В случае внезапного прекращения подачи воды на охлаждение приборов с ЛВЖ и ГЖ горелки должны быть потушены, а электрический ток выключен.

13. После окончания работы необходимо проверить:

а) закрыты ли газовые и водяные краны, общий вентиль ввода газа в лабораторию;

б) потушены ли горелки и другие огневые приборы, включены ли электронагревательные приборы;

в) закрыты ли пробками бутылки и банки с реактивами и другими жидкостями и материалами.

14. Необходимо ознакомиться с местом нахождения в лаборатории огнетушителя, ящика с песком, асбестобетона и др.

15. При тепловом ожоге обожженное место необходимо смочить раствором перманганата калия, затем смазать мазью от ожогов, вазелином или раствором питьевой соды (бикарбонатом натрия) и перевязать бинтом.

Лабораторная работа № 1

Исследование состава продуктов горения веществ

Цель работы. Теоретически и экспериментально определить состав продуктов горения и установить предельную по горючести концентрацию кислорода.

Содержание работы.

1. Провести сжигание горючего вещества в изолированной емкости. Определив массу сгоревшего вещества, рассчитать коэффициент избытка воздуха и состав продуктов горения, исходя из химического уравнения реакции горения.

2. Методом газовой хроматографии установить состав продуктов горения, находящихся в закрытой емкости, после прекращения горения. На основании полученных данных рассчитать коэффициент избытка воздуха.

3. Сравнить расчетные и экспериментальные данные, полученные в ходе выполнения лабораторной работы, сделать выводы. Обратить внимание на полученное значение предельной по горючести концентрации кислорода, т.е. той концентрации кислорода, при которой горение исследованного вещества в закрытой емкости прекратилось.

Введение. Состав продуктов горения является важной характеристикой пожарной опасности веществ и материалов, так как в условиях пожара от него зависит токсичность среды, а это, в свою очередь, влияет на безопасность и здоровье людей, оказавшихся в зоне задымления.

В основе процесса горения лежит химическое взаимодействие горючего и окислителя. При горении веществ в воздухе окислителем является кислород. Азот, содержащийся в воздухе, не участвует в химическом превращении. Так как воздух содержит ~21 % кислорода и ~79 % азота, то на каждый моль кислорода в воздухе приходится 3,76 моля азота. Поэтому при составлении уравнения материального баланса процесса горения в воздухе перед азотом записывают коэффициент 3,76. Например, для этана:

$$C_2H_6 + 3{,}5O_2 + 3{,}5 \cdot 3{,}76N_2\, 2CO_2 + 3H_2O + 3{,}5 - 3{,}76N_2$$

Состав продуктов горения в первую очередь зависит от природы горючего вещества, т.е. его элементного состава. Например, для веществ, содержащих углерод, водород, хлор, продуктами полного окисления являются двуокись углерода, вода, хлористый водород. Кроме этого, на состав продуктов горения будут оказывать влияние условия, при которых происходит горение. В случае недостатка кислорода наряду с вышеперечисленными продуктами образуются продукты неполного окисления: окись углерода (CO) и углерод (C) в виде сажи.

Количество воздуха, необходимое для полного сгорания некоторого количества вещества, рассчитывают из уравнения материального баланса.

Отношение фактического количества воздуха, содержащегося в рассматриваемом объеме, к расчетному, т.е. теоретически необходимому, называется коэффициентом избытка воздуха: $\sim = \frac{V_O}{V_B^O}$.

При горении газовой смеси горючего и окислителя (кинетическое горение) с $\sim \rangle 1$ происходит полное окисление горючего вещества. Причем, если $\sim \rangle 1$ в продуктах горения содержится избыток воздуха: $\Delta V_B = V_B - V_B^O$, а, следовательно, и кислород. Если $\sim \langle 1$, то в продуктах горения содержатся продукты полного и неполного окисления.

В случае диффузионного режима горения, которое чаще всего имеет место на пожаре, даже при избытке воздуха могут образовываться продукты неполного горения, так как реакция в пламени лимитируется процессом диффузии кислорода воздуха в зону горения. В закрытых помещениях горение прекращается при содержании в воздухе 14 – 17 % кислорода. При снижении в помещении концентрации кислорода уменьшается скорость его «доставки» к зоне горения, а это приводит к уменьшению скорости химической реакции, снижению температуры горения и, при определенных условиях, к прекращению горения.

Метод газовой хроматографии.

Качественный и количественный анализ продуктов горения может быть проведен методом газовой хроматографии. Этот метод основан на способности веществ адсорбироваться на поверхности твердых веществ. Если в хроматографическую колонку, которая представляет собой трубку небольшого диаметра, заполненную каким-либо пористым сорбентом (вещества с большой удельной поверхностью: активированные угли, цеолиты, силикагели, …), ввести некоторое количество индивидуального газообразного вещества и продувать ее инертным газом с постоянной скоростью, то эта порция вещества будет перемещаться по колонке с меньшей скоростью, чем инертный газ (газ-окислитель). Скорость перемещения вещества по колонке будет зависеть от способности данного вещества адсорбироваться на сорбенте. Чем лучше адсорбируется вещество, тем медленнее оно будет перемещаться.

Таким образом, если в хроматографическую колонку ввести порцию смеси индивидуальных веществ, то при движении по колонке смесь разделится на индивидуальные компоненты. На рис.1.1 показано разделение смеси, содержащей кислород, азот и двуокись углерода в хроматографической колонке, заполненной цеолитом.

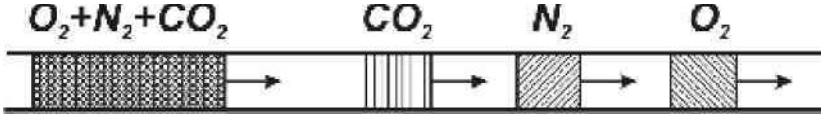

Рис. 1.1. Движение смеси газов по хроматографической колонке.

По этому рисунку можно установить, что из трех газов слабее всех на цеолите адсорбирует O_2, а сильнее всех CO_2.

После прохождения колонки индивидуальные компоненты вместе с газом-носителем попадают в детектор, который фиксирует изменение концентрации выходящего из колонки компонента.

Работа детектора может основываться на различных физических принципах – измерение теплопроводности, плотности ионизационного тока и др. наиболее распространенным является детектор, регистрирующий изменение теплопроводности газа, такой детектор называют катарометром. Детектор-катарометр схематично показан на рисунке 1.2. Он имеет два канала, в которых расположены чувствительные элементы – спирали из тонкой проволоки, нагретые до высокой температуры проходящим электрическим током. По одному из каналов идет с постоянной скоростью только инертный газ (газноситель), а по другому их хроматографической колонки поступает газноситель с разделенными компонентами смеси.

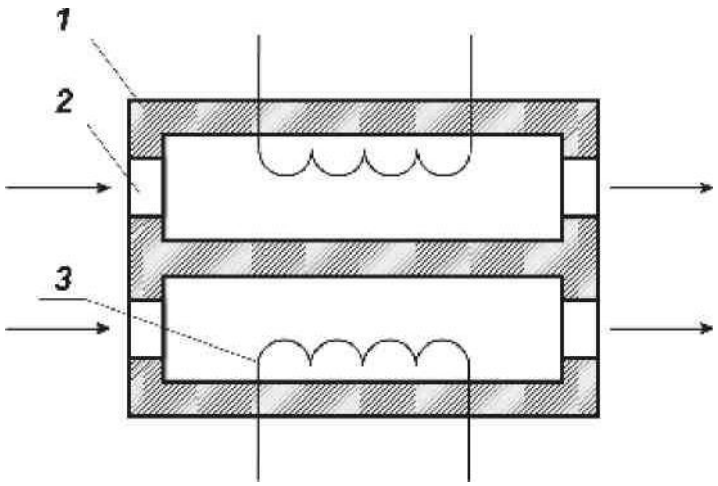

Рис. 1.2. схема детектора-катарометра:
1 – корпус детектора; 2 – каналы для газа; 3 – чувствительные элементы.

Когда в обоих каналах находится газ-носитель, теплопроводность среды около спирали одинакова, одинакова и температура спиралей. Если во второй канал попадает какой-либо из компонентов смеси, то меняется теплопроводность газа вокруг спирали, что приводит к изменению ее температуры, а, следовательно, и к изменению сопротивления спирали. Возникает разбаланс в мостовой электрической схеме, в которую включены обе спирали. Электрический сигнал, вызванный изменением теплопроводности в канале катарометра, подается через усилитель на самописец. Чем больше концентрация вещества, проходящего через детектор, тем больше величина электрического сигнала. Электрические сигналы в виде пиков записываются на движущейся диаграммной бумаге. Полученная таким образом картина называется хроматограммой. Для смеси, содержащей O_2, N_2 и CO_2, хроматограмма показана на рис. 1.3.

Обработка хроматограмм позволяет производить качественный и количественный анализ исследуемой смеси газов. Площадь каждого пика на хро-

матограмме пропорциональна количеству соответствующего компонента в анализируемой пробе. Площадь пика определяют как площадь треугольника произведением высоты пика на его ширину, измеренную на половине высоты. Например, для CO_2 (рис 1.3.) $S_{CO_2} = a \cdot h$.

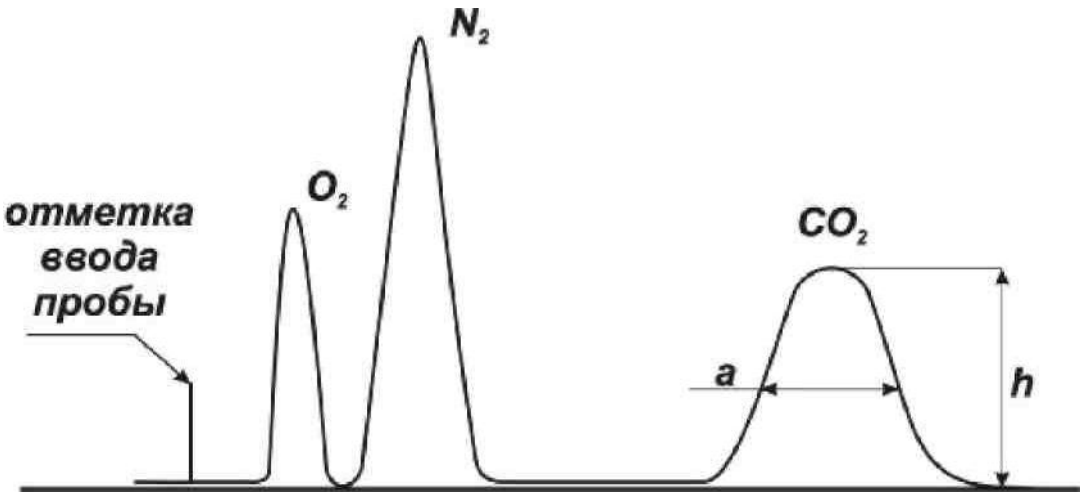

Рис 1.3. Хроматограмма газовой смеси.

Для того, чтобы сравнивать площади пиков, принадлежащих различным веществам, необходимо ввести поправки, учитывающие пропорциональность между концентрацией вещества в детекторе и величиной электрического сигнала (для катарометра зависит от теплопроводности анализируемого вещества), а также степень усиления электрического сигнала устанавливается ручкой делителя напряжения на панели хроматографа отдельно для каждого пика. Поэтому при обсчете хроматограмм для каждого вещества рассчитывают приведенные площади пиков с учетом вышеперечисленных поправок:

$$S_i^1 = K_{ПР} \cdot K_y \cdot S_i , \qquad (1.1)$$

где $K_{ПР}$ - коэффициент пропорциональности, учитывающий различие в теплопроводности веществ;

K_y - коэффициент усиления электрического сигнала.

Если отбор газовой пробы продуктов сгорания проводится при комнатной температуре, то в этой пробе практически отсутствуют пары воды, образующиеся при горении, так как они конденсируются при понижении температуры продуктов горения ниже точки кипения воды. Поэтому хроматографический анализ не может дать информацию о количестве паров воды в продуктах горения. Однако их содержание можно рассчитать косвенным методом, исходя из уравнений реакции. Например, при сгорании этана в продуктах горения на два моля образовавшейся двуокиси углерода приходится три моля воды (см. уравнение химической реакции). Таким образом, объем паров

воды в продуктах горения в 1,5 раза больше объема углекислого газа. Поэтому, чтобы учесть содержание воды в продуктах горения вводят величину

$$S'_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{CO_2}} \cdot S'_{CO_2} \qquad 1.2)$$

Тогда содержание (% об) каждого компонента в продуктах горения определится по формуле:

$$\cdot\cdot = \frac{S'_i}{S_\Sigma} \cdot 100\,\%, \qquad (1.3)$$

где S_Σ - сумма приведенных площадей всех веществ.

$$S_\Sigma = S'_{O_2} + S'_{N_2} + S'_{CO_2} + S'_{H_2O} \qquad (1.4)$$

Описание лабораторной установки. Установка для определения состава продуктов горения изображена на рис. 1.4.

