**Государственное бюджетное профессиональное**

**образовательное учреждение**

**Калужской области**

**«Тарусский Многопрофильный техникум»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ОП.06. ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА**

**основной профессиональной образовательной программы**

**по специальности (ей)**

**20.02.04. Пожарная безопасность.**

**г. Таруса**

**2018**

Составитель: Савельев И.И., преподаватель специальных дисциплин.

Учебно-методический комплекс по дисциплине ОП.06. «Теория горения и взрыва»составлен в соответствии с требованиями к минимуму результатов освоения дисциплины ОП.06, изложенными в Федеральном государственном стандарте среднего профессионального образования по специальности 20.02.04. Пожарная безопасность, утвержденном приказом Министерства образования и науки РФ от «17» мая 2010г. № 516.

Учебно-методический комплекс по дисциплине (далее УМКД) «Теория горения и взрыва» входит в ОП.06.и является частью основной профессиональной образовательной программы ГБПОУ КО «ТМТ» по специальности 20.02.04. Пожарная безопасность разработанной в соответствии с примерной программой и/или ФГОС СПО третьего поколения.

Учебно-методический комплекс по ОП.06. входит и является частью основной профессиональной образовательной программы ГБПОУ КО «ТМТ» по специальности 20.02.04. Пожарная безопасность разработанной в соответствии с примерной программой и/или ФГОС СПО третьего поколения.*.*

Учебно-методический комплекс по дисциплине ОП.06. «Теория горения и взрыва»адресован студентам очной формы обучения.

УМКД включает теоретический блок, перечень практических занятий и/или лабораторных работ, задания по самостоятельному изучению тем дисциплины, вопросы для самоконтроля, перечень точек рубежного контроля, а также вопросы и задания по промежуточной аттестации (при наличии).

**Уважаемый студент!**

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Теория горения и взрыва»создан Вам в помощь для работы на занятиях, при выполнении домашнего задания и подготовки к текущему и итоговому контролю по дисциплине.

Учебно-методический комплекс по ОП.06.создан Вам в помощь для работы на занятиях, при выполнении домашнего задания и подготовки к текущему и итоговому контролю по дисциплине.

УМК по дисциплинеОП.06. включает теоретический блок, перечень практических занятий и/или лабораторных работ, задания для самостоятельного изучения тем дисциплины, вопросы для самоконтроля, перечень точек рубежного контроля, а также вопросы и задания по промежуточной аттестации (при наличии экзамена).

Приступая к изучению новой учебной дисциплины ОП.06., Вы должны внимательно изучить список рекомендованной основной и вспомогательной литературы. Из всего массива рекомендованной литературы следует опираться на литературу, указанную как основную.

По каждой теме в УМК перечислены основные понятия и термины, вопросы, необходимые для изучения (план изучения темы), а также краткая информация по каждому вопросу из подлежащих изучению. Наличие тезисной информации по теме позволит Вам вспомнить ключевые моменты, рассмотренные преподавателем на занятии.

Основные понятия, используемые при изучении содержания дисциплины ОП.06., приведены в глоссарии.

После изучения теоретического блока приведен перечень практических работ, выполнение которых обязательно. Наличие положительной оценки по практическим и/или лабораторным работам необходимо для получения зачета по дисциплине ОП.06. и/или допуска к экзамену, поэтому в случае отсутствия на уроке по уважительной или неуважительной причине Вам потребуется найти время и выполнить пропущенную работу.

В процессе изучения дисциплины ОП.06. предусмотрена самостоятельная внеаудиторная работа.

Содержание рубежного контроля (точек рубежного контроля) разработано на основе вопросов самоконтроля, приведенных по каждой теме.

По итогам изучения дисциплины ОП.06. проводится зачет, экзамен

По итогам изучения ОП.06.промежуточный вид контроля в виде зачета, дифференцированного зачета, экзамена не предусмотрен*.*

В зачетную книжку выставляется дифференцированная/бинарная (зачет/незачет) оценка. Зачет выставляется на основании оценок за практические и/или лабораторные работы и точки рубежного контроля.

 Экзамен сдается по билетам либо в тестовом варианте, вопросы к которому приведены в конце УМКД.

**В результате освоения дисциплины Вы должны уметь:**

осуществлять расчеты параметров воспламенения и горения веществ, условий взрыва горючих газов, паров горючих жидкостей, тепловой энергии при горении, избыточного давления при взрыве;

**В результате освоения дисциплины Вы должны знать:**

физико-химические основы горения; основные теории горения, условия возникновения и развития процессов горения; типы взрывов, классификацию взрывов, основные параметры энергии и мощности взрыва, принципы формирования формы ударной волны; горение как основной процесс на пожаре, виды и режимы горения; механизм химического взаимодействия при горении; физико-химические и физические процессы и явления, сопровождающие горение; показатели пожарной опасности веществ и материалов и методы их определения; материальный и тепловой балансы процессов горения; возникновение горения по механизмам самовоспламенения и самовозгорания, вынужденного воспламенения; распространение горения по газам, жидкостям и твердым материалам; предельные явления при горении и тепловую теорию прекращения горения; огнетушащие средства, свойства и область их применения при тушении пожаров; механизм огнетушащего действия инертных газов, химически активных ингибиторов, пен, воды, порошков, комбинированных составов; теоретическое обоснование параметров прекращения горения газов, жидкостей и твердых материалов

В результате освоения дисциплины у Вас должны формироваться общие компетенции (ОК):

|  |  |
| --- | --- |
| Название ОК | Результат, который Вы должны получить послеизучения содержания дисциплины/МДК |
| ОК.2 |  Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы решения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество  |
| ОК.4 |  Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.  |
| ОК.8 | Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации  |
| ОК.9 | Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности. |

В таблице приведены профессиональные компетенции, к освоению которых готовит содержание дисциплины

|  |  |
| --- | --- |
| Название ПК | Результат, который Вы должны получить послеизучения содержания дисциплины/МДК |
| ПК 2.1. |  Осуществлять проверки противопожарного состояния промышленных, сельскохозяйственных объектов, зданий и сооружений различного назначения. |
| ПК 2.2. | Разрабатывать мероприятия, обеспечивающие пожарную безопасность зданий, сооружений, технологических установок и производств.  |
| ПК 2.4. | Проводить противопожарную пропаганду и обучать граждан, персонал объектов правилам пожарной безопасности.  |

**Внимание!** Если в ходе изучения дисциплины у Вас возникают трудности, то Вы всегда можете к преподавателю прийти на дополнительные занятия, которые проводятся согласно графику. Время проведения дополнительных занятий Вы сможете узнать у преподавателя, а также познакомившись с графиком их проведения, размещенном на двери кабинета преподавателя.

 В случае, если Вы пропустили занятия, Вы также всегда можете прийти на консультацию к преподавателю в часы дополнительных занятий.

 **ЛЕКЦИЯ №!** Развитие теории горения.

 **1. Цель и задачи дисциплины**

а) Целью изучения является получение знаний физико-химических основ горения и взрыва.

б) Задачами являются формирование знаний и освоение практических способов действий, необходимых для:

- обеспечения организации эффективной и оперативной ликвидации последствий пожаров и взрывов и их предупреждению;

- обоснованного подхода к выбору пожарно-спасательных средств и организации пожаротушения.

**Историческое развитие науки о горении**

а) в 1783 году Лавуазье и Лаплас обнаружили, что продукт горения водорода — чистая вода. Эти открытия заложили основу современных научных взглядов на природу горения.

в) в 1890 году Михельсон опубликовал работу о распространении пламени в трубах и предложил теорию горелки Бунзена.

г) современная теория горения ведёт начало от работ Н. Н. Семёнова по тепловому взрыву, выполненных в 1920-е годы. Основанный Н. Н. Семёновым в 1931 году Институт химической физики стал ведущим научным центром по химической физике и горению.

д) в 1938 году Д. А. Франк-Каменецкий развил теорию теплового взрыва, и, вместе с Я. Б. Зельдовичем, — теорию распространения ламинарного пламени в предварительно перемешанных смесях.

е) в том же 1938 году в опытах А. Ф. Беляева было показано, что горение летучих взрывчатых веществ происходит в газовой фазе.

ж) в 1940-е годы Я. Б. Зельдович развивает теорию детонации.

Вопросами горения занимались древнегреческие мыслители. С исследования в области горения связаны имена таких ученых как Бойль, Ломоносов, Лавуазье, Томсон, Фарадей. В результате исследований выдающихся советских ученых Семенова, Зельдовича, Ф-К сформулированы важные идеи современной теории горения. Однако многие из основных закономерностей, управляющих процессом горения, до сих пор изучены недостаточно. Отставание в изучении горения объясняется его сложностью. При горении приходится иметь дело с химическими реакциями, протекающими одновременно с процессами аэродинамики и диффузии, с тепло- и массообменом. Поэтому исследования в области горения ведутся в настоящее время во многих институтах, лабораториях и на промышленных предприятиях. Особое значение приобрели в последние десятилетия исследования горения газовоздушных смесей. Горючие газы стали одним из основных и наиболее экономичных видов топлива во многих отраслях народного хозяйства. Поэтому для наиболее рационального их использования необходимо правильно применять законы, управляющие горением.

**ЛЕКЦИЯ №2** Физико-химические и физические процессы горения.

. Огонь – это явление природы, которому во многом люди обязаны развитию своей цивилизации, начиная с раннего периода истории человечества. Археологи установили, что люди стали пользоваться огнем 600000 лет назад, а научились получать огонь около 30000 лет назад. С огнем связаны многие ранние мифы и легенды. Нельзя не вспомнить миф о Прометее, похитившем огонь у богов и отдавшем его людям. Огонь был первым источником энергии первобытного человека. По мере эволюции человек эмпирически познавал процессы горения, находил и применял новые виды горючего, открывал термические процессы, протекающие под воздействием теплоты горения, необходимые ему для удовлетворения своих нужд – приготовления пищи, выплавке металлов, изготовлению керамики, стекла и многое другое. Без применения процессов горения человечество так и осталось бы в каменном веке, после которого никогда бы не наступил ни бронзовый, ни железный век. Поэтому огонь привлекал внимание ученых, начиная с глубокой древности. К концу XVII века стала отчетливо проявляться потребность свести многообразные изменения веществ, которые происходят в процессе горения, к одному общему принципу. Это обусловило то, что в XVII веке немецким ученым Георгом Шталем была создана теория флогистона, установившая глубинную связь между процессами горения и окисления. Флогистон  – некоторый абстрактный принци горючести, который становится «горючей субстанцией» только тогда, когда находится в сложном теле в сочетании с другими веществами. Шталь предполагал, что при нагревании сложных тел флогистон улетучивается и, соединяясь с воздухом воспламеняется. Однако этому противоречили факты об увеличении массы металлов при их нагревании на воздухе, поэтому последователи флогистона объясняли это тем, что флогистон имеет отрицательный вес, поэтому при прокаливании металлов в воздухе, когда удаляется флогистон, остаток обжигаемого металла становится более тяжелым. Несмотря на все отмечаемые противоречия, теория флогистона просуществовала более 100 лет. А.Лавуазье отмечал, что она получила столь широкое распространение потому, что на ее основе были сделаны два важных открытия. Одно из них состоит в установлении факта, что металлы – тела горючие и превращение их в окалины представляет явление горения, второе -  в том, что свойство гореть или быть воспламеняемым может передаваться от одного тела к другому. В середине XVIII века в эпоху господства теории флогистона М.В.Ломоносов был первым ученым, подвергшим основательной и аргументированной критике теорию флогистона. Он впервые показал, что горение – это реакция химического взаимодействия с воздухом. В дальнейшем практически одновременно с Дж.Пристли и К.В.Шееле А.Лавуазье получил кислород, установил его химическую природу и способность соединяться с фосфором и серой при горении и металлами при окислении, правильно объяснил процессы горения и окисления и создал основы кислородной теории. А.Лавуазье впервые установил, что воздух имеет сложный состав и состоит из «живительного» воздуха (кислорода) и инертной его части (азота), которая не поддерживает горение и не пригодна для дыхания. Дальнейшие исследования процессов горения проводили многие ученые. Выдающийся вклад в развитие теории горения и взрыва внесли представители русской школы горения. Русский ученый В.А.Михельсон в 1890 г. открыл закон распространения пламени, носящий его имя и заложил основы тепловой теории взрывного горения. Теория автоокисления, разработанная русским академиком А.Н.Бахом, позволила объяснить самопроизвольно протекающие процессы окисления, являющиеся причиной самовозгорания различных веществ. Работы академика Н.Н.Семенова по изучению механизма разветвленных цепных реакций и теплового самовоспламения (взрыва) являются выдающимся вкладом в мировую науку, за что он в 1956 году был удостоен Нобелевской премии. Академик Я.Б.Зельдович и профессор Д.А.Франк-Каменецкий создали теорию распространения пламени. Исследования наших ученых получили всемирное признание. Но используя горение как источник энергии в своих целях, человек иногда становился и его жертвой поэтому изучение  процессов горения, приобретение умений их регулирования и прекращения стало жизненно важной потребностью. Ежегодно в России случается около 300000 пожаров. В огне гибнут около 20 тысяч человек и примерно столько же получают травмы. В мире на каждые 100 пожаров гибнет 1 человек, в России эта печальная статистика еще выше. Пожар – это горение, способное самостоятельно распространяться вне специально предназначенного для этого места, приводящее к травмированию или гибели людей, уничтожению или повреждению имущества, ухудшению экологической обстановки. Как следует из этого определения в основе всех явлений, протекающих на пожарах, лежит процесс горения, иногда сопровождающийся возникновением взрыва. Уяснить сущность процессов, происходящих на пожаре можно только на основе изучения теории горения и взрыва. Все сопутствующие явления – деформация и обрушение строительных конструкций, вскипание и выбросы и т.п. - являются следствием процесса горения.

**ЛЕКЦИЯ №3** Перекисная теория самовоспламенения.

***Перекисная теория окисления***  в дальнейшем была развита Н. Н. Семеновым который подвел под нее кинетические основы на базе разработанной им теории цепных реакций.

***Перекисная теория окисления***  в дальнейшем была развита Н. Н. Семеновым, который подвел под нее кинетические основы на базе разработанной им теории цепных реакций.

***Перекисная теория окисления***  была сформулирована в 1896 - 1897 гг. акад.

***Бахом перекисная теория окисления*** , получившая дальнейшее развитие в теории цепных реакций Н. Н. Семенова, хорошо объясняет окисление органических соединений кислородом воздуха.

***Согласно перекисной теории окисления***, первичными продуктами нагаро-мас-ляных отложений являются перекиси, образующиеся при окислении масла в цилиндре компрессора и в воздухопроводе. Образование перекиси сопровождается выделением значительног

количества тепла, при этом выделяется активный кислород, что способствует дальнейшему развитию окисления. При длительном протекании окислительных реакций, а также с повышением температуры и давления температура отложений превышает температуру окружающей среды, выделяется достаточное количество тепла, которое и обусловливает самовозгорание отложений без внешнего зажигания их.

***Согласно перекисной теории окисления*** , в реакции с горючим веществом участвуют лишь те молекулы кислорода, запас энергии которых достигает энергии активации или превышает ее. Под энергией активации понимают тот минимум энергии, которым должны обладать взаимодействующие частицы, чтобы между ними произошла реакция.