Фарфоровый тигель 1 с исследуемым веществом помещается на подставке 2 и герметично закрывается колоколом 3 прямоугольной формы. Колокол сделан из органического стекла. На одной его стороне закреплена эластичная компенсирующая емкость 4 (резиновый шарик), предназначенная для сохранения атмосферного давления в замкнутой емкости, так как горение будет сопровождаться изменением объема за счет протекания химической реакции и повышения температуры. На другой стороне колокола закреплено специальное устройство 5, через которое медицинским шприцем отбирается газовая проба продуктов горения. Для анализа используют газовый хроматограф, состоящий из следующих основных частей: баллона 6 с газом-носителем, регулятора расхода газа-носителя 7, устройства для ввода пробы 8, хроматографической колонки 9, детектора 10 и самопишущего прибора 11 типа КСП.

Порядок выполнения работы и проведение расчетов.

1. Исследующую горючую жидкость наливают в тигель и взвешивают ее вместе с тиглем на весах с точностью 0.01 г.
2. Помещают тигель на подставку лабораторной установки, поджигают горючую жидкость и быстро накрывают колоколом так, чтобы горение происходило в герметичной емкости. Наблюдают за горением жидкости.
3. После прекращения горения через специальное устройство на колоколе медицинским шприцем отбирают газовую пробу продуктов горения и вводят в хроматограф.

4. После получения хроматограммы колокол снимают, повторно взвешивают тигель с оставшимся веществом и по разности масс определяют количество сгоревшей жидкости (потерю массы Δm).

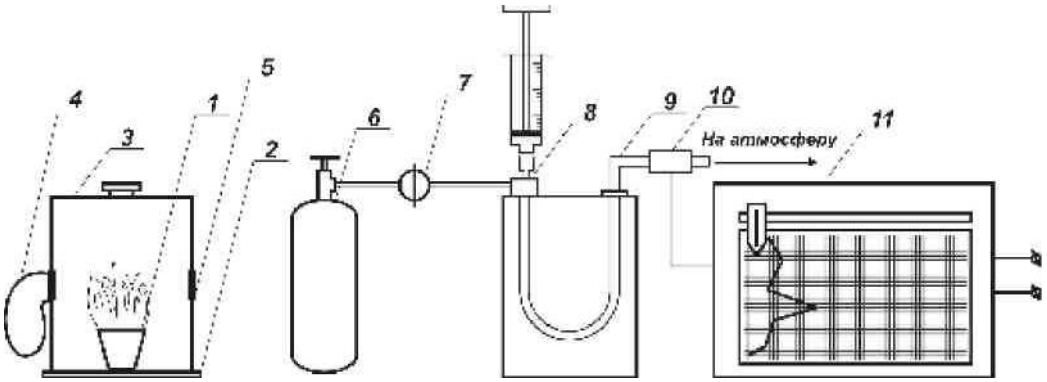

Рис. 1.4. схема установки для определения состава продуктов горения:
1 – тигель с исследуемой жидкостью; 2 – подставка; 3 – колокол;
4 - эластичная емкость; 5 – устройство для отбора пробы;
6 – баллон с инертным газом; 7 – вентиль тонкой регулировки;
8 – устройство для ввода пробы; 9 – хроматографическая колонка;
10 – детектор; 11 – самопишущий прибор.

5. Записав уравнение горения исследуемого вещества, проводят расчет теоретического количества воздуха V_B^0, необходимого для сгорания вещества массы Δm

$$V_B^0 = \frac{\left(n_{O_2} + n_{N_2}\right) \cdot V_0}{n_r \cdot M_r} \cdot \Delta m .$$

В настоящей работе для удобства рекомендуется проводить расчеты массы в граммах, а объема в литрах. В этом случае $V_0 = 22,4$ л/моль, а M_r будет выражаться в г/моль.

6. Рассчитывают коэффициент избытка воздуха ~, приняв практическое количество воздуха V_B равным объему камеры, в которой происходило горение

$$\sim = \frac{V_B}{V_B^O} .$$

7. Исходя из уравнения реакции горения, рассчитывают количество образовавшихся двуокиси углерода и воды при сгорании горючего, а также количество азота и кислорода в продуктах горения

$$V_{CO_2} = \frac{n_{CO_2} \cdot V_0}{n_r \cdot M_r} \cdot \Delta m,\ V_{H_2O} = \frac{n_{H_2O} \cdot V_0}{n_r \cdot M_r} \cdot \Delta m,\ V_{N_2} = 0,79V_B,\ V_{O_2} = 0,21\Delta V_B,$$

где $\Delta V = V_B - V_B^O$ - избыток воздуха.

8. Рассчитывают процентный состав продуктов горения и заносят полученные результаты в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Потеря массы Δm, г	Расчетные данные по составу ПГ, % об.				Коэффициент избытка воздуха ~
	CO_2	H_2O	N_2	O_2	
	Экспериментальные данные по составу ПГ, % об.				Коэффициент избытка воздуха ~
	CO_2	H_2O	N_2	O_2	

9. Приступают к обработке данных хроматографического анализа состава продуктов горения. По хроматограмме определяют процентный состав продуктов горения. Полученные данные заносят в табл. 1.1.

10. Пользуясь экспериментально установленным содержанием кислорода в продуктах горения, определяют коэффициент избытка воздуха

$$\sim = 1 + \frac{\ddot{}_{O_2} \cdot V_{ПГ}^O}{V_B^O(21 - \ddot{}_{O_2})}.$$

11. Сравнивают расчетные и экспериментальные данные, делают выводы. Обратить внимание на полученное значение концентрации кислорода, при котором горение прекратилось.

В отчете по лабораторной работе приводят наименование вещества, химическую формулу, условия проведения опыта (температура окружающего воздуха – Т, К, атмосферное давление – Р, па), расчет состава продуктов горения и коэффициента избытка воздуха. К отчету прилагают хроматограмму продуктов горения.

Контрольные вопросы

1. Какие продукты горения вы знаете? Какие факторы оказывают влияние на состав продуктов горения?
2. Что такое коэффициент избытка воздуха и как он рассчитывается?
3. Дайте определение полного и неполного горения; в каких условиях образуются продукты неполного горения. Способны ли они в определенных условиях гореть?
4. Как влияет содержание кислорода в воздухе на способность веществ к горению? Почему?
5. Почему в замкнутом объеме горение твердых и жидких веществ прекращается при наличии определенного содержание кислорода?

6. Укажите, какой тип горения реализуется при сжигании горючей жидкости в замкнутом объеме в условиях опыта, проводимого при выполнении лабораторной работы?

7. В чем состоит сущность хроматографического метода анализа смеси веществ?

8. Как работает детектор-катарометр?

9. Почему при хроматографическом анализе не регистрируется содержание паров воды в продуктах горения?

10. Какие поправки и почему следует вводить при расчете состава продуктов горения по хроматограмме?

11. Определить количество сгоревшего вещества в закрытом объеме V, если известно, что содержание кислорода понизилось до $\ddot{}_{O_2}$.

12. Рассчитать количество и состав продуктов горения, образующихся при сгорании вещества массой Δm, если известны температура горения $T_Г$ и коэффициент избытка воздуха ~ .

Лабораторная работа № 2
Изменение давления взрыва газовоздушной смеси от ее состава

Цель работы. Расчетным и экспериментальным методами изучить влияние состава горючей газовоздушной смеси на давление взрыва.

Содержание работы.

1. Расчетным методом определить адиабатическую температуру и максимальное давление взрыва газовоздушной смеси различного состава.
2. Экспериментально определить давление взрыва газовоздушной смеси в замкнутом объеме.
3. По расчетным и экспериментальным результатам построить график зависимости давления взрыва от состава смеси.
4. По полученным данным сделать выводы.

Введение. При взрывном сгорании газопаровоздушной смеси (кинетический режим) в замкнутом объеме происходит повышение давления. Когда давление достигает предела прочности, наступает разрушение элементов конструкций зданий, сооружений, аппаратов.

Давление взрыва является важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании легко сбрасываемых конструкций, предотвращающих полное разрушение зданий, прочностном расчете аппаратов, разрушающихся предохранительных мембран, клапанов и т.д.

Скорость нарастания давления пропорциональна скорости кинетического горения газовоздушной смеси, которая может составлять от нескольких сантиметров в секунду в ламинарном режиме горения до сотен метров в секунду при турбулентном режиме.

Рост давления происходит главным образом в результате повышения температуры от начальной до температуры взрыва, т.е. до максимальной температуры продуктов реакции. Для взрывов стехиометрических и бедных смесей давление взрыва можно рассчитать по формуле

$$P_{\max} = \frac{P_0 \cdot \left[V_{ПГ}^0 + (\sim -1) \cdot V_B^0 \right] \cdot T_{вз}^0}{\left(V_Г + \sim \cdot V_B^0 \right) \cdot T_0} \qquad (2.1)$$

где P_0 - начальное давление газовоздушной смеси, па, атм;

T_0 - начальная температура газовоздушной смеси, К;

$T_{вз}^0$ - адиабатическая температура взрыва, К;

$V_{ПГ}^0$ - теоретический объем продуктов горения, кмоль/кмоль, $м^3/м^3$;

$V_Г$ - объем горючего, кмоль/кмоль, $м^3/м^3$;

~ - коэффициент избытка воздуха;

V_B^0 - теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания единица объема горючего, кмоль/кмоль, $м^3/м^3$.

Порядок выполнения работы.

1. Заполняется таблица исходных данных.

Таблица 2.1

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1.	Горючий газ	
2.	Концентрация газов в воздухе, % об.	
3.	Начальная температура, ºС	
4.	Атмосферное давление, Па	

Горючий газ и его концентрация в воздухе задаются преподавателем, температура и атмосферное давление определяются по соответствующим приборам в лаборатории.

2. Расчетная часть.

2.1. Расчет продуктов горения и коэффициента избытка воздуха.

При сгорании стехиометрической смеси, коэффициент избытка воздуха $\sim = 1$, по этому, объем продуктов горения равен теоретическому, т.е.:

$$V_{ПГ} = V_{ПГ}^0 \qquad (2.2)$$

При сгорании бедных смесей, когда $\sim \rangle 1$

$$V_{ПГ} = V_B^0 + \Delta V_B \qquad (2.3)$$

где ΔV_B - избыток воздуха

$$\Delta V_B = V_B^0 \left(\sim - 1\right) \qquad (2.4)$$

Коэффициент избытка воздуха при известной концентрации горючего $(\ddot{}_Г)$ определяется по уравнению

$$\sim = \frac{100 - \ddot{}_Г}{\ddot{}_Г \cdot V_B^0} \qquad (2.5)$$

2.2. Расчет адиабатической температуры взрыва газовоздушной смеси проводится из уравнения теплового баланса.

Точное значение $T_{ВЗ}^0$ можно рассчитать по уравнению

$$T_{ВЗ}^0 = T_0 + \frac{Q_H}{\sum C_{¬i} \cdot V_{ПГi}} \qquad (2.6)$$

где $C_{¬i}$ - теплоемкость при постоянном объеме i-го продукта взрыва, кДж/(моль*К).

2.3. Расчет давления взрыва проводится по уравнению (2.1). Например, рассчитать давление взрыва бутановоздушных смесей: стехиометрической (3,1%) и бедной (2,0%) концентрации. Предположим, что в п. 2.2 при расчете температуры взрыва получены соответствующие значения для стехиометрии 2200 ºС и для бедной смеси 1300 ºС. Из уравнения горения следует:

$$C_4H_{10} + 6,5O_2\,6,5\cdot 3,76N_2 = 4CO_2 + 5H_2O + 6,5\cdot 3,76N_2 .$$

Для стехиометрии:

$\sim = 1$; $V_Г = 1$ кмоль/кмоль; $V^0_{ПГ} = 4 + 5 + 6,5\cdot 3,76 = 33,44$ кмоль/кмоль;

$V^0_B = 6,5 + 6,5\cdot 3,76 = 30,94$ кмоль/кмоль.

Для бедной смеси с концентрацией бутана 2% об:

$$\sim = \frac{100-2}{2\cdot 30,94} = 1,58 .$$

$$\Delta V_B = 30,94\cdot(1,58-1) = 17,94 \text{ кмоль/кмоль.}$$

$$V_{ПГ} = 33,44 + 17,94 = 51,38 \text{ кмоль/кмоль.}$$

Давление взрыва для стехиометрической смеси:

$$P_{СТЕХ} = \frac{1\cdot 33,44\cdot(2200+273)}{(1+1\cdot 6,5\cdot 4,76)(20+273)} = 8,8 \text{ атм.}$$

Давление взрыва для бедной смеси:

$$P_{бед} = \frac{1\cdot 51,38\cdot(1300+273)}{(1+1,58\cdot 6,5\cdot 4,76)(20+273)} = 5,5 \text{ атм.}$$

Результаты расчета заносятся в таблицу.