 ***Согласно перекисной теории окисления***, предложенной в 1897 г. русским ученым Бахом, первичный процесс окисления заключается в прямом присоединении молекулы кислорода к молекуле окисляемого углеводорода с образованием перекисей. Такой полураспад происходит при взаимодействии молекулярного кислорода с легко окисляющимся веществом. В результате образуется перекись, служащая окислителем для трудно окисляющегося вещества

. Однако***перекисная теория окисления*** не в состоянии объяснить некоторые характерные особенности процесса окисления, например существование индукционного периода, предшествующего видимой реакции, резкое действие следов примесей на скорость процесса и др. Это было объяснено учением о цепных реакциях, созданным Н. Н. Семеновым и его школой

Таким образом, ***перекисная теория окисления*** поясняет химическую сторону механизма возникновения процесса окисления горючих веществ и получение первичных продуктов, которые при этом возникают. Она хорошо согласуется с экспериментальными наблюдениями и позволяет предусмотреть меры борьбы с рядом вредных явлений, протекающих при хранении и использовании горючих веществ

Последними двумя исследователями была создана***перекисная теория окисления*** , сыгравшая большую роль в химии.

Способность ТЭС предотвращать детонацию объясняют с позиций***перекисной теории окисления***. При высоких температурах в камере сгорания ТЭС разлагается на очень активные свинцовые и этильные радикалы, способные ступать в реакции с перекисями, разрушая их. При этом образуются малоактивные продукты окисления углеводородов и окись свинца. Окись свинца, взаимодействуя с кислородом воздуха, снова окисляется в двуокись свинца, способную реагировать с новой перекисной молекулой

Энглер одновременно, независимо друг от друга предложили***перекисную теорию окисления***, которая применима к окислению горючих веществ. Согласно этой теории в горючих смесях, в которых реакции окисления не возникают при низкой температуре, окисление происходит при их нагревании. Чем большей энергией обладает молекула, тем менее прочны в ней связи между атомами. При определенном запасе энергии эти связи разрываются и молекула распадается на отдельные атомы или радикалы, из которых создаются новые молекулы. На этом свойстве внутримолекулярных связей основано получение целого ряда веществ. Известняк при нагревании также распадается, образуя окись кальция ( негашеную известь) и углекислый газ.

**ЛЕКЦИЯ №4**  Тепловая теория самовоспламенения.

Температура, до которой необходимо нагреть горючее вещество, чтобы оно воспламенилось, называется температурой самовоспламенения *Т\**. Химическая реакция может закончиться самовоспламенением при следующих условиях.

           K45;5=85 B5?;>BK 2 @57C;LB0B5 @50:F88, B> 5ABL экзотермичность реакции.

           >7<>6=>ABL ?@>B5:0=8O @50:F88 ?@8 B5<?5@0BC@0E 1>;55 =87:8E, G5< B5<?5@0BC@0 A0<>2>A?;0<5=5=8O.

          !?>A>1=>ABL @50:F88 : @57:><C CA:>@5=8N ?@8 ?>2KH5=88 B5<?5@0BC@K (?> 70:>=C @@5=8CA0).

Процесс самовоспламенения веществ происходит следующим образом. При нагревании горючей смеси (например, смеси паров бензина с воздухом) можно достигнуть такой температуры, при которой в смеси начинает протекать медленная реакция – окисление. Эта реакция сопровождается выделением теплоты, и смесь начинает нагреваться выше той температуры, до которой ее нагрели.

Одновременно с тепловыделением и нагревом смеси происходит теплоотдача от смеси в окружающую среду за счет теплопроводности, конвекции и излучения. Если скорость реакции окисления мала, то теплоотдача превышает выделение теплоты. При этом, после некоторого повышения температуры, скорость реакции начинает снижаться и самовоспламенения не происходит.

Если смесь нагреть извне до более высокой температуры, то вместе с увеличением скорости реакции увеличивается и количество теплоты, выделяемой в единицу времени. При достижении определенной температуры *Т\**, которая зависит от внешних условий, скорость тепловыделения начинает превышать скорость теплоотдачи, в результате чего реакция интенсивно ускоряется. В этот момент происходит самовоспламенение вещества. Таким образом, температура самовоспламенения реагирующего вещества – это такое значение температуры, при котором скорость тепловыделения *Q+*(Дж/с)становится равной скорости теплоотвода*Q-* (Дж/с):

*Q+(Т) = Q- (Т).*

Зависимости *Q+(Т)*и *Q- (Т)*, построенные на одном графике, называются диаграммой Семенова (рис. 2.1). Точка пересечения кривых теплоприхода и теплоотвода определяет величину температуры самовоспламенения *Т\** (рис. 2.1)*.*

Количественная теория теплового самовоспламенения была развита академиком Н.Н. Семеновым в 1928г. на основе механизма цепных реакций. Согласно этому механизму, увеличение температуры смеси ведет к увеличению длины цепи и числа образующихся вследствие теплового движения активных молекул. При некотором значении температуры *Т\** длина цепи становится такой, что число разветвлений в ней становится больше числа обрывов. Реакция при этом приобретает ускорение и происходит самовоспламенение смеси. Из этого следует, что условие  цепного самовоспламенения является равенство числа разветвлений числу обрывов

. Температура самовоспламенения одного и того же вещества зависит от внешних условий и может изменяться в широких пределах. Величина *Т\** характеризует степень пожароопасности вещества – чем ниже температура самовоспламенения *Т\**, тем больше пожароопасность.

Для определения температуры самовоспламененияиспользуются два метода – нагрев горючей смеси в сосуде заданного объема и воспламенение смеси нагретым шариком или нитью. В последнем случае измеренная величина *Т\** будет зависеть как от размера шарика, так и от его материала. Чем меньше диаметр шарика, тем выше должна быть его температура, обеспечивающая самовоспламенение газовой смеси. Большое влияние на величину *Т\** оказывает каталитическое действие материала шарика или нити.

**ЛЕКЦИЯ №5** Вынужденное воспламенение.

***Вынужденное воспламенение***  происходит в результате зажигания смеси в одной точке ее объема тепловым импульсом, чаще всего открытым пламенем, и распространяется без его воздействия на весь объем смеси с определенной скоростью. Обычно под воспламенением или горением вещества подразумевается воспламенение или горение его паров, газов в смеси с воздухом.

***Вынужденное воспламенение***  ( зажигание) обусловлено внесением в реагирующую смесь источника теплоты, температура которого выше ее температуры воспламенения. Газовоздушная смесь, не воспламеняющаяся при низкой температуре, может воспламениться при повышенной температуре, когда создаются благоприятные условия для возникновения активных центров в результате потери устойчивости сложных исходных молекул веществ.

***Вынужденное воспламенение***  является характерным процессом, с учетом которого должно разрабатываться и использоваться взрывозащищенное электрооборудование. Для работников, конструирующих или эксплуатирующих взрывозащищенное электрооборудование, наибольший интерес представляет поджигание смеси следующими пятью видами источников вынужденного воспламенения.

***Вынужденное воспламенение***  от постороннего высоиотемператур - ного источника называется зажиганием смеси

***Вынужденное воспламенение горючих систем***  возникает вследствие разогрева части их объема тепловым источником. Возникнув в части объема, пламя быстро нагревает соседние участки горючей системы и охватывает весь объем. Идущие при этом процессы ( тепловые, цепные) аналогичны процессам, идущим при самовоспламенении.

Зажиганием называется***вынужденное воспламенение исходных горючих материалов*** , ведущее к возникновению самораспространяющегося пламени.

Условиями осуществления***вынужденного воспламенения***  являются, как было показано выше, наличие эффективного источника зажигания и способность образовавшегося фронта пламени самопроизвольно перемещаться ( распространяться) в объеме газовоздушной смеси. Этот процесс носит название распространение пламени.

 Критические условия***вынужденного воспламенения*** и зажигания местным тепловым импульсом также заключаются в нарушении теплового ( или диффузионного) равновесия. Условие самовоспламенения для чисто гомогенной реакции проще в том отношении, что в него входят только свойства ( и геометрические размеры) самого объема горючей смеси. Температура стенок полагается заданной и постоянной; за время развития процесса воспламенения она обычно не успевает заметно измениться.

В условиях***вынужденного воспламенения*** от фронта пламени весьма интенсивный подогрев смеси происходит в тонком слое А / п от высокотемпературной зоны горения Л / г вследствие теплопроводности и диффузии раскаленных продуктов сгорания.

Критические условия***вынужденного воспламенения*** ( зажигания) местным тепловым импульсом также заключаются в нарушении теплового ( или диффузионного) равновесия. Условие самовоспламенения для чисто гомогенной реакции проще в том отношении, что в него входят только свойства ( и геометрические размеры) самого объема горючей смеси. Температура стенок полагается заданной и постоянной; за время развития процесса воспламенения она обычно не успевает заметно измениться.

Критические условия***вынужденного воспламенения***  ( зажигания) местным тепловым импульсом также заключаются в нарушении теплового ( или диффузионного) равновесия. Условие самовоспламенения для чисто гомогенной реакции проще в том отношении, что в него входят только свойства ( и геометрические размеры) самого объема горючей смеси. Температура стенок полагается заданной и постоянной; за время развития процесса воспламенения она обычно не успевает заметно измениться.

Различают самовоспламенение, ***вынужденное воспламенение***  и самовозгорание.

Как указывалось выше, ***вынужденное воспламенение газов***  ( зажигание) осуществляется поджиганием смеси в одной точке или в ряде точек высокотемпературным источником, открытым пламенем или электрической искрой в точке вылета газа или газовоздушной смеси из огневых каналов горелок в топочный объем.

В настоящее время теория***вынужденного воспламенения***  в литературе достаточно полно освещена. Прежде чем рассмотреть последнюю, обратимся к теории самовоспламенения газовых смесей, так как и при вынужденном воспламенении в начальной стадии происходит самовоспламенение.

**ЛЕКЦИЯ №5** Материальный баланс горения

Процессы горения на пожаре подчиняются фундаментальным законам природы, в частности, законам сохранения массы и энергии. На них базируется большинство инженерных расчетов параметров процессов горения.

**Баланс** (от фр. balance - весы) - совокупность показателей для оценки какого-либо явления путем сопоставления или противопоставления отдельных его сторон. Для процессов массо- и теплообмена баланс - это математическое выражение закона сохранения массы или энергии, которое связывает значения массы или теплоты исходных (приход) и конечных (расход) веществ. При этом приход всегда равен расходу.

Схематично с учетом прихода и расхода материальный баланс можно представить в виде:

Горючее + окислитель = Продукты горения

Приход Расход

В процессах горения исходными веществами являются горючее и окислитель, а конечными - продукты горения. Последние представляют собой многокомпонентную смесь: в общем виде: ПГ1 + ПГ2 + ...+ ПГi *+ ... +* ПГn *=* ПГi

Например:

СО2 + СО + Н20 + Ств +...

Материальный баланс процессов горения основывается на уравнении основного химического процесса при горении: окислительно восстановительной реакции между исходными горючими веществами и окислителем с образованием продуктов горения ПГ (конечные вещества), представленному уравнением (1).

Гор + yОк =(1)

Где: Гор – горючее вещество,

Ок – окислитель,

ПГ – продукты горения.

x,y,ni – соответствующие стехиометрические коэффициенты.

Как уже отмечалось выше, данное уравнение является обобщенным выражением материального баланса любой химической реакции окисления. Оно не несет информации о промежуточных стадиях процесса, которых может быть великое множество, а выражает только начальное и конечное состояние системы. Поэтому его называют также**суммарным или брутто-уравнением реакции горения.** Для решения многих инженерно-технических задач этого уравнения бывает достаточно. Рассмотрим расчетные методы определения отдельных составляющих материального баланса процессов горения.

* Расход воздуха на горение

Чаще всего на реальных пожарах приходиться иметь дело с горением в атмосфере воздуха. Известно, что основными компонентами воздуха являются азот (78%), кислород (21%) и аргон (0,9%). Азот и инертный газ аргон в процессе горения органических веществ участия не принимают. Окислителем при горении в воздухе является кислород.

Для простоты расчетов принимают, что воздух состоит из 21% кислорода и 79% азота, т.е. на один объем кислорода в воздухе приходится 79/21=3,76 объема азота.



где - соответственно объемное (объемных процентах) содержание азота и кислорода в окислителе.



Таким образом, состав воздуха может быть представлен в виде:



Теоретический расход воздуха на горение рассчитывается по уравнению материального баланса горения с учетом стехиометрических коэффициентов **,без учета участия воздуха в других физических процессах, протекающих при горении**.

Общее уравнение материального баланса процесса горения в воздухе выглядит следующим образом:

(ОГор + 2 + 3,76N2) *=*  ni [ПГi3,76N] + 2. (2)

где  - стехиометрический коэффициент перед воздухом, участвующем в

химических превращениях при горении.

Смеси стехиометрического состава наиболее пожарно- и взрывоопасны.

**Удельный теоретический расход воздуха** Vв**°** - это минимальное его количество, необходимое для полного сгорания единицы массы горючего вещества при нормальных условиях.

Алгоритм расчета теоретического количества воздуха на окисление зависит от агрегатного состояния вещества и его химической природы. Для удобства вычислений горючие вещества подразделяют на три основные группы:

* индивидуальные химические соединения с известной химической формулой (метан, ацетон, спирты и т.д.);
* горючее – смесь газов (природный, нефтяной, промышленный – генераторный, доменный и др.
* конденсированные горючие вещества неизвестного химического строения, но с известным элементным составом (.элементный состав отражает содержание в веществе химических элементов С, Н, О, S, N, C1 и др. в % масс.); смесь газов или паров.

1.6.2.1. Коэффициент избытка воздуха.

На реальных пожарах количество участвующего в открытом горении воздуха больше теоретического. Это объясняется тем, что теоретический расход воздуха рассчитывается только по уравнению химической реакции окисления, а при горении воздух принимает участие и в физических процессах (конвекции, диффузии), обеспечивающих поддержание устойчивого процесса горения. При диффузионном режиме для поддержания устойчивого горения необходима достаточная скорость диффузии кислорода из окружающего воздуха через фронт пламени в зону горючих газов. При градиенте концентраций 21%(воздух) - 0% ( ГГ) эта скорость достаточна, при понижении концентрации кислорода в воздухе до 16-14% (например, при горении в замкнутом объеме) скорость диффузии значительно уменьшается и горение прекращается.

Поэтому было введено понятие коэффициент избытка воздуха.

**Коэффициент избытка воздуха  - это отношение количества воздуха, практически расходуемого на горение, к теоретическому количеству, необходимому для полного химического окисления горючего в соответствии с уравнением (4).**

 = Vвпр / Vв0 = (3)

Коэффициент избытка воздуха показывает, во сколько раз реальный расход воздуха при горении больше теоретического, рассчитанного только по уравнению химической реакции.

Коэффициент избытка воздуха имеет смысл только при описании процессов горения в замкнутых объемах.

 = 1, т.е. реальный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, равен теоретическому. При Для горючих однородных смесей стехиометрического состава коэффициент избытка воздуха > 1 горючую смесь называют**бедной** по горючему компоненту, а при < 1 -**богатой.** В бедной смеси имеется избыток воздуха, который не расходуется и переходит в продукты горения. При диффузионном режиме горения предварительно не перемешанных горючих смесей коэффициент избытка воздуха всегда больше 1.

Разность между практическим и теоретическим количеством называется**избытком воздуха.**

Его можно вычислить по формулам:

 Vв= Vвпр - Vв0 (4)

Диффузионное горение большинства горючих материалов возможно только до определенной пороговой концентрации кислорода (для большинства органических веществ до 12-16 % об. О2). Зная содержание кислорода в продуктах горения О2пг, можно определить коэффициент избытка воздуха на реальном пожаре:

 = 21/(21 - О2пг) (2.5)

и далее - практический расход воздуха на горение.

1.6.2.2. Расчет количества воздуха, необходимого на горение,

если горючее - индивидуальное химическое соединение

В этом случае теоретическое количество воздуха Vв° определяется непосредственно из уравнения материального баланса с помощью известного следствия из закона Авогадро. Рассмотрим расчет теоретического количества воздуха на горение на примере ацетона.