Таблица 2.2

№ п/п	Концентрация горючего в воздухе, % об	Адиабатическая температура взрыва, ºС	Давление взрыва, атм
1.			
2.			
3.			

3. Экспериментальная часть.

Экспериментальная установка (рис.2.1) состоит из взрывного сосуда – бомбы постоянного объема 1, снабженной электродами 2 для искрового зажигания горючей смеси через высоковольтный генератор 3, подключаемый к электрической сети.

В корпус бомбы заделан датчик давления 4, который через аналоговый цифровой преобразователь 5 соединен с компьютером 6, на котором с помощью программного обеспечения показания датчика преобразуются в графическую зависимость изменения давления в сосуде с атмосферой во времени - $P = f(\tau)$.

Сосуд через краны 7 и 8 соединены с атмосферой и манометром 13, через кран 9 и трехходовой кран 10 с вакуумметром 11 и вакуумным насосом 12. Концентрация горючего газа $(\ddot{}_{Г})$ во взрывном сосуде равна

$$\ddot{}_{Г} = \frac{P_{Г}}{P_0} \cdot 100 \qquad (2.7)$$

Где $P_{Г}$ - давление газа в сосуде, Па;

P_0 - атмосферное давление, Па.

Из (2.7) по заданному значению концентрации (табл. 2.1) определяется требуемое давление горючего газа

$$P_{Г} = \frac{\ddot{}_{Г} \cdot P_0}{100} \qquad (2.8)$$

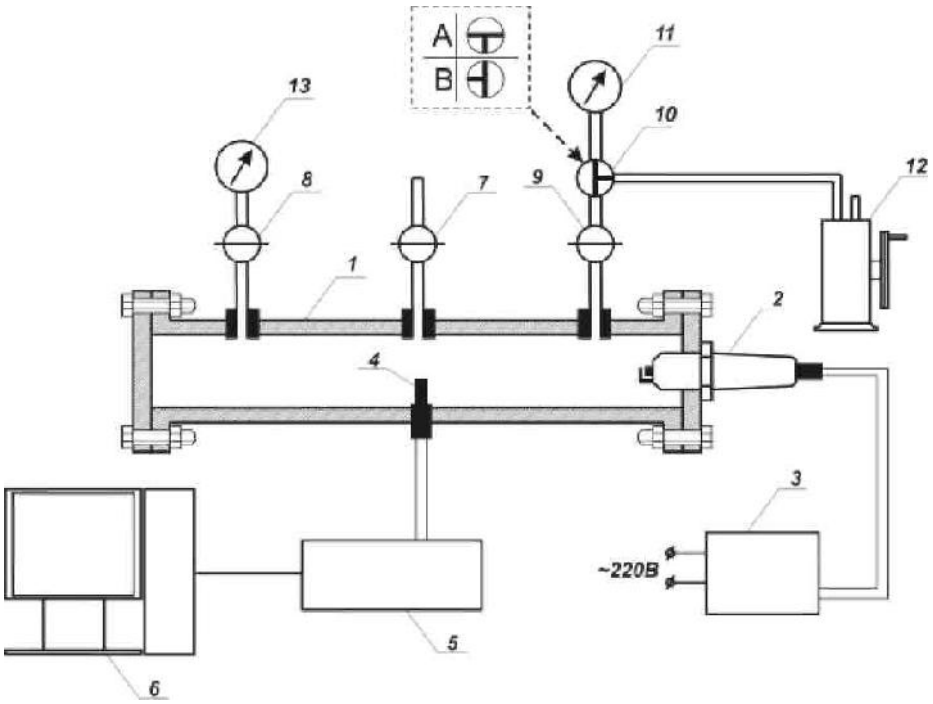

Рис. 2.1 Схема экспериментальной установки:
1 – взрывной сосуд; 2 – электроды зажигания; 3 – генератор; 4 – датчик давления; 5 – аналогово-цифровой преобразователь;
6 – компьютер; 7, 8, 9 – краны; 10 – трехходовой кран; 11 – вакуумметр; 12 – вакуумный насос; 13 – манометр. А – сосуд соединен с вакуумным насосом; В – сосуд соединен в вакуумметром.

Результат заносят в таблицу эксперементальных данных.

№ п/п	Концентрация горючего в бомбе, % об	Давление горючего газа в бомбе, Па	Максимальное давление по показаниям прибора(давление взрыва,Па)
1.			
2.			
3.			

Опыт проводится в следующем порядке.

3.1. В положении А трехходового крана 10 и закрытом кране 8 проводится четырехкратное вакуумирование сосуда 1 с периодическим открыванием и закрыванием крана 7, тем самым сосуд освобождается от продуктов взрыва.

3.2. При закрытых кранах 7 в сосуде создается разрежение и кран 10 переводится в положение В – соединяется с вакуумметром, показания которого отмечаются.

3.3. К крану 7 подключается сосуд с горючим газом и при его медленном открывании запускается требуемое количество газа:

$$P_Г = P_К - P_Н \qquad (2.9)$$

где Рн – начальное показание вакуумметра, Па;

Рк – конечное показание вакуумметра, Па.

3.4. Перекрывается кран 9, отсоединяется от крана 7 сосуд с газом и кран 7 открывается на атмосферу.

3.5. Закрывается кран 7, включается кнопка искрового разрядника 3, газовоздушная смесь воспламеняется. Изменение давления в сосуде фиксируется на мониторе компьютера 6. Давление взрыва смеси данной концентрации заносится в табл. 2.2.

3.6. Приступают к следующему опыту с другой концентрацией горючего в последовательности пп. 3.1-3.5.

По данным таблиц 2.2 и 2.3 строится график зависимости давления взрыва от концентрации горючего в газовоздушной смеси.

Контрольные вопросы

1. Что называется взрывом?
2. За счет каких факторов в замкнутом объеме возрастает давление?
3. Рассчитайте давление в сосуде при взрыве горючего газа А стехиометрической концентрации и охлаждении продуктов до начальной температуры.
4. как изменится давление взрыва при добавлении в горючую смесь инертного газа?
5. Как изменится давление взрыва при замене воздуха на кислород?
6. При какой концентрации горючего А давление взрыва будет максимально в воздухе, в кислороде?
7. Укажите интервал концентраций газа А в воздухе при воздействии источника зажигания, давление не будет изменяться.

Лабораторная работа № 3

Влияние флегматизаторов на концентрационные пределы распространения пламени (КПР)

Цель работы. Экспериментальным и расчетным методами изучить изменение КПР от содержания негорючих газов-флегматизатров в парогазовоздушной смеси.

Содержание работы.

1. Расчетными методами определить:

- значения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) и верхнего предела распространения пламени (ВКПР);
- минимальную флегматизирующую концентрацию (МФК) инертного газа;
- концентрацию горючего в точке флегматизации.

2. Экспериментально определить значения НКПР при различных содержаниях негорючего газа.
3. По расчетным и экспериментальным данным построить график зависимости КПР от содержания флегматизатора.
4. По полученным результатам исследования сделать выводы

Введение. Горючие газы и пары с окислителем имеют два предела по концентрации: нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени. Нижний (верхний) предел – минимальная (максимальная) концентрация горючего, способные воспламениться от источника зажигания и распространению горения. Концентрации горючего, расположенные между НКПР и ВКПР, образуют область пожароопасных концентраций. Условие пожаровзрывоопасности:

$$\ddot{}_{H} \le \ddot{}_{\Gamma} \le \ddot{}_{H} \qquad (3.1)$$

Где $\ddot{}_{\Gamma}$ -концентрация горючего, %;

$\ddot{}_{H,}\ \ddot{}_{B}$ -соответственно НКПР и ВКПР,%.

КПР являются важнейшими показателями пожарной опасности веществ и подлежат обязательному определению.

В соответствии с теоретическими представлениями при введении в парогазовоздушную смесь негорючих азов (CO_2, N_2 и др.) или химически активных ингибиторов ($C_2F_4Br_2$ и др.) концентрационная область распространения пламени сужается: верхний предел понижается, нижний – возрастает (рис. 3.1).

При введении некоторого количества флегматизатора пределы смыкаются, образуя точку флегматизации – предельную по горючести смесь. Такая концентрация инертного газа или химически активного ингибитора называется минимальной флегматизирующей концентрацией. Концентрация кислорода в точке флегматизации называется минимальным взрывоопасным содержанием кислорода (МВСК).

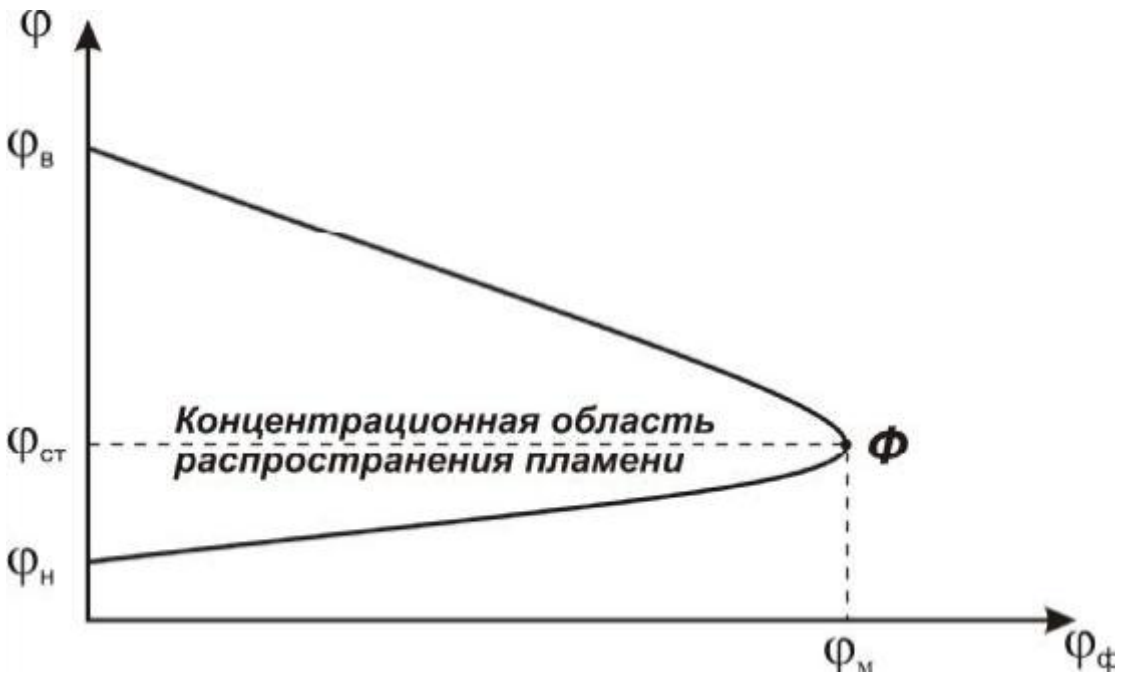

Рис. 3.1. Влияние флегматизаторов на концентрационные пределы:
- точка флегматизации;
$_{м}$ – минимальная флегматизирующая концентрация (МФК).

Порядок выполнения работы

1. Заполняется таблица исходных данных.

Таблица 3.1

№ п/п	Параметр	Значения параметра
1.	Горючее	
2.	Инертный газ – флегматизатор	
3.	Концентрации флегматизатора, % об.	
4.	Атмосферное давление, Па	
5.	Температура окружающей среды, °С	
6.	Давление насыщенных паров над поверхностью горючей жидкости при температуре окружающей среды, Па	

Горючее, флегматизатор, его концентрации и давления насыщенных паров горючей жидкости задаются преподавателем, атмосферное давление и температура в лаборатории определяются по соответствующим приборам.

2. Расчетная часть

2.1. КПР горючих паров или газов в воздухе можно рассчитать по аппроксимационной формуле

$$_{н(в)} = \frac{100}{a \cdot n + в} \qquad (3.2)$$

где а, в – эмпирические коэффициенты (табл. 3.2);

№ п/п	Концентрационные пределы	Значение коэффициентов	
		а	в
1.	НКПР	8,68	4,68

2.	ВКПР n ≤ 7,5 n > 7,5	1,55 0,77	0,56 6,55

n – стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении горения. Например, для метана n = 2, так как $CH_4 + 20_2 = CO_2 + H_2O$;

2.2. Минимальная флегматизирующая концентрация (МФК) негорючего газа рассчитывается из уравнения теплового баланса при следующих условиях:

- адиабатическая температура горения является предельной и составляет 1500 К;

- в точке флегматизации соотношение горючего и окислителя стехиометрическое при окислении углерода до CO, а водорода до H_2O. Например, для горения метана в воздухе при разбавлении диоксидом углерода (CO_2)

$$CH_4 + 1{,}5(O_2 + 3{,}76N_2) + n_\phi = CO + 2H_2O + 1{,}5 \cdot 3{,}76N_2 + n_\text{¤} + Q_H .$$

Левая часть уравнения представляет собой стехиометрическую смесь горючего и воздуха с негорючим газом. Правая часть – продукты горения при окислении углерода до CO.