Пример 1. Сколько теоретически количества воздуха необходимо для сгорания 1 кмоля ацетона при нормальных условиях?

Решение:

Уравнение реакции горения ацетона в воздухе:

С3Н6О + 4 (O2 + 3,76N2) = ЗСO2 +ЗН23,76NO + 42.

1 кмоль 4(1+3,76)кмоль

По уравнению на 1 кмоль ацетона расходуется 4(1+3,76) = 19,04 кмоля воздуха.

Однако размерность Vв0 может быть разной. На практике удобно выражать расход воздуха на горение в м3. Известно, что 1 кмоль газа**при нормальных условиях**занимает объем **22,4 м3/кмоль,** поэтому необходимый объем воздуха на горение 1 кмоль ацетона **при нормальных условиях** будет равен Vb19,04 = 426,5 м° = 22,43 /кмоль.

Если ацетон находится в виде пара, то его 1 кмоль **при нормальных условиях**тоже будет занимать объем 22,4 м3. Тогда расход воздуха на горение можно выразить в м3/м3, и он будет равен Vв0 = 19,04 м3 воздуха /м3 паров ацетона.

Молекулярная масса ацетона Мацетона3+6+16=58, т.е. масса 1 кмоля равна 58 кг. Отсюда, в расчете на 1 кг ацетона V= 12в° = 426,5/58 = 7,35 м3/кг.

В табл.2 приведены результаты выполненных вычислений.

Таблица 1.

Теоретический расход воздуха на горение ацетона

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Размерность |
| моль/кмоль | м3 /м3 | м3/кмоль | м3/кг |
| Vb° | 19,04 | 19,04 | 426,5 | 7,35 |

Как видно из таблицы, величина Vв*°* зависит от ее размерности.

В общем виде ход приведенных вычислений расхода воздуха на горение любого вещества можно записать с помощью простых формул:

Vв, кмоль/кмоль (5),(1 + 3,76) = 4,76° =

 - стехиометрический коэффициент воздуха в уравнении материального баланса горения вещества.где

Vв0 , м = 106,64,76= 22,43 /кмоль (6),

Vв/М = 106,6г, м3/кг (2.8),

где Мг - молекулярная (атомная) масса горючего, кг/кмоль.

Если нужно привести теоретический объем воздуха к условиям, отличным от нормальных, то используется известная формула объединенного газового закона:

PoVв/To = PtVвt/T (7).

1.6.3. Расчет количества и состава продуктов горения

Состав продуктов горения зависит от химической природы горючего материала и условий его горения. Практически повсеместно органические вещества горят с образованием продуктов полного и неполного горения.

**К продуктам полного горения** относятся: диоксид углерода СО2, образующийся при горении углерода, разложении карбонатов и т.д., водяной пар, образующийся при горении водорода и испарении влаги исходного вещества, сернистый ангидрид SO2 и азот N2 - продукты горения, соответственно, серу- и азотсодержащих соединений. Все они не горючи и не могут поддерживать горение.

Продукты неполного горения - это оксид углерода, сажа, продукты термоокислительного разложения (газы, смолы и т.п.). Неорганические вещества сгорают, как правило, до соответствующих оксидов.

Реальный выход продуктов горения количественно установить невозможно из-за чрезвычайной сложности их состава, поэтому материальный баланс процесса горения рассчитывается в предположении, что вещество сгорает полностью до конечных продуктов. При этом в состав продуктов горения включаются также азот воздуха, израсходованного на горение, и избыток воздуха при > 1. Вычисление количества продуктов горения базируется на уравнении материального баланса процесса горения следующего вида:

(0Гор + 2 + 3,76N2) = nСС02 + nНH2О + nSS02 + nNN2 3,76N+ 2 V+ в. (10)

Алгоритм расчета зависит от состава и агрегатного состояния горючего вещества.

1.6.3.1. Горючее - индивидуальное химическое соединение.

Теоретический выход продуктов горения VПГ° при нормальных условиях определяется непосредственно из уравнения реакции горения.

Для твердых и жидких веществ:

VПГ° = (nС + nH + nS + nN 22,4/M, м3,76)+ 3/кг. (11)

Для газов: VПГ° = nС + nH + nS + nN 3,76, м+ 3 /м3. (12)

где nС, nH, nS, nN– стехиометрические коэффициенты в уравнении материального баланса (10).

При > 1 общий практический объем продуктов горения равен:

VПГпр = Vв0 V+ в. (13)

Объем продуктов горения от нормальных условий к любым другим может быть приведен по известной формуле (7).

Состав продуктов горения:

теоретический i0 = Vi0 / Vпг100, % об, (14)°

практический i = Vi0 / Vпгпр100, % об (15)

в V= в / Vпгпр100% об. (16)

Пример 4. Рассчитать, какое количество продуктов горения выделится при сгорании 5 м3 ацетилена в воздухе, если температура горения 1450К.

*Решение.*

Запишем уравнение химической реакции горения

С2Н2 + 2,5 О2 + 2,5 3,76 N2= 2CО2 +Н2О + 2,5 3,76 N2

Поскольку горючее газообразное индивидуальное химическое соединение для расчета объема продуктов горения при нормальных условиях воспользуемся формулой (12):



Объем продуктов горения 1 м3 ацетилена при 1450К



**ЛЕКЦИЯ №7**  Объём продуктов горения.

***Объем продуктов горения***  в результате диссоциации С02 и Н20 возрастает, однако теплосодержание продуктов горения, не диссоциированных и частично диссоциированных, при той же температуре практически почти не меняется вследствие более высокой объемной темплоемкости исходных трехатомных газов С02 и Н20 по сравнению с теплоемкостями образующихся двухатомных газов. Так, объемная теплоемкость С02 от О до 2000 равна 0 5785 ккал / нмя, теплоемкость СО - 0 3592 ккал / нм3 и теплоемкость кислорода 0 3748 ккал / нм3

***Объем продуктов горения***  изменяется по газоходам котлоагрегата вследствие изменения коэфициента избытка воздуха; одновременно изменяется также и температура продуктов горения. Поэтому следует подсчитывать значения теплосодержаний продуктов горения только для некоторых значений температур, которые предположительно могут быть в данном газоходе.

***Объем продуктов горения***  в результате диссоциации С02 и ЬЪО возрастает, однако теплосодержание продуктов горения, не диссоциированных и частично диссоциированных, при той же температуре практически почти не меняется вследствие более высокой объемной темплоемкости исходных трехатомных газов СО а и Н20 по сравнению с теплоемкостями образующихся двухатомных газов. Так, объемная теплоемкость СО 2 от О до 2000 равна 0 5785 ккал / нма, теплоемкость СО - 0 3592 ккал / нм3 и теплоемкость кислорода 0 3748 ккал / нм3

***Объемы продуктов горения***  определяются на основании следующих расчетов.

***Объем продуктов горения***  зависит от состава сжигаемого газа и фактического коэффициента избытка воздуха

***Объем продуктов горения***  уменьшается по сравнению с обычным сжиганием. Сокращение объема продуктов горения связано прежде всего с уменьшением содержания азота в результате обогащения воздуха кислородом. С уменьшением объема продуктов горения повышается температура факела.

***Объем продуктов горения Vs***  подсчитывается обычно, исходя из состава топлива, с учетом коэффициента избытка воздуха а, которым принято обозначать отношение поступившего воздуха к теоретически необходимому.

***Объем продуктов горения углерода***  при сжигании его в СО и СО2 одинаков. Следовательно, чем выше процентное содержание СО2 в продуктах горения, тем выше их температура, тем больше тепла дает каждый килограмм топлива, тем выше температура нагреваемого чугуна и меньше расход топлива.

***Объем продуктов горения FS***  подсчитывается обычно, исходя из состава топлива, с учетом коэффициента избытка воздуха ос, которым принято обозначать отношение поступившего воздуха к теоретически необходимому

Поэтому***объем продуктов горения*** , уносящих тепло, должен быть скорректирован с учетом этого обстоятельства.

Поскольку***объемы продуктов горения***  при обогреве печей доменным газом или смесью-значительно больше, ( чем при обогреве коксовым газом, то и сопротивление зоны косых ходов значительно выше.

Поэтому***объем продуктов горения*** , уносящих тепло, должен быть скорректирован с учетом этого обстоятельства.

Расчет***объемов продуктов горения газообразного топлива*** аналогичен, но проводится на 1 м3 топлива.

Помимо того, ***объем продуктов горения***  возрастает за счет объема испаренной влаги.

В этом случае***объемы продуктов горения V*** в числителе и знаменателе сокращаются

**ЛЕКЦИЯ №8** Виды теплопередачи.

Мы знаем, что внутреннюю энергию можно изменить двумя способами: путем совершения работы и путем теплообмена (теплопередачи). Изменение внутренней энергии посредством теплообмена может производиться по-разному. Различают три вида **теплообмена – теплопроводность, конвекция и излучение.**

1. Теплообмен посредством теплопроводности.

***Теплопроводность***- такой тип теплообмена, когда тепло перемещается от более нагретых участков тела к менее нагретым вследствие теплового движения молекул.

Очевидно, что этот перенос энергии требует определенного времени. Слайды презентации: зависимость теплопроводности от рода вещества. Особенность теплопроводности в том, что само вещество не перемещается. Ясно, что чем меньше расстояние между молекулами, тем с большей скоростью идет перенос тепла.

Все кристаллы имеют очень хорошую теплопроводность. И наоборот, те вещества, в которых расстояния между молекулами большие - плохие проводники тепла. Это - различные породы древесины, строительный кирпич, в котором есть поры, заполненные воздухом, различные газы. Плохая теплопроводность у шерсти и меха, так как между ворсинками также много воздуха. Именно наличие меха позволяет отдельным животным переносить зимнюю стужу.

2. Под ***конвекцией***понимают перенос энергии струями жидкости или газа.

Включив лампу накаливания с отражателем и подставив над лампой бумажную вертушку, мы замечаем, что она начинает вращаться Объяснение этому факту может быть одно: холодный воздух при нагревании у лампы становится теплым и поднимается вверх. При этом вертушка вращается.

Плотность горячего воздуха или жидкости меньше, чем холодного, поэтому нагрев производят снизу. При этом конвекционные потоки теплой жидкости поднимаются вверх, а на их место опускается холодная жидкость На опыте по нагреванию пробирки с водой, на дно которой опущены кристаллики медного купороса, мы замечаем голубые «змейки», которые поднимаются вверх.

Замечено, что жидкость можно нагреть и при нагревании ее сверху, но это - длительный процесс. В данном случае нагрев происходит не за счет конвекции, а за счет теплопроводности.

Система отопления помещений основана именно на перемещении конвекционных потоков теплого и холодного воздуха: постоянное перемешивание воздуха приводит к выравниванию температуры по всему объему помещения.

Очевидно, что главным отличием конвекции от теплопроводности является то, что ***при конвекции происходит перенос вещества,***имеющего большую внутреннюю энергию, а при теплопроводности вещество не переносится.

Холодные и теплые морские и океанские течения - примеры конвекции.

3. Под лучистым теплообменом, или просто ***излучением,***понимают перенос энергии в виде электромагнитных волн. Любое нагретое тело является источником излучения.

Этот вид теплообмена отличается тем, что может происходить и в вакууме. Ведь солнечная энергия доходит до Земли.

Два одинаковых тела, нагретые до одной температуры, остывают по-разному, если у них разный цвет поверхности. Способность светлых тел хорошо отражать лучистую энергию используют при строительстве самолетов; крыши высотных зданий в жарких странах также  красят в светлые тона.

Темные тела наоборот, не только лучше поглощают энергию, но и лучше ее отдают в окружающую среду.

**Примеры теплообмена в природе и технике**

Говоря о конвекционных эффектах, можно привести в качестве примера ветры, которые постоянно дуют в земной атмосфере. Именно перенос ветрами огромной энергии, либо наоборот, приводит к заметному изменению погоды в данном регионе. Побережье любого теплого моря зимой всегда имеет более высокую среднюю температуру, чем материковые области, которые могут находиться южнее. Пример. Побережье Мурманской области и центральная Сибирь. Существование теплых и холодных морских течений - тоже примеры конвекционных явлений.

Часто можно в зоне промышленных предприятий увидеть высокие трубы из кирпича. Они служат для создания хорошей тяги. Теплый газ или дым легче холодного воздуха, и поэтому он поднимается вверх. Чем больше перепад давления внизу и вверху трубы, тем лучше тяга. Поэтому трубы и делают высокими. Ясно, что из двух труб одинаковой высоты лучшая тяга будет у кирпичной, нежели у металлической. Горячий воздух в металлической трубе остывает при подъеме быстрее, отчего тяга уменьшается.

Особое место занимает возможность отопления многоквартирных домов. Принцип отопления связан с циркуляцией горячей воды по трубам. Источником горячей воды являются котельные и ТЭЦ. Вода, циркулируя по трубам, отдает часть тепла, охлаждается, затем снова идет на нагрев в ТЭЦ. Любые изменения давления в системе регулируют при помощи расширительных баков.

В быту часто используют термосы. Они служат для сохранения горячей жидкости длительное время. Впрочем, в термосах также можно долго хранить и холодную жидкость. Основным элементом любого термоса является рабочий сосуд с двойными стенками, между которыми глубокое разрежение. Это - сосуд Дьюара. Английский ученый Джеймс Дьюар в конце XIX века изобрел такой сосуд. Чтобы исключить влияние излучения изнутри и снаружи, стенки сосуда делают зеркальным

**ЛЕКЦИЯ №9** Взрывы. Типы взрывов

Взрыв - это освобождение большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени.[3, 4c]

Взрыв приводит к образованию сильно нагретого газа (плазмы) с очень высоким давлением, который при моментальном расширении оказывает ударное механическое воздействие (давление, разрушение) на окружащие тела.

Взрыв в твердой среде сопровождается ее разрушением и дроблением, в воздушной или водной - вызывает образование воздушной или гидравлической ударных вокоторые и оказывают разрушающее воздействие на помещенные в них объекты.

В деятельности, не связанной с преднамеренными взрывами в условиях промышленного производства, под взрывом следует понимать быстрое, неуправляемое высвобождение энергии, которое вызывает ударную волну, движущуюся на некотором удалении от источника.

В результате взрыва вещество, заполняющее объем, в котором происходит высвобождение энергии, превращается в сильно нагретый газ (плазму) с очень высоким давлением, (до

лнЭтот газ, моментально расширяясь оказывает ударной механическое воздействия на окружающую среду, вызвав ее движение. Взрыв в твердой среде вызывает ее дробление и разрушение в гидравлической и воздушной среде - вызывает образование гидравлической и воздушной ударной (взрывной) волны.

Взрывная волна - есть движение среды, порожденное взрывом, при котором происходит резкое повышение давления, плотности и температуры среды.

Фронт (передняя граница) взрывной волны распространяется по среде с большой скоростью, в результате чего область охваченная движением, быстро расширяется.

Посредством взрывной волны (или разлетающихся продуктов взрыва - в вакууме) взрыв производит механическое воздействие на объекты, находящиеся на различных удалениях от места взрыва. По мере увеличения расстояния от места взрыва механическое воздействие взрывной волны ослабевает. Таким образом, взрыв несет потенциальную опасность поражения людей и обладает разрушительной способностью.[1, 113c]

Взрыв может быть вызван:

- детонацией конденсированных взрывчатых веществ (ВВ);

- быстрым сгоранием воспламеняющего облака газа или пыли;

- внезапным разрушением сосуда со сжатым газом или с перегретой жидкостью;

- смешиванием перегретых твердых веществ (расплава) с холодными жидкостями и т.д.

В зависимости от вида энергоносителей и условий энерговыделения, источниками энергии при взрыве могут быть как химические так и физические процессы.