Из закона Гесса следует:

$$Q_H = \Delta H_{CO} + 2\Delta H_{H_2O} = 112{,}7 + 242{,}2 - 75{,}0 = 552{,}1 \text{ кДж/моль.}$$

Где ΔH_{CO} и ΔH_{H_2O} - соответственно энтальпия образования окиси углерода (112,7 кДж/моль) и парообразной воды (242,2 кДж/моль) и метана (75,0 кДж/моль).

Тепловой баланс:

$$\text{Q}_\text{Н} \sum C_{pi} \cdot V_{ПГ} (T_Г^O - T_O) \qquad (3.3)$$

Где $\sum V_{\text{пгі}} = \sum V_{\text{пгі}}^{\text{o}} + V_\text{¤}$

Из уравнения (3.3) можно рассчитать количество негорючего газа для достижения точки флегматизации:

$$V_{\cdot\cdot} = \frac{Q_B - (T_r^o - T_o)\sum C_{pf} \cdot V_{\text{пгі}}^{\text{o}}}{(\text{T}_\text{г}^\text{o} - T_o) \cdot C_{рф}} \qquad (3.4)$$

Где T_r^o-предельная адиабатическая температура горения (1500 К);

T_o-начальная температура К;

C_{pi}-теплоемкость і-го продукта горения при постоянном объеме (табл.3.3) среднее значение в температурном интервале 273-1500 К,кДж/(моль);

$V_{ПГі}^o$-теоретичечкий объем і-го продукта горения,кмоль/моль;

V_ϕ- объем флегматизатора, соотвествующий минимальной флегматизирующей концентрации (МФК),кмоль/кмоль.

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Теплоемкость C_{pi}	
			кДж/(м ·К)	кДж/(моль·К)
1.	Диоксид углерода	CO_2	2,27	$5{,}08 \cdot 10^{-2}$
2.	Диоксид серы	SO_2	2,28	$5{,}11 \cdot 10^{-2}$
3.	Оксид углерода	CO	1,42	$3{,}18 \cdot 10^{-2}$

4.	Вода (пар)	Н О	1,78	$3,99 \times 10^{-2}$
5.	Азот	N_2	1,42	$3,18 \times 10^{-2}$
6.	Воздух	$0,21O_2+0,79\ N_2$	1,44	$3,23 \times 10^{-2}$

Для метановоздушной смеси, разбавленной диоксидом углерода:

$$V_{\text{¤}} = \frac{597,1-(1500-273)(3,18\cdot 1+3,99\cdot 2+3,18\cdot 1,5\cdot 3,76)\cdot 10^{-2}}{(1500-273)\cdot 5,08\cdot 10^{-2}} = 3,8$$ кмоль/кмоль.

Можно рассчитать состав предельной по горючести смеси в точке флегматизации,приняв:

$$(V_{\Gamma}+V_{O_2}+V_{N_2}+V_{\phi})$$

(3.5)

За 100% тогда

$$\text{..}_i \frac{V_i}{V_r+V_{o_2}+V_{N_2}+V_{\text{¤}}}$$

(3.6)

Для метановоздушной смеси,разбавленной диоксидом углерода,состав в точке флегматизации:

$$\text{..}_{CO_2(МФК)} = \frac{3,8}{1+1,5+1,5\cdot 3,76+2,65}\cdot 100 = 24,6\%$$

$$\text{..}_{CH_4} = \frac{1}{1+1,5+1,5\cdot 3,76+2,65}\cdot 100 = 9,3\%$$

$$\text{..}_{O_2(МВСК)} = \frac{1,5}{1+1,5+1,5\cdot 3,76+2,65}\cdot 100 = 13,9\%$$

$$\text{..}_{N_2} = \frac{1,5\cdot 3,76}{1+1,5+1,5\cdot 3,76+2,65}\cdot 100 = 47,2\%$$

Результаты расчета заносятся в таблицу.

Таблица 3.4

№ п/п	Расчетный параметр	Значение параметра
1.	НКПР, %	
2.	ВКПР, %	
3.	Минимальная флегматизирующая концентрация (МФК), %	
4.	Концентрация горючего в точке флегматизции, %	

3. Экспериментальная часть

Экспериментальное определение КПР производится путем нахождения предельных концентраций, еще способных к воспламенению и распространению горения.

Экспериментальная установка состоит из взрывной пипетки 1 с впаянными электродами 2, которые через высоковольтный генератор 3 и выпрямитель 4 соединены с электрической сетью. Нижний конец пипетки с помощью крана 5 соединяется с атмосферой, а верхний ее конец через кран 6 и трехходовой кран 7 с вакуумметром 8 и вакуумным насосом 9. Испытуемая жид-

кость заливается в сосуд 10, флегматизатор (двуокись углерода) хранится в резиновой камере

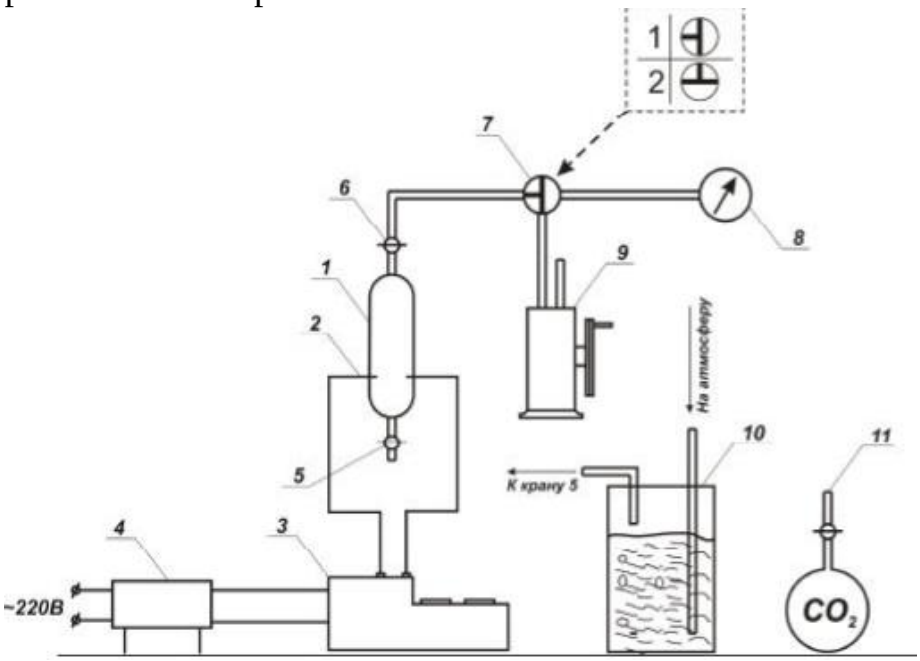

Рис. 3.2. Схема экспериментальной установки
1 – взрывная пипетка; 2 – электроды зажигания; 3 – генератор; 4 – выпрямитель; 5,6 – краны; 7 – трехходовой кран; 8 – вакуумметр; 9 – вакуумный насос; 10 – емкость с горючей жидкостью; 11 – емкость с инертным газом.

Концентрация газов во взрывной пипетке 1 определяется с помощью вакуумметра 8, шкала которого, разделенная на 100 делений, составляет одну техническую атмосферу или 735 мм рт. ст., или 98000 Па. Таким образом, одно деление шкалы вакуумметра составляет 980 Па.

Концентрация газов (флегматизатора-$\ddot{}_{\text{▫}}$), горючего ($\ddot{}_{Г}$) определяется их парциальным давлением

$$\ddot{}_{Г(ф)} = \frac{P_{Г(ф)}}{P_o} \cdot 100 = \frac{Z_{Г(ф)}}{P_o} \cdot 100 \qquad (3.7)$$

Где $P_{Г(ф)}$-парциальное давление соответсвенно горючего газа или флегматизатора,Па;

P_o-атмосферное давление,Па;

$Z_{Г(ф)}$-количество делений,на которое отклонилась стрелка вакуумметра при введение газообразных соответственно горючего или флегматизатора.

Часто горючим является жидкость, концентрационные пределы паров которой надо определить. В этом случае во взрывную пипетку поступают насыщенные пары горючего определенной концентрации ($\ddot{}_{н}$) с^{П}воздухом.

Концентрация паров горючего во взрывной пипетке

$$\ddot{}_{Г} = \frac{\ddot{}_{НП} \cdot P_Г}{P_o} \qquad (3.8)$$

Где $\ddot{}_{НП}$-концентрация насыщенного пара,Па;

$P_Г$ -парциальное давление паровоздушной смеси во взрывной пипетке,Па.

Так как $P_Г = Z_Г \cdot 980$,а $¤_{НП} = \frac{P_{НП}}{P_o} \cdot 100$,то, подставляя в уравнение (3.8),получим формулу для расчета концентрации паров горючей жидкости во взрывной пипетке:

$$¨_г = \frac{Z_r \cdot 980 \cdot P_{НП}}{P_o} \cdot 100 \qquad (3.9)$$

Опыты проводятся по следующей схеме.

1. Закрывают нижний кран 5 на взрывной пипетке, открывают кран 6, а краном 7 соединяют пипетку с вакуумным насосом (положение 1).

2. С помощью вакуумного насоса прокачивают взрывную пипетку 1, периодически (3-4 раза) соединяя ее краном 5 с атмосферой. Тем самым пипетка освобождается от продуктов горения или от несгоревшей смеси.

3. При предыдущем положении крана 7 и закрытом кране 5 в пипетке создается разрежение (7-8 оборотов вакуумного насоса) и с помощью крана 7 пипетка соединяется с вакуумметром 8 (положение 2). При этом показания вакуумметра не должны изменяться во времени. Если происходит падение разрежения, то необходимо определить место подсоса воздуха и обеспечить герметичность системы.

4. К нижнему концу взрывной пипетки подсоединяется с помощью резинового шланга сосуд с исследуемой жидкостью 10 и, медленно открывая кран 5, в пипетку впускается расчетное количество насыщенных паров жидкости. Отсчет количества введенных паров жидкости определяется по шкале вакуумметра. Затем кран 5 перекрывается, сосуд 10 отсоединяют от пипетки и подключают камеру с флегматизатором 11.Открывают кран на камере,затем,медленно открывая кран 5,вводят расчетное количество флегматизатора.

5. Перекрывают кран 5, кран на камере с флегматизатором, отсоединяют камеру от пипетки и с помощью крана 6 отключают взрывную пипетку от вакуумметра и вакуумного насоса.

6. Краном 5 соединяют взрывную пипетку 1 с атмосферой. С помощью кнопки включения генератора 3 производят искровой разряд на электродах 2. Положение крана 5 должно быть открытое.

7. Визуально фиксируется наличие или отсутствие воспламенения. При отсутствии воспламенения концентрацию горючего повышают на одно деление вакуумметра, а при его наличии, наоборот, понижают. Опыты повторяют до тех пор, пока при данном количестве флегматизатора две смеси, различающиеся только на одно деление вакуумметра, воспламеняются и не воспламеняются.

8. За НКПР принимают среднее значение между этими величинами. Результаты заносятся в табл. 3.5

Таблица 3.5

№ п/п	Содержание флегматизатора		Содержание горючего		Результат испытания	Значение НКПР, %, $\varphi_н$
	$\varphi_ф$, %	$Z_а$	Z	φ, %		

По данным табл. 3.4 и 3.5 строится график зависимости КПР от содержания флегматизатора, определяется область распространения пламени (рис. 3.1).

Контрольные вопросы

1. Что называется концентрационными пределами распространения пламени, областью распространения пламени?
2. Какие факторы влияют на концентрационные пределы? Поясните графически.
3. С позиций молекулярно-кинетической теории объясните влияние флегматизаторов на НКПР и ВКПР.
4. Какие существуют методы расчета КПР? Проиллюстрируйте примерами расчета.
5. По результатам работы установите, будет ли взрывоопасной концентрация паров жидкости в воздухе г, содержащем .флегматизатора?
6. Рассчитайте коэффициент избытка воздуха горючей смеси на НКПР и ВКПР.
7. Покажите графически зависимость температуры горения при изменении концентрации горючего от НКПР до ВКПР.
8. Рассчитайте концентрацию вещества А в точке флегматизации при разбавлении паровоздушной смеси флегматизатором В.
9. Определите, будет ли взрывоопасна паровоздушная смсь, если в герметичном объеме V испарилось Q кг вещества А? Пары равномерно распределены по объему.
10. Определите максимальное (минимальное) количество вещества А, при испарении которого в герметичном объеме V будет осаждаться взрывоопасная концентрация. Пары равномерно распределены по объему.
11. Будет ли взрывоопасна паровоздушная смесь у поверхности жидкости А, если температура ее Т, а атмосферное давление P_o?
12. Будет ли взрывоопасна смесь, образовавшаяся в результате смешения объема V_1, газа А и объема V_2 газа В с объемом воздуха V_o? Газы А и В горючие.
13. Рассчитайте минимальный объем инертного газа $V_ф$, необходимый для флегматизации паров вещества А в объеме V_o?
14. Какие свойства флегматизатора определяют его эффективность?
15. Будет ли взрывоопасна смесь вещества А с воздухом, если при разбавлении ее флегматизатором В содержание кислорода в смеси понизилось до $\ddot{}_{o2}\%$?