Источником энергии химических взрывов являются быстропротекающие самоускоряющиеся экзотермические реакции взаимодействия горючих веществ с окислителями или реакции термического разложения нестабильных соединений.

Источниками энергии сжатых газов (паров) в замкнутых объемах аппаратуры (оборудования) могут быть как внешние (энергия, используемая для сжатия тазов, нагнетания жидкостей; теплоносители, обеспечивающие нагрев жидкости и газов в замкнутом пространстве) так и внутренние (экзотермические физико-химические процессы и процессы тепломассообмена в замкнутом объеме), приводящие к интенсивному испарению жидкостей или газообразованию, росту температуры и давления без внутренних взрывных явлений

**ЛЕКЦИЯ №10** Основные параметры взрыва.

 Рассмотрим случайные взрывы, происходящие в воздушной среде при нормальных условиях.

Параметры, которые определяют поражающие и разрушающие эффекты взрыва, существенно зависят от параметров источника, который формирует ударную (взрывную) волну. К таким параметрам относятся энергия взрыва Е, плотность энерговыделения E/V и его скорость (мощность). Ряд источников имеют настолько высокое энерговыделение, что могут быть отнесены, по крайней мере в первом приближении, к «идеальным», т. е. к таким, параметры ударной волны которых могут быть определены только исходя из значений одного параметра – суммарного энерговыделения. К таким источникам относятся: ядерное и термоядерное оружие, лазерный импульс и конденсированные ВВ.

Следует отметить, что ВВ, особенно в большой массе, генерируют практически идеальные ударные волны. Поэтому наиболее удобным описанием взрывных явлений, вызываемых этими источниками, является так называемая теория точечного взрыва, имеющая важное теоретическое и практическое значение.

Мощность, получаемая при взрыве, измеряется колоссальными величинами. Например, при взрывчатом превращении 1 кг тротила выделяется 1000 ккал тепла, которые эквивалентны 427000 кгм. При скорости детонации для тротила 6900 м/сек и длине тротилового заряда 25 см детонация его закончится в течение 0,25:6900 = 0,000036 = 36 микросекунд.

Тогда мощность, развиваемая 1 кг тротила за этот промежуток времени, будет равна

427000/0,000036 = 11900000000 кгм/с = 158.106 л. с.

Однако мощность взрыва лучше вычислять не по времени, необходимому на детонацию всего заряда ВВ, а по времени расширения продуктов взрыва до объема, соответствующего атмосферному давлению; расширение до такого объема по результатам скоростных съемок взрывного процесса протекает в течение нескольких миллисекунд. В этом случае мощность 1 кг тротила выразится величиной более миллиона лошадиных сил.

Но и эта мощность в действительных условиях не может быть реализована из-за кратковременности ее действия, инерции масс, на которые она действует, а также вследствие больших непроизводительных потерь на нагревание окружающей среды, на излишнее измельчение и разбрасывание ее, на остаточное тепло в продуктах взрыва после их окончательного расширения и на неизбежные химические потери.

В итоге полезная механическая работа часто не превышает 1-2 %, а при взрывах в твердой среде, по Г. И. Покровскому, равна примерно 8-9 %. Однако огромное количество потенциальной энергии, заключенное в исходном ВВ, является причиной все более расширяющегося масштаба использования энергии взрыва.

При распространении ударных волн в воздухе или при взаимодействии их с каким-либо препятствием происходят быстрые изменения давления, плотности, температуры и массовой скорости. Чаще всего ударная волна характеризуется величиной максимального *избыточного давления,*т. е. приростом давления в той или иной точке пространства по сравнению с атмосферным. Кроме этой величины действие ударной волны может связываться со *временем действия*и*распространения*ее, а также с так называемым *скоростным напором.*

Наиболее изученными являются невозмущенные каким-либо препятствием ударные волны в воздухе, которые принято называть *проходящими*или *падающими.*Структура этой волны приведена на рис. 7.7.

Здесь *р0*– атмосферное давление до прихода ударной волны; *ta*– момент прихода фронта волны в точку пространства, во время которого давление резко повышается до максимальной величины *рs+ + р0.*Далее, за время *Т+*давление падает до атмосферного и продолжает снижаться до величины *р0*- *рs-*, возвращаясь с течением времени *t = ta +T+ + T-.*к исходной величине. Величина *p+s*и определяется как максимальное избыточное давление, область *ta - ta+T+*являетсяположительной фазой с продолжительностью*Т*; а область 2 – отрицательной фазой длительностью Т- и амплитудой *рs-*. Каждая фаза характеризуется соответственно положительным *i+s*и отрицательным *i-s*; удельными импульсами, т. е. импульсами на единицу поверхности.



Рис. 7.7. Структура идеальной взрывной волны: 1 – положительная фаза; 2 – отрицательная фаза (волна разряжения)

При взрыве конденсированных ВВ отрицательная фаза ударной волны обычно не учитывается в связи с тем, что *i+s*намного превышает *i-s*.

Однако иногда (например, при взрывах сосудов со сжатыми газами и протяженных источников взрыва) параметры отрицательной фазы достигают высоких значений и важны при оценке разрушающей способности взрывной волны. Отрицательная фаза ударной волны, вновь проходящая через центр, приводит к взаимному наложению волн.

Это возможно в локальных зонах, в которых уровень избыточного давления взрывающегося облака может составлять более 1 МПа. Кроме того, в случае взрывных волн от источников с малой плотностью энерговыделения амплитуда давления отрицательной фазы сравнима с амплитудой положительной фазы. Это приводит к качественно новым видам вакуумного разрушения в отличие от взрывов высокоэнергетичных ВВ.

В теории взрыва существует понятие точечного взрыва. Под точечным взрывом понимают процесс образования ударной волны в результате мгновенного выделения конечного количества энергии в некоторой точке атмосферы, плотность которой считается однородной или изменяющейся по какому-либо закону. По мере распространения взрывные волны ослабляются. Принято обычно выделять три зоны. В ближней зоне, или в зоне сильного взрыва (сильных ударных волн), давление в волне столь велико, что внешнее давление (или противодавление) может не учитываться. Задача расчета параметров ударной волны описывается аналитическими функциями. Затем следует так называемая промежуточная зона. Течение в этой зоне не допускает аналитического решения и находится с помощью численных методов или приближенных аналитических зависимостей. Далее следует зона слабого взрыва (слабых ударных волн), которая допускает аналитическое решение на основе известной зависимости избыточного давления от времени.

Важное значение для определения параметров ударной волны имеют *законы подобия взрывов Хопкинсона*-*Кранца,*которые позволяют рассчитать численные значения интересующих нас показателей ударной волны, не прибегая каждый раз к тем или иным достаточно сложным методам моделирования. В основе закона подобия взрывов Хопкинсона-Кранца лежит принцип кубического корня (рис. 7.8). В соответствии с этим принципом два заряда одного и того же ВВ одинаковой формы, но разного размера (или разные по массе), взрываясь в одной и той же атмосфере, являются источником подобных ударных волн при одинаковых значениях расстояния:

*Z = R/E1/3*,(7.4)

где Z – постоянная для данного вида ВВ величина (коэффициент пропорциональности), м/Дж1/3;

*R*– расстояние от центра заряда, м;

*Е*– полная энергия взрыва, Дж.



Рис. 7.8. Моделирование взрывных волн по Хопкинсу-Кранцу: а) – взрыв заряда диаметром *d*, б) – взрыв заряда диаметром *d*

Иначе говоря, в атмосфере происходит взрыв заряда характерным размером *d*. На расстояние *R*от центра заряда взрывная волна характеризуется амплитудой *р*, продолжительностью *Т*, импульсом *i*. Тогда взрыв подобного же по форме заряда размером *d*приведет на расстоянии *R*кподобной взрывной волне с амплитудой *р,*но продолжительностью *Т*и импульсом *i.*Следовательно, уменьшение заряда в раз приводит к уменьшению во столько же раз и соответствующих метрических и временных характеристик ударной волны, а такие параметры, как давление, температура, плотность воздуха за волной и скорость волны на расстоянии *R*, остаются неизменными.