Лабораторная работа № 4
Зависимость температуры вспышки горючей жидкости от концентрации ее водных растворов

Цель работы. Исследовать влияние содержания воды в горючей жидкости на температуру вспышки.

Содержание работы.

1. Расчетным методом определить:

- температуру вспышки чистой (100 %) горючей жидкости.

2. Экспериментально определить температуру вспышки водных растворов этой жидкости.

3. По расчетным и экспериментальным результатам построить график зависимости температуры вспышки жидкости от ее концентрации.

4. По полученным результатам сделать выводы.

Введение. Над поверхностью жидкости всегда присутствуют ее пары, концентрация которых в воздухе зависит от температуры жидкости: с ростом температуры концентрация паров возрастает, достигая при температуре кипения 100 %. Минимальная температура жидкости, при которой в условиях специальных испытаний пары горючей жидкости воспламеняются от источника зажигания без дальнейшего перехода горения жидкости в диффузионный режим, называется температурой вспышки.

Таким образом, при температуре вспышки паровоздушная смесь над поверхностью горючей жидкости становится пожаровзрывоопасной. По этой причине температура вспышки является одним из основных показателей пожаровзрывоопасности жидкостей, подлежащий обязательному определению для любой горючей жидкости. Температуру вспышки определяют в приборах двух типов: закрытом (з.п.) и открытом (о.п.). Понятно, что температура вспышки, определенная в закрытом приборе, ниже, чем в открытом.

По температуре вспышки жидкости классифицируются на легковоспламеняющиеся (температура вспышки в з.п. $61°C$ и ниже, или $66°C$ и ниже в о.п.) и горючие.

Порядок выполнения работы.

1. Заполняется таблица исходных данных.

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1.	Жидкость	
2.	Концентрация воды в водном растворе горючей жидкости, % масс.	
3.	Коэффициент диффузии паров в воздухе (Д), $м^2/с$	

Используемая жидкость, концентрация ее растворов задаются преподавателем, коэффициент диффузии выбирается в таблице приложения.

2. Расчетная часть.

По формуле В.И. Блинова рассчитывается температура вспышки чистой (100%) жидкости

$$T_{ВС} = \frac{A}{\text{n} \cdot Д \cdot P_{Н.П}} \qquad (4.1)$$

Где $T_{ВС}$ -температура вспышки, К;

Д-коэффициент диффузии паров жидкости в воздухе, $м^2 / с$;

n-количество молей кислорода, необходимое для полного окисления одного моля горючего;

А - постоянная прибора,28,0($м^2 \cdot К \cdot Па$)/с.

3. Экспериментальная часть.

Экспериментальная установка (рис. 3.1) состоит из обогреваемого корпуса 1, в который помещается тигель 2 с испытуемой жидкостью. Сверху тигель закрывается крышкой 3 с термометром 4 и запальным фитилем 5. Крышка снабжена устройством для перемешивания жидкости в тигле и пружинным рычагом 6. С помощью лабораторного трансформатора 7 на клеммы корпуса подается напряжение от сети.

Экспериментальное определение Твс заключается в определении минимальной температуры жидкости, при которой происходит вспышка от запального фитиля.

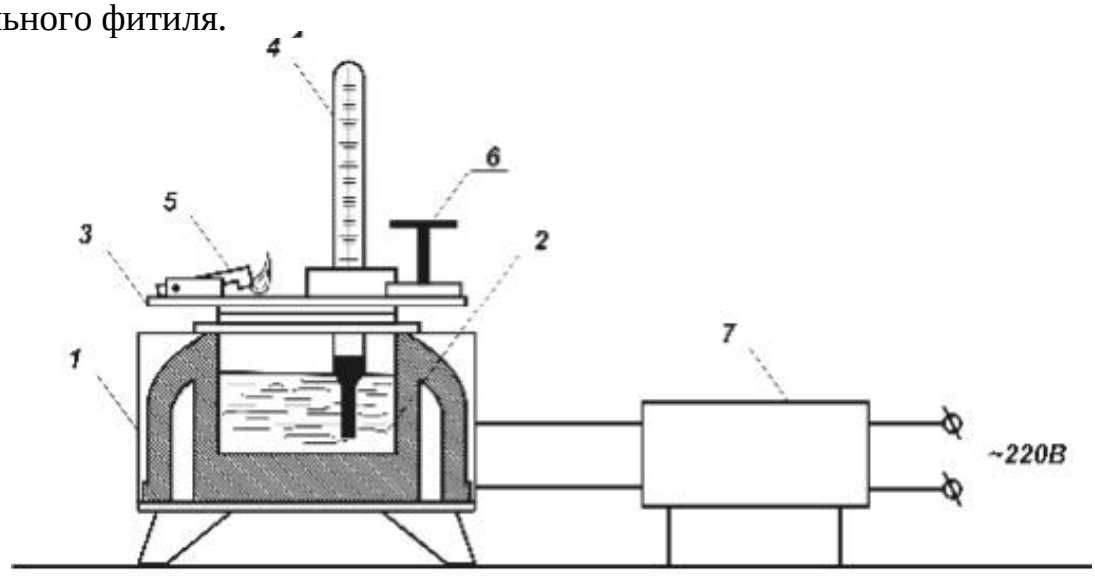

Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки:
1 – корпус; 2 – тигель; 3 – крышка; 4 – термометр; 5 – запальный фитиль; 6 – пружинный рычаг; 7 – трансформатор.

Экспериментальное определение температуры вспышки проводится по следующей схеме.

1. Испытуемая жидкость заливается в тигель 2 до уровня кольцевой риски, нанесенной на внутренней его стороне. Тигель устанавливается в корпусе и закрывается крышкой с термометром.

2. Прибор через автотрансформатор 7 подключается к электрической сети, напряжение подбирается из расчета получения скорости нагрева $5°C$ в минуту (75В).

3. Поджигается запальный фитиль 5 и через каждые 5 градусов повышения температуры проводится испытание на вспышку. Для этого поворотом пружинного рычага 4 открывают заслонку на крышке и опускают пламя внутрь тигля на 1-2 с. Наименьшая температура, при которой произошла вспышка паров, принимается за ориентировочное значение температуры вспышки.

4. Для определения точного значения температуры вспышки охлаждают испытуемую жидкость на $10°C$ ниже ориентировочной и устанавливают скорость нагрева $1°C$ в минуту. Испытание на вспышку проводят при повышении температуры на каждый градус.

За температуру вспышки исследуемой жидкости принимают показание термометра, при котором появляется пламя над поверхностью жидкости.

Результаты заносятся в табл. 4.2.

№ п/п	Концентрация воды в водном растворе горючей жидкости, % масс.	Температура вспышки, ^{o}C
1.	О %	(расчетное значение)
2.		
3.		

По данным таблицы строится график зависимости температуры вспышки от концентрации воды в горючей жидкости.

По результатам исследования делаются выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется температурой вспышки, температурой воспламенения? Их физический смысл.
2. В чем различие между температурой вспышки и нижним температурным пределом воспламенения?
3. Укажите ориентировочное значение температурных показателей для предложенной жидкости.
4. Какие факторы влияют на величину температуры вспышки? Поясните графически.
5. Как влияет на температуру вспышки скорость ее нагрева при испытании?
6. Влияет ли на нижний и верхний температурные пределы воспламенения скорость нагрева жидкости при их определении?
7. В открытом или закрытом сосуде будет выше температура вспышки? Поясните природу явления.
8. Рассчитайте температуру вспышки в открытом тигле вещества А, если известен коэффициент диффузии его паров в воздухе.
9. Расчетным методом (по значению коэффициента диффузии паров в воздухе) определите, будет ли жидкость А относиться к ЛВЖ или ГЖ?
10. С позиций молекулярно-кинетической теории объясните влияние содержания влаги в жидкости на ее температуру вспышки.
11. По известным значениям концентрационных пределов воспламенения паров вещества А определите значение температурных пределов при нормальном атмосферном давлении.

12.Расчетным методом покажите, будет ли пожароопасна открытая емкость с веществом А на воздухе при температуре Т, если кратковременно воздействовать источником зажигания малой мощности?

13.Изменится ли температура вспышки при изменении концентрации кислорода в окружающей среде? Объясните природу явления.

14.Рассчитайте температуру заданной жидкости, при которой над поверхностью создается наиболее пожароопасная концентрация насыщенных паров.

Лабораторная работа № 5
Зависимость температуры самовоспламенения от концентрации паров горючей жидкости в паровоздушной смеси

Цель работы. Экспериментально установить зависимость температуры самовоспламенения от концентрации горючего вещества.

Содержание работы.

1. Рассчитать температуру самовоспламенения исследуемого вещества по средней длине углеродной цепи.
2. Используя полученное значение температуры самовоспламенения, провести пересчет заданных значений концентрации горючего (% об.) в паровоздушной смеси в объемы вводимой жидкости.
3. .Экспериментально на лабораторной установке определить температуру самовоспламенения горючей смеси при трех заданных значениях концентрации паров горючей жидкости.
4. По экспериментальным данным построить зависимость температуры самовоспламенения от концентрации паров горючего, сравнить полученные данные с расчетным значением.

Введение. На практике достаточно часто встречаются случаи самопроизвольного возникновения горения горючих веществ, когда горение в горючей системе возникает без внешнего источника зажигания. Такое возникновение горения в газо и паровоздушных смесях называют самовоспламенением. Как правило, самовоспламенение в горючих газо и паровоздушных смесях происходит при повышенных температурах, т.е. при условиях, способствующих химической реакции между горючим и окислителем. Рассмотрим кратко причины, приводящие к возникновению горения в такой системе. Представим себе газо или паровоздушную смесь, находящуюся при повышенной температуре, при которой в ней с заметной скоростью происходит экзотермическая реакция. Тепло, выделяющееся в горючей системе в результате химической реакции, будет приводить к ее саморазогреву.

Чем выше температура горючей смеси, тем выше скорость химической реакции, соответственно выше скорость тепловыделения в системе. Скорость тепловыделения ($q+$) пропорциональна скорости химической реакции ($W_{x.p.}$)

$$q_{+} = Q \cdot W_{x.p} \qquad (5.1)$$

Где Q-тепловой эффект химической реакции.

С повышением температуры (Т) в реагирующей системе увеличивается и скорость оттока тепла (q_{-}) в окружающую среду, которая пропорциональна разнице температур

$$q_{-} = \sim \frac{S}{V}(T - T_o) \qquad (5.2)$$

Где ~ -коэффициент теплоотдачи;

S-площадь поверхности теплообмена;

V-объем горючей системы;

T_o-температура окружающей среды(начальная температура горючей системы)

Таким образом, повышение температуры реагирующей системы в результате ее саморазогрева приводит к увеличению скорости одновременно двух процессов: тепловыделения в системе и теплоотвода из нее. В зависимости от температуры среды, окружающей систему. Повышение температуры в системе может приводить либо к выравниванию q_+ и q_- и наступлению теплового равновесия, либо все большему расхождению между величинам q_+ и q_- прогрессирующему саморазогреву и следующему за этим тепловому взрыву. Тепловой взрыв в горючих газо- и паровоздушных смесях приводит к самовоспламенению. Минимальная температура горючей смеси, при которой прогрессирующий саморазогрев системы приводит к тепловому взрыву и появлению пламени, называется температурой самовоспламенения. На практике за температуру самовоспламенения принимают минимальную температуру стенок сосуда, при которой горючая смесь, помещенная в этот сосуд, воспламеняется. Температура самовоспламенения является одним из важнейших показателей пожарной опасности. Теория теплового взрыва, развитая академиком Н.Н. Семеновым достаточно подробно рассмотрена в учебном пособии «Теория горения и взрыва». Там же с позиций этой теории анализируется влияние различных факторов на температуру самовоспламенения.

Температуру самовоспламенения предельных углеводородов, одноатомных спиртов и ароматических соединений можно приближенно рассчитать по средней длине углеродной цепи молекулы (см. «Методические указания к решению задач по ТгиВ»).

Для экспериментального определения температуры самовоспламенения горючих жидкостей используют реакционный сосуд, представляющий собойконическую колбу из кварцевого стекла, помещенную в нагревательную печь. В нагретый сосуд с помощью микропипетки вводят определенное количество испытуемой жидкости. Жидкость в сосуде испаряется и, смешиваясь с воздухом, образует горючую паровоздушную смесь. В зависимости от температуры стенок сосуда горючая смесь либо самовоспламеняется, либо нет. Изменяя температуру стенок сосуда, находят минимальную температуру, при которой паровоздушная смесь воспламеняется, и это значение принимают за температуру самовоспламенения. Поскольку температура самовоспламенения зависит от концентрации горючего вещества в паровоздушной смеси, опыты повторяют с другим количеством испытуемой жидкости до тех пор, пока не будет установлено минимальное значение температуры самовоспламенения для данного вещества. За температуру самовоспламенения вещества принимают ее минимальное значение, полученное по результатам экспериментального исследования зависимости температуры самовоспламенения от объема вводимой жидкости (или концентрации горючего вещества). Вид такой зависимости показан на рис. 5.1. Как правило, минимальное значение температуры самовоспламенения имеют стехиометрические смеси, или смеси, близкие к стехиометрическим.

Поэтому если известна химическая формула исследуемого вещества, то по уравнению горения предварительно рассчитывают стехиометрическую концентрацию вещества и определяют, какое количество жидкости необходимо ввести, чтобы в сосуде установилась концентрация, близкая к стехиометрической.

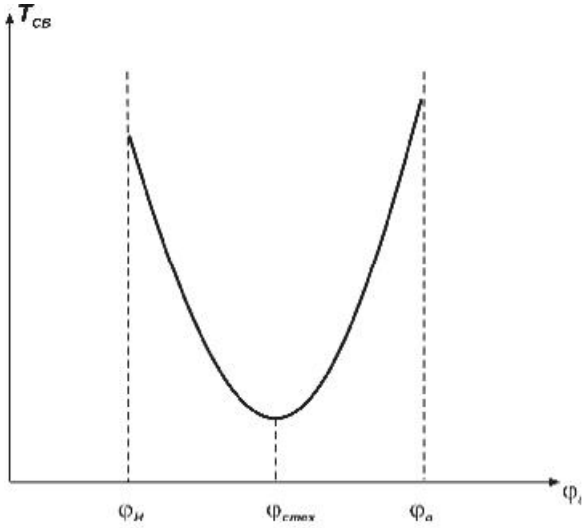

Рис. 5.1. Зависимость температуры самовоспламенения от концентрации горючего вещества в паровоздушной смеси.

Формулу, связывающую концентрацию горючего ($\varphi_г$) в паровоздушной смеси в сосуде объемом V_C, нагретом до температуры Т с объемом вводимой жидкости $V_{ж}$, можно получить из следующих простых соображений:

$$V_{ж} = \frac{m_{ж}}{\rho_{ж}},$$

$$m_{ж} = M \frac{V_{пар}}{V_T},$$

$$V_{пар} = V_c \frac{\varphi_г}{100},$$

$$V_T = V_o \frac{P_o \cdot T_c}{P_{АТМ} \cdot T_o}$$

Где $V_{ж}$ и $\rho_{ж}$ – объем и плотность вводимой горючей жидкости; М – масса одного моля горючего вещества (жидкости);

$V_{пар}$ – объем паров горючей жидкости в сосуде;

V_T – объем одного моля газа (пара) при условиях опыта (Тс, Ратм);

V_o = 22,4 л/моль – объем одного моля газа (пара) при нормальных условиях (T_o = 273 К, P_o = 101,3 кПа).

Из этого следует, что

$$V_{ж} = \frac{\ddot{}_{Г} \cdot V_{о} \cdot T_{о} \cdot P_{атм} \cdot M}{100 \cdot V_{о} \cdot T_{о} \cdot P_{о} \cdot °_{ж}} \qquad (5.4)$$

Формула (5.4) позволяет рассчитывать объем горючей жидкости, который необходимо ввести в сосуд для того, чтобы в нем образовалась паровоздушная смесь с концентрацией горючего $\ddot{}_{Г}$. И, наоборот, по известному объему вводимой горючей жидкости определять концентрацию горючего в паровоздушной смеси, образующейся в реакционном сосуде.

Описание лабораторной установки.

На рис. 5.2 приведен вид лабораторной установки для определения температуры самовоспламенения. Определение температуры самовоспламенения проводится методом «капли». Реакционный сосуд 1 представляющий собой колбу из кварцевого стекла нагревается с помощью электроспирали 2, концы которой выведены к клеммам на внешний защитный корпус сосуда 3.

Внутри сосуда впаяна термопара 4 (в кварцевой трубке). Концы термопары выведены наружу. Спираль подсоединяется к автотрансформатору 5, что дает возможность регулировать напряжение, подаваемое на нее, а, следовательно, и температуру нагрева стеклянного сосуда. Провода термопары подсоединяют к пирометрическому вольтметру 6, по показаниям которого определяют температуру в сосуде. Пробу исследуемой жидкости вносят в нагретую печь микропипеткой 7

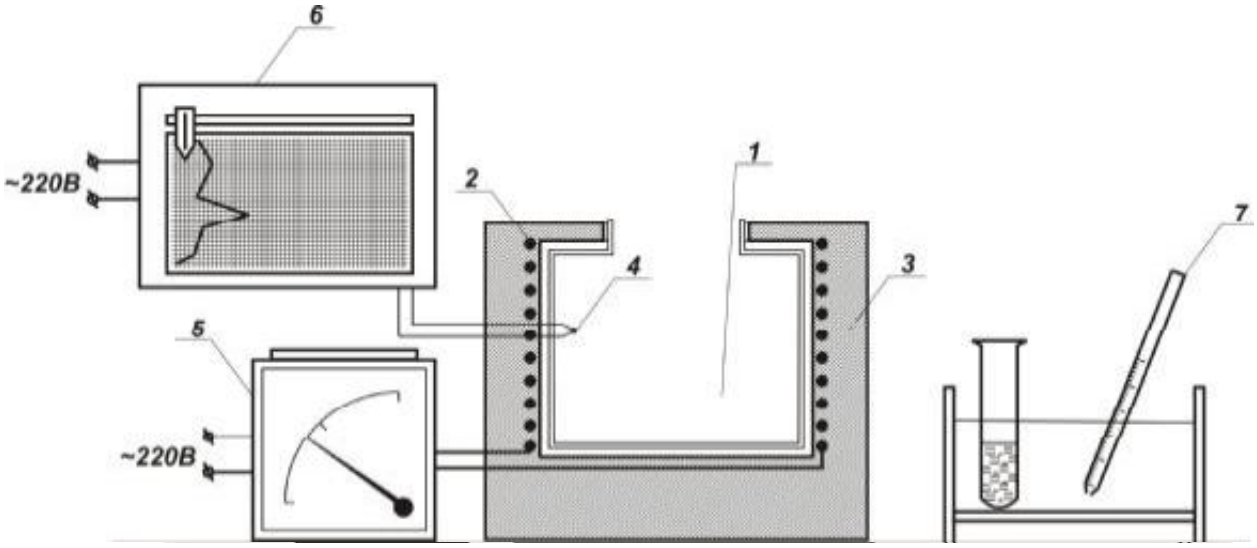

Рис. 5.2. Установка для определения температуры самовоспламенения:
1 – стеклянный реакционный сосуд; 2 – электроспираль; 3 – защитный корпус сосуда; 4 – термопара; 5 – автотрансформатор; 6 – пирометрический милливольтметр; 7 – микропипетка.

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Получают у преподавателя задание, в котором указаны объем реакционного сосуда, на котором проводятся опыты и исследуемое вещество, а

также его концентрации, для которых необходимо экспериментально определить температуру самовоспламенения.

2. Из справочных таблиц учебного пособия записывают известные физико-химические и пожароопасные свойства горючей жидкости.

3. Проводят ориентировочный расчет Тсв исследуемого вещества, руководствуясь «Методическими указаниями к решению задач по ТГиВ».

4. Ориентируясь на расчетную температуру самовоспламенения, задают необходимое напряжение на автотрансформаторе и нагревают стеклянный сосуд до температур, указанных в табл. 5.1.

5. По уравнению реакции горения вещества рассчитывают стехиометрическую концентрацию горючего в паровоздушной смеси.

Таблица 5.1

Номер печи	Объем реакционного сосуда, л	Температура нагрева, °С
1	1,5	300
2	1,5	300
3	1,0	350
4	0,97	350
5	0,76	450
6	0,75	450

6. По формуле (5.4) для всех заданных значений концентрации горючегорассчитывают объемы вводимой жидкости. В расчетах рекомендуется использовать следующие единицы измерения:для массы – грамм (г), для объема – литр (л), для температуры – Кельвин (К).

7. Исходные расчетные и справочные данные записывают в таблицы 5.2 и 5.3.

8. Знакомятся с устройством микропипетки. Определяют число делений, соответствующее заданным объемам.

9. Определяют порядок проведения опытов для трех заданных концентраций. Так как минимальная Тсв достигается при стехиометрической концентрации, то целесообразно начинать опыты с той концентрации горючей жидкости, у которой Тсв будет большей (см. рис. 5.1).

10.После достижения заданной температуры печи пипеткой набирают необходимое количество жидкости и вводят его в отверстие сосуда, и наблюдают за появлением пламени, которое может сопровождаться хлопком (взрывом). Если пламя не появилось, температуру печи необходимо повысить.

11.После появления пламени при данной концентрации горючей жидкости опыт температуру на повторяют несколько раз, снижая в 10С до тех пор, пока при какой-то каждом случае температуре не прекратится появление пламени. Результаты заносят в табл. 5.3. За Тсв принимают минимальную (в каждом опыте) температуру сосуда, при которой последний раз появляется пламя

Таблица 5.2

Исходные данные и расчетные объемы вводимой жидкости

Исследуемое вещество, химическая формула	Объем сосуда, л	Исходные данные: М, ρ, $T_{св}$, $P_{атм}$ $\varphi_{стех}$	Заданные концентрации	Объем вводимой жидкости
			φ_1 = φ_2 = φ_3 =	V_1 = V_2 = V_3 =

Таблица 5.3

Номер опытов	Объем вводимой жидкости,	Температура стенок сосуда	Самовоспламенение		$T_{св}$	Уточненная концентрация ГЖ при
			Да	Нет		
1,1 1,2 1,3 1,4	V_1 =	T_1 = T_2 = T_3 = T_4 =				φ'_1 =
2,1 2,2 2,3 2,4 2,5	V_2 =	T_1 = T_2 = T_3 = T_4 =				φ'_2 =
3,1 3,2	V_3 =	T_1 = T_2 =				

12. В связи с тем, что концентрация горючего в паровоздушной смеси, образующейся в сосуде, зависит от температуры сосуда (см. формулу (5.4) концентрацию горючего уточняют для условий, при которых была измерена температура самовоспламенения. Для этого уравнение (5.4) преобразуют относительно $\varphi_Г$.

$$\varphi_Г = \frac{V_ж \cdot 100 \cdot V_0 \cdot T_c \cdot P_o \cdot \rho_ж}{V_c \cdot T_o \cdot P_{атм} \cdot M}$$

Исходя из объема вводимой жидкости, определяют значение концентрации горючего в паровоздушной смеси при температуре самовоспламенения.

13. По результатам проведенного исследования строят графическую зависимость $T_{св}$ от концентрации горючего в паровоздушной смеси. На этом же графике откладывают значение расчетной $T_{св}$ при $\varphi_Г = \varphi_{стех}$. Записывают вывод о зависимости $T_{св}$ от концентрации го-

рючего и о соответствии расчетных и экспериментальных значений $T_{св}$ для исследованного вещества.

Контрольные вопросы

1. Что называют температурой самовоспламенения?
2. Каковы необходимые и достаточные условия, чтобы горючая смесь могла самовоспламениться?
3. Является ли температура самовоспламенения константой, если нет, назовите параметры, от которых она зависит.
4. Проанализируйте влияние объема сосуда на $T_{св}$.
5. Проанализируйте влияние удельной поверхности сосудв на температуру самовоспламенения смеси.
6. Как изменяются условия теплоотвода при изменении (увеличении, уменьшении) удельной поверхности сосуда, в котором находится горючая смесь?
7. Каким образом влияет на $T_{св}$ введение в горючую смесь углекислого газа, азота и т.д.?
8. Как изменится температура самовоспламенения, если изменить концентрацию горючего в паровоздушной смеси от $\ddot{}_{н}$ до $\ddot{}_{стех}$?
9. Покажите с помощью формул, при каких условиях Тсв горючей смеси с одним и тем же содержанием горючего будет больше: если сосуд имеет форму цилиндра, или он имеет форму шара, при условии, что объем сосуда остается неизменным?
10. Приведите пример, основываясь на данных таблиц учебного пособия, показывающий, как изменяется температура самовоспламенения в пределах гомологического ряда? Объясните наблюдающуюся закономерность.
11. Дайте определение периода индукции.
12. Объясните, как изменяется период индукции при увеличении начальной температуры горючей смеси?
13. Нарисуйте в координатах q-T график, иллюстрирующий условия самовоспламенения горючей смеси.
14. Запишите в математической форме критические условия самовоспламенения.
15. Чем отличается явление самовоспламенения от явления самовозгорания?
16. Рассчитайте температуру самовоспламенения пропана и попанола-1 и сравните их значения. Объясните причину различия в температурах самовоспламенения.