Практическим подтверждением этого принципа являются результаты обширных исследований реальных разрушений кирпичных зданий при взрывах бомб во время Второй мировой войны в Англии.

*Давление взрыва* характеризуется возникновением ударной волны, которая является основной разрушающей силой взрыва. Ее мощность зависит от давления сжатия свежей смеси и продуктов горения, создаваемого при горении. Представляется интересным выяснить, от чего зависит давление взрыва.

**ЛЕКЦИЯ №11** Основы теории взрыва

Взрыв — чрезвычайно быстрое изменение состояния вещества, сопровождающееся таким же быстрым превращением его потенциальной энергии в механическую работу. Работа взрыва основана на стремлении образовавшихся при нем газов к расширению.
Взрывы могут быть физического или химического характера. При физическом взрыве изменяется только физическое состояние вещества (взрывы паровых котлов, баллонов, сжатого или сжиженного газа и др.). При химическом взрыве происходит быстрое химическое превращение вещества, при котором энергия межмолекулярных связей выделяется в виде теплоты и образуются газообразные продукты.
В практике горного дела главным образом используются химические взрывы.
Согласно гидродинамической теории, передача детонации обусловлена распространением по ВВ ударной волны. Если амплитуда изменения давления на фронте этой волны больше некоторой величины, то волна при распространении способна за своим фронтом возбуждать интенсивную химическую реакцию, за счет энергии которой поддерживаются постоянно параметры волны и стационарный характер детонационного процесса в целом.
Ударная волна (зона сжатия) и прилегающая к ней зона реакции взрывчатого превращения обобщаются под названием детонационной волны (волна детонации). Движение ударной волны складывается из движения скачка уплотнения и перемещения самой среды. Детонационная волна имеет более сложную структуру. Распространение ее обусловливается движением ударной волны, зоны химической реакции и конечных продуктов взрыва.
Скачкообразность процесса распространения детонации является резким отличительным признаком явления.
При детонации В В получаются продукты взрыва плотностью 2 г/см3 при давлении в тысячи мегапаскалей. Таким образом, имеет место совершенно новое, своеобразное состояние вещества.
При детонации ВВ зона химического превращения, отделяющая невозмущенное ВВ от продуктов взрыва, в которых химическая реакция уже полностью закончилась, оказывается весьма тонкой. Масса вещества, находящегося в каждый данный момент в состоянии химической реакции, составляет ничтожную часть от общей массы заряда.
Способность ВВ к детонации зависит от условий его применения. Если размеры заряда менее определенной критической величины, то детонация затухает.
Продукты взрыва одного заряда в воздухе могут вызывать взрыв другого заряда, если он не очень удален от первого. В таком случае первый заряд называется активным, второй — пассивным. Явление возбуждения взрыва в пассивном заряде в случае взрыва активного, отделенного от пассивного инертной средой, называется детонацией на расстоянии или детонацией через влияние.
Дальность передачи детонации зависит от ряда факторов, основными из которых являются: масса и свойства активного заряда, свойства пассивного заряда, свойства среды, разделяющей заряды, характер оболочек, в которые помещены заряды, а также направление детонации в активном заряде.
Из свойств активного заряда определяющими являются скорость детонации и плотность.
С увеличением плотности активного заряда растет и дальность передачи детонации. Чем выше чувствительность ВВ, тем больше дальность передачи детонации. Так как чувствительность ВВ с увеличением плотности заряда уменьшается, то, чем больше плотность пассивного заряда, тем меньше расстояние передачи детонации.

**ЛЕКЦИЯ №12**  Детонация.

Детонация

*(франц. détoner — взрываться, от лат. detono — гремлю)*

        процесс химического превращения взрывчатого вещества, сопровождающийся освобождением энергии ираспространяющийся по веществу в виде волны от одного слоя к другому со сверхзвуковой скоростью. Химическая реакция вводится интенсивной ударной волной (См. [УдарнаяHYPERLINK "https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/142395/%D0%A3%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F" HYPERLINK "https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/142395/%D0%A3%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F"волна](https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/142395/%D0%A3%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F)), образующей переднийфронт детонационной волны. Благодаря резкому повышению температуры и давления за фронтом ударнойволны химическое превращение протекает чрезвычайно быстро в очень тонком слое, непосредственноприлегающем к фронту волны (***рис. 1***,***2***).

         Энергия, освобождающаяся в зоне химической реакции, непрерывно поддерживает высокое давление вударной волне. Д., т. о., представляет собой самоподдерживающийся процесс.

         Возбуждение Д. является обычным способом осуществления [Взрыв](https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/74174/%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)ов. Д. в заряде взрывчатого веществасоздаётся интенсивным механическим или тепловым воздействием (удар, искровой разряд, взрывметаллической проволочки под действием электрического тока и т.п.). Сила воздействия, необходимого длявозбуждения Д., зависит от химической природы взрывчатого вещества. К механическому воздействиючувствительны, например, так называемые инициирующие взрывчатые вещества (гремучая ртуть, азид свинцаи др.), которые обычно входят в состав капсюлей-детонаторов, используемых для возбуждения Д. вторичных(менее чувствительных) взрывчатых веществ.

         В однородном взрывчатом веществе Д. обычно распространяется с постоянной скоростью, которая средивозможных для данного вещества скоростей распространения детонационной волны является минимальной. В детонационной волне, распространяющейся с минимальной скоростью, зона химической реакцииперемещается относительно продуктов реакции со скоростью звука (но со сверхзвуковой скоростьюотносительно исходного вещества).

Благодаря этому волны разрежения, возникающие при расширении газообразных продуктов химическойреакции, не могут проникнуть в зону реакции и ослабить бегущую впереди ударную волну. Д., отвечающаяуказанным выше условиям, называется процессом Чепмена — Жуге; соответствующая ей минимальнаяскорость распространения принимается в качестве характеристики взрывчатого вещества (см. табл.). Давление, которое создаётся при распространении детонационной волны в газообразных взрывчатых смесях, составляет десятки атмосфер, а в жидких и твёрдых взрывчатых веществах измеряется сотнями тысячатмосфер.

         При определённых условиях во взрывчатом веществе может быть возбуждена Д., скоростьраспространения которой превышает минимальную скорость Д. Так, взрыв заряда твёрдого взрывчатоговещества, помещённого в газообразную взрывчатую смесь, порождает в смеси ударную волну, интенсивностькоторой во много раз превосходит интенсивность волны, отвечающей режиму с минимальной скоростью. Врезультате в газовой смеси распространяется детонационная волна с повышенной скоростью. В этой волне, вотличие от процесса Чепмена — Жуге, зона химической реакции движется относительно продуктов реакции сдозвуковой скоростью. Поэтому по мере удаления такой волны от места её возникновения ударная волнапостепенно ослабевает (сказывается влияние волн разрежения) и скорость распространения Д. снижается доминимального значения.

         Детонационную волну с повышенной скоростью распространения можно также получить в неоднородномвзрывчатом веществе при движении волны в направлении убывающей плотности. Ещё одним примеромраспространения Д. со скоростью, превышающей минимальное значение, может служить сферическаядетонационная волна, сходящаяся к центру. Скорость волны с приближением к центру возрастает. В центретакая волна в течение короткого интервала времени создаёт давление, во много раз превышающее величину, характерную для режима Чепмена — Жуге.

         Устойчивый процесс Д. не всегда возможен. Например, волна Д. не может распространяться вцилиндрическом заряде взрывчатого вещества слишком малого диаметра (разлёт вещества через боковуюповерхность вызывает прекращение химической реакции прежде, чем вещество успеет заметнопрореагировать). Минимальный диаметр заряда, в котором возможен незатухающий процесс Д., пропорционален ширине зоны химической реакции. В газообразных взрывчатых смесях распространение Д. возможно лишь при условиях, когда концентрация горючего газа (или паров горючей жидкости) находится вопределённых пределах. Эти пределы зависят от химической природы взрывчатой смеси, давления