Лабораторная работа № 6
Определение скорости распространения пламени по поверхности горючих жидкостей

Цель работы. Изучить зависимость скорости распространения пламени от концентрации водных растворов горючих жидкостей.

Содержание работы.

1. По эмпирическому уравнению рассчитать скорость распространения пламени по чистой (100 %) горючей жидкости.
2. Экспериментально определить скорость распространения пламени по поверхности растворов жидкости различной концентрации.
3. По расчетным и экспериментальным результатам построить график зависимости скорости распространения пламени от концентрации раствора жидкости.
4. По полученным результатам исследования сделать выводы.

Введение. Скорость распространения пламени – путь, пройденный фронтом пламени по поверхности горючего материала в единицу времени. Скорость распространения является важнейшим параметром, определяющим динамику пожара и, в частности, нарастание площади пожара во времени. Скорость распространения пламени является многофакторным параметром, зависящим от вида горючего материала, его состояния (влажности раздробленности), температуры, скорости и направления воздушных потоков и других условий, при которых протекает горение. Для конденсированных материалов (жидкость, твердое вещество) механизм распространения пламени существенно различен в зависимости от начальной температуры (T_o).При T_o меньшей, чем температура вспышки, скорость распространения определяется мощностью теплового потока от зоны пламени на поверхность материала. При T_o большей температуры вспышки скорость пропорциональна нормальной скорости распространения пламени по горючей паровоздушной смеси.

Порядок выполнения работы.

1. Заполняется таблица исходных данных.

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1.	Жидкость	
2.	Концентрация водного раствора жидкости, % масс.	
3.	Начальная температура раствора, ^oC	

2. Расчетная часть. По эмпирической формуле рассчитывается скорость распространения пламени по 100 % жидкости

$$V = 0.324\exp(0,0683T_o - 0,723T_H)м/с \qquad (6.1)$$

Где T_o - начальная температура жидкости, К;

T_H - нижний температурный предел распространения пламени или температура вспышки в закрытом приборе, К.

Нижний температурный предел или температура вспышки выбирается по справочным данным или рассчитывается, например, по формуле В.И. Блинова (см. работу № 5).

3. Экспериментальная часть.

Экспериментальная установка состоит из металлического желоба 1, электро секундомера 2, заслонки 3, термометра 4, запального устройства 5.

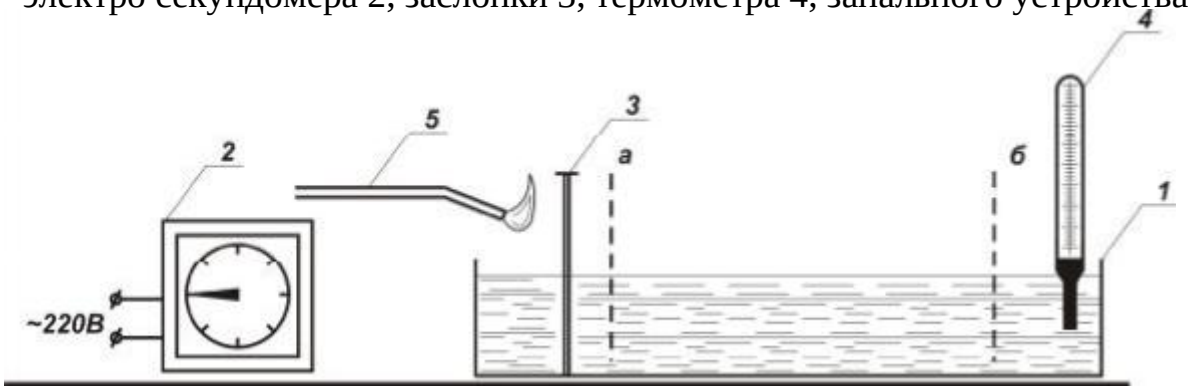

Рис. 6.1. Схема экспериментальной установки:
1 – желоб с горючей жидкостью; 2 – электросекундомер; 3 – заслонка; 4 – термометр; 5 – запальное устройство; $а \div б$ – контрольный участок.

На желобе выделен контрольный участок определенной длины, на границах которого крепятся быстро сгораемые нити (а, б). Желоб имеет рубашку охлаждения для термостатирования испытуемой жидкости. В желоб 1 заливается исследуемая жидкость, температура которой определяется термометром 4, при необходимости производится ее термостатирование до заданной температуры. Устанавливается экран 3, на контрольном участке натягиваются нити (а, б), включается в сеть электросекундомер 2, включается поджигающее устройство 5.

После воспламенения жидкости убирается экран 3 и фронт пламени, распространяясь по поверхности жидкости, достигает начала контрольного участка. При перегорании нити (а) включается электросекундомер, а при перегорании нити (б) электросекундомер выключается.

По длине контрольного участка (l) и показаниям секундомера (^{2})определяется скорость распространения пламени:

$$V = \frac{l}{2} \qquad (6.2)$$

Для каждого исследуемого образца проводится не менее трех определений скорости и находится их среднее значение.

Результаты заносятся в таблицу.

№ п/п	Концентрация водного раствора, % масс.	Начальная температура, ^oC	Время распространения пламени по контрольному участку, с	Скорость распространения пламени, м/с	Средняя скорость, м/с
1.	О (расчет)				

2.					
3.					

По данным таблицы строится зависимость скорости распространения пламени от концентрации горючей жидкости.

По результатам исследования делаются выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие условия необходимы, чтобы произошло воспламенение жидкости?

2. Что определяет скорость распространения пламени при развитии пожара?

3. Изложите суть механизма распространения пламени по поверхности горючей жидкости.

4. В каком режиме горения пламя распространяется по горючей жидкости?

5. Дайте определение температурных пределов воспламенения, температуры воспламенения и вспышки.

6. Объясните, в какой последовательности необходимо расположить температуры кипения, вспышки, воспламенения, температурные пределы воспламенения, температуру горения, чтобы их значения для одной и той же жидкости возрастали. Ответ иллюстрируйте примером.

7. Как зависит скорость распространения пламени по горючей жидкости от ее температуры в пределах от $T_{нач}$ до $T_{кип}$ для открытого резервуара? Приведите графическую зависимость.

8. Как зависит скорость распространения пламени от температуры жидкости в закрытом объеме? Дайте график.

9. Перечислите параметры, от которых зависит скорость распространения пламени по ГЖ.

10. Назовите принцип классификации горючих жидкостей на ЛВЖ и ГЖ.

11. Как изменяется скорость распространения пламени для жидкостей в пределах гомологического ряда?

12. Как и почему изменяется цвет пламени при добавлении к горючей жидкости воды?

13.Как и почему меняется скорость распространения пламени при добавлении к ней воды?

14. Чему должна соответствовать температура поверхности жидкости перед фронтом пламени, чтобы оно могло переместиться на соседний участок?

15. Является ли скорость распространения пламени по ГЖ константой?

16. Чем можно объяснить, что разные ГЖ имеют разные скорости распространения пламени?

17. Существует ли связь между температурными и концентрационными пределами воспламенения, в чем ее суть?

18. Сравнимы ли по численным значениям скорость распространения пламени по газам и горючим жидкостям? Ответ подтвердите примерами.

19. В чем состоит различие массовой, линейной скоростями выгорания и скоростью распространения пламени по ГЖ?

20. Какие наблюдения и результаты данной лабораторной работы можно использовать на практике?

Лабораторная работа № 7

Определение характеристик пожарной нагрузки

Цель работы. Определить параметры пожарной нагрузки для помещения в котором находятся легко воспламеняющиеся вещества.

Содержание работы.

1. Расчетным путем определить параметры пожарной нагрузки для помещения площадью 10 м^2, в котором находится штабель древесины.

2. Определить площади поверхности горения $F_{пг}$**,** площади пожара $F_п$ и вычислить коэффициент поверхности.

3. Найти массовую скорость выгорания.

4. Определить интенсивность тепловыделения.

Введение.

Собственно *пожарной нагрузкой* $P_{пн}$ называется масса горючих веществ и материалов, приходящаяся на единицу площади их размещения: $P_{пн} = m/F_{пола}$, кг/м^2.

Степень доступности поверхности горючего для окислителя характеризуется *коэффициентом поверхности*. Он равен отношению площади поверхности горения $F_{пг}$ к площади пожара $F_п$: $K_п = F_{пг}/F_п$.

Массовая скорость выгорания $v_м$ представляет собой массу вещества или материала Δm, сгорающего в единицу времени: $v_м = \Delta m/\Delta\tau$.

Величина $v_м/F_п$ называется *приведенной массовой скоростью выгорания* $v'_м$.

Отношение $v_м/F_{пг}$ представляет собой *удельную массовую скорость выгорания* и обозначается $v_м$.

Интенсивность тепловыделения (*теплота пожара*) $q_п$, кВт, показывает, какое количество тепла выделяется при горении пожарной нагрузки в единицу времени и определяется выражением:

$$q_п = \beta v_м Q_н,$$

где β - коэффициент полноты сгорания; $v_м$ - массовая скорость выгорания, кг/с; $Q_н$ - низшая теплота сгорания, кДж/кг.

Порядок выполнения работы.

Исходные данные.В помещении площадью 10 м^2 находится штабель древесины. Штабель выложен из 36 брусков, размером 1х0,1х0,1 м в 9 рядов. При данных условиях за 20 мин выгорает 20 % его массы. Плотность древесины принять равной 500 кг/м^3, коэффициент полноты сгорания - 0,9. Эле-

ментный состав древесины: С = 40 %, Н = 4 %, N = 16 %, О = 10 %, влага –15 %, остальное - зола. Строительные конструкции выполнены из несгораемых материалов.

Расчетная часть.

1. Пожарная нагрузка в данном случае состоит только из штабеля, так как строительные конструкции являются негорючими. Находим суммарную массу штабеля и рассчитываем $P_{пн}$.

2. Для расчета $K_п$ необходимо сначала вычислить $F_{пг}$, учитывая, что поверхность брусков в местах их пересечений друг с другом гореть не будет.

Введем обозначения: N -число брусков в штабеле; a, b и L - ширина, толщина и длина бруска соответственно; n - число рядов. В нашем случае

$a = b$. Поэтому общая площадь поверхности всех брусков равна $N(4aL + +2a^2)$**,** площадь одного пересечения - a^2.

Количество брусков в каждом ряду равно N/n, а число пересечений - $(N/n)^2$. Нижняя сторона первого и верхняя сторона последнего рядов пересечений с другими брусками не имеют. В то же время бруски, расположенные между ними пересекаются дважды: сверху и снизу. Поэтому общее число пересечений составит: $2(N/n)^2(n\text{-}1)$. Таким образом, для штабеля, выложенного из брусков квадратного сечения,

$$F_{пг} = N(4aL+2a^2) - 2a^2(n\text{-}1)(N/n)^2.$$

Площадь пожара, по определению, равна площади проекции зоны горения на горизонтальную (в данном случае) плоскость, т.е. $F_п=L^2$. Подставим соответствующие значения в формулу и получим $K_{п.}$

3. Находим массовую скорость выгорания. Определяем, сколько древесины в штабеле выгорит за 20мин. Находим приведенную массовую скорость выгорания $v'_м$ и далее удельную массовую скорость выгорания $v_м$.

4. Определяем интенсивность тепловыделения. Для этого сначала рассчитаем $Q_н$. Так как древесина является веществом сложного состава, расчет ведем по формуле:

$Q_н$ = 339,4С + 1257Н - 108,9(О - S) - 25,1(9Н - W) = 339,4·40 + 1257·4 - - 108,9 (10 - 0) - 25,1(9·4 - 15) = 16987,9 кДж/кг

Подставив полученное значение в формулу для определения $q_п$ и выразив $v_м$ в кг/с, получим $q_п$.

По результатам расчетов делаются выводы.

Контрольные вопросы

1. В каком режиме могут гореть твердые горючие материалы (ТГМ)? Приведите примеры.

2. Рассмотрите механизм воспламенения и горения древесины.

3. Как влияет на параметры горения ориентация образца, размеры?

4. Какими параметрами характеризуют горение твердых горючих материалов?

5. Являются ли массовая скорость выгорания, скорость распространения по поверхности, линейная скорость горения постоянными величинами для одного и того же материала?

6. Каковы особенности механизма теплопередачи и параметры пожарной опасности пылевидных горючих систем?

7. В чем особенности горения полимерных материалов?

8. Как происходит горение металлов? Какие продукты образуются?

9. Какие пожары относят к открытым?

10. Назовите параметры, характеризующие открытые пожары. Какие факторы влияют на динамику открытых пожаров?

11. Какие особенности имеют лесные пожары?

12. Назовите опасные факторы пожара. Какими численными значениями они характеризуются?

Лабораторная работа №8

Расчет площади, построение плана и графика развития пожара

Цель работы. Рассчитать площадь пожара на заданном времени с момента его возникновения и построить график развития пожара.

Содержание работы.

Расчет площади пожара на заданный момент времени целесообразно проводить в следующей последовательности.

1. Найти $L_{\tau.}$

2. По плану помещения установить, где будет находиться фронт пламени.

3. Учитывая, что при достижении ограждающих конструкций фронт пламени спрямляется, определить форму полученной геометрической фигуры.

4. Найти площадь пожара.

5. Построить график развития пожара.

Введение.

При расчете площади пожара принимается ряд допущений.

Первое: пожарная нагрузка в помещении распределена равномерно по всей площади пола. Это означает, что распространение фронта пламени происходит непрерывно.

Второе: фронт пламени распространяется обязательно во все стороны и с одинаковой скоростью. Следовательно, площадь пожара может иметь только форму круга, полукруга, четверти круга, сектора, прямоугольника или квадрата.

Третье: в первые 10 минут свободного развития пожара линейная скорость распространения фронта пламени $v_л$ равна половине значения, указанного в таблице для соответствующего помещения. Т.е. при $\tau \leq 10$ мин $v_л = 0{,}5v_л^{табл}$; при $\tau > 10$ мин $v_л = v_л^{табл}$.

Четвертое: когда фронт пламени достигает ограждающей конструкции, его форма сразу становится прямоугольной.

Площадь пожара $F_п$ рассчитывается по следующим основным формулам (рис. 8.1).

Учитывая, что в начальной стадии развития пожара (длительность которой принимается равной 10 мин) $v_л = 0{,}5v_л^{табл}$ (м/мин), путь, пройденный фронтом пламени к моменту τ, будет равен:

$L_\tau = 0{,}5v_л^{табл}$ при $\tau \le 10$ мин;

$L_\tau = L_{10} + L_{\tau\text{-}10}$ при $\tau > 10$ мин.

Здесь L_{10} - путь, который проходит фронт пламени за первые 10 мин; $L_{10} = 0{,}5v_л^{табл} \cdot 10 = 5v_л^{табл}$, м; $L_{\tau\text{-}10}$ - путь, который проходит фронт пламени за оставшееся после 10 мин время (τ-10): $L_{\tau\text{-}10} = v_л^{табл}(\tau\text{-}10)$, м.

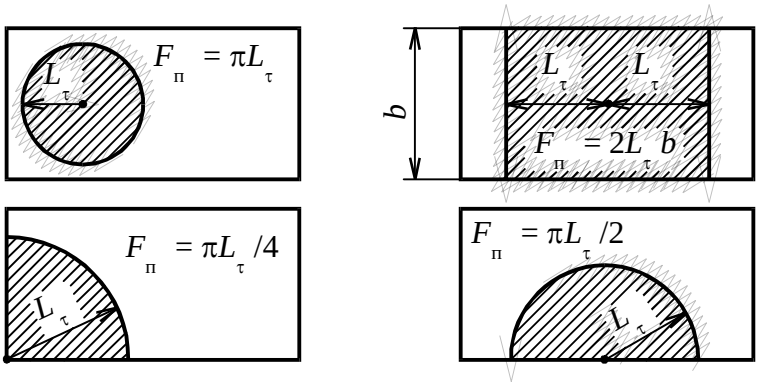

Рисунок 8.1. Формулы для расчета площади пожара.

Тогда при $\tau > 10$ мин $L = 5v_л^{табл} + v_л^{табл}(\tau\text{-}10)$.

Задание. Рассчитать площадь пожара на 5-й, 15-й и 20-й минутах с момента его возникновения (рис. 8.2.), если скорость распространения равна 1,2 м/мин, а предел огнестойкости двери - 0,2 м.

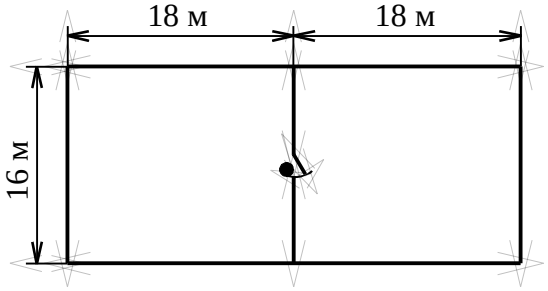

Рисунок 8.2. Задание на расчет площади пожара.

Расчетная часть.

1. Поскольку пожар возник возле двери, отсчет предела ее огнестойкости начнется сразу. Рассчитываем время проникновения пламени в правое помещение с момента возникновения пожара, и делаем вывод о том, до какой минуты и в каком направлении пожар будет распространяться.

2. Определяем расстояние прохождения фронта пламени за 5 минут L_5. Определяем конфигурацию фронта пламени на 5-й минуте.

3 Определяем расстояние прохождения фронта пламени за 15 минут $L_{15.}$ Определяем конфигурацию фронта пламени на 15-й минуте.

Определяем время и расстояние прохождения фронта пламени в смежном помещении. Определяем конфигурацию фронта пламени на 15-й минуте в смежном помещении. Находим общую площадь пожара на 15-й минуте $F_{\text{п}}^{15}$.

4. Определяем расстояние прохождения фронта пламени к 20-й минуте L_{20}. Определяем конфигурацию фронта пламени на 20-й минуте во всех помещениях. Находим общую площадь пожара $F_{\text{п}}^{20}$. Строим план развития пожара за 20 минут.

5. По полученным значениям $F_{\text{п}}^{5}$; $F_{\text{п}}^{15}$; $F_{\text{п}}^{20}$ строим зависимость $F_{\text{п}} = f(\tau)$, которая называется графиком развития пожара.

По результатам расчетов делаются выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение динамики внутреннего пожара и укажите основные его стадии.
2. Как изменяются основные параметры внутреннего пожара во время его свободного развития?
3. Что такое объемная вспышка? Каковы причины этого явления и возможные последствия?
4. Назовите основные составляющие теплового баланса внутреннего пожара.
5. В чем заключается опасность различных составляющих теплового баланса?
6. Что называется температурой внутреннего пожара?
7. Что является движущей силой газообмена при пожаре?
8. Что такое плоскость равных давлений? От чего зависит ее положение относительно пола помещения?
9. Дайте определение интенсивности газообмена и укажите, от каких факторов она зависит.
10. Что такое "коэффициент избытка воздуха" на внутреннем пожаре? Как он изменяется во время свободного развития пожара?
11. Как влияют размеры помещения и проемов на динамику пожара?
12. Что означает "пожар, регулируемый нагрузкой" и "пожар, регулируемый вентиляцией"?
13. Укажите и объясните возможные изменения параметров пожара при увеличении интенсивности газообмена.

Список литературы

1.Физика взрыва. Т.1,2 / Под ред. Орленко Л.П. - 3-е изд., испр. М.: Физматлит, 2005 - 1488 с.

2. Средства поражения и боеприпасы. Учебник / Под общей редакцией В.В. Селиванова;.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984с.

3. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ/ Пер. с англ. Г.Л. Агафонова. Под ред. П.А. Власова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 - 352с.

4. Семенов Н.Н.. Избранные труды: В 4 т./Н.Н.Семенов; Отв. Ред. А.Е.Шилов; Ин-т хим.физики им. Н.Н. Семенова. - М.: Наука, 2004 Т. 1. Кн. 1: Цепные реакции. - 2004. - 392 с.

5. Теплотехника: Учеб. для вузов / Под ред. Луканина В.Н. М.: Энергоатомиздат, 2003, 2006. - 230 с.

6. Зельдович Я.Б., Математическая теория горения и взрыва. - М.: Наука, 2000. - 478 с.

7. Вильямс Ф.А., Теория горения. - М.: Наука, 2001. - 615 с.

8. Хитрин Л.Н., Физика горения и взрыва. - М.:ИНФРА-М, 2007. - 428 с.

9. Корольченко А.Я., Корольченко В.А. «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения». Справочник часть 1-2 – М.: Химия 2004 г.

10. ГОСТ 12.1.044-89. «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов». Номенклатура показателей и методы их определения.

11. Теория горения и взрыва: учебное пособие / П.П.Кукин [и др.]. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 435с. – Серия : Бакалавр.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ГАЗОВ

Темпера-	Теплосодержание, кДж/моль						Темпера-
тура, °С	O_2	N	Воздух	CO_2	Н О	SO_2	тура, °С
0	0	0	0	0	0	0	0
100	2,2	2,1	2,1	2,9	2,5	3,3	100
200	4,1	4,1	4,1	6,3	5,1	6,8	200
300	6,6	6,3	6,4	10,0	7,	10,7	300
400	9,1	8,5	8,6	14,6	10,7	14,9	400
500	11,5	10,7	10,9	18,1	13,6	19,1	500
600	14,1	13,1	13,3	22,5	16,7	23,5	600
700	16,7	15,5	15,7	27,0	20	28,1	700
800	19,4	18	18,1	31,6	23,3	32,7	800
900	22,1	20,5	20,7	36,3	27,7	37,3	900
1000	24,8	23	23,3	41,1	30,3	42	1000
1100	27,7	25,7	26,0	46,0	34,1	46,8	1100
1200	30,4	28,2	28,6	50,9	37,8	51,5	1200
1300	33,2	30,9	31,3	56	41,8	56,4	1300
1400	35,1	33,7	34,0	61,1	45,8	61,2	1400
1500	39,0	36,3	36,7	66,1	49,8	65,9	1500
1600	41,9	39,1	39,5	71,3	54,0	70,8	1600
1700	44,9	41,8	42,3	76,4	58,3	75,7	1700
1800	47,8	44,5	45,0	81,6	62,6	80,6	1800
1900	50,8	47,3	47,8	86,8	67,0	85,4	1900
2000	53,8	50,2	50,7	92,0	71,5	90,5	2000
2100	56,7	52,9	53,5	97,2	75,9	95,2	2100
2200	59,8	55,8	56,4	102,5	80,5	100,2	2200
2300	62,9	58,7	59,3	107,8	85,1	105,1	2300
2400	65,9	61,6	62,2	113,0	89,7	110,0	2400
2500	69,1	64,3	65,1	118,3	94,3	115	2500
2600	72,4	67,4	67,7	123,7	97,8	120,0	2600
2700	75,5	70,2	70,7	128,9	102,4	124,9	2700
2800	78,5	73,1	73,5	134,2	107,0	130,0	2800
2900	81,0	76,4	76,9	139,7	111,7	134,7	2900
3000	85,2	78,9	79,3	145,0	116,3	139,8	3000

Таблица 2

ТЕПЛОТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СГОРАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещество	Теплота образования, кДж/моль	Низшая теплота сгорания, КДж/моль
1	2	3
Ацетилен (газ)	-224,6	1262,9
Ацетон (ж)	248,1	1655,9
Бензол (ж)	-34,8	3149,2
н-Бутан (газ)	132,4	2660,3
н-Бутан (ж)	153,8	2641,0
Вода (ж)	286,6	-
Вода)газ)	242,2	-
н-Гексан (ж)	211,2	3839,8
н-Гептан (ж)	239,7	4459,1
Глицерин (ж)	675,4	1481,2
Двуокись Серы углерода	 297,5 396,6	 --
Изобутан (ж)	159,2	2835,6
Кислота муравьиная (ж) уксусная (ж)	 419,0 485,6	 218,7 853,9
Метан	75,0	802,8
Окись углерода	112,7	283,2
н-Пентан (ж)	184,4	3248,6
Пропан (газ)	109,4	2045,6
Пропан (ж)	125,3	2031,4
Сероводород	201,1	294,1
Сероуглерод (ж)	-88,0	979,6
Спирт н-бутиловый метиловый (ж) пропиловый (ж) этиловый (ж)	 341,5 239,0 307,1 278,2	 2455,1 637,8 1842,0 1241,1
Толуол (ж)	4,19	3744,2
Фенол (тв)	171,4	2933,9
Этан (газ)	88,4	1428,8
Этилен	-48,6	1302,3
Эфир диметиловый (ж) диэтилловый (ж) уксуснобутиловый (ж) уксуснометиловый (ж) уксуснопропиловый (ж) уксусноэтиловый (ж)	 207,8 283,2 542,2 411,9 513,7 480,2	 1310,7 2508,6 3285,0 1502,6 2877,1 2078,6

Таблица 3

**ТЕМПЕРАТУРА САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ (К)
ПРЕДЕЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ УГЛЕРОДНОЙ ЦЕПИ**

l	T_c	*l*	T_c	*l*	T_c	*l*	T_c
3,0	743	5,0	560	7,0	496	9,0	482
3,2	733	5,2	535	7,2	494	9,2	481
3,4	723	5,4	522	7,4	493	9,6	480
3,6	712	5,6	513	7,6	491	10,0	479
3,8	699	5,8	509	7,8	489	11,0	478
4,0	686	6,0	507	8,0	488	11,8	477
4,2	673	6,2	504	8,2	486	12,0	477
4,4	654	6,4	502	8,4	485	13,0	477
4,6	631	6,6	500	8,6	484	14,0	476
4,8	601	6,8	498	8,8	483	15,0	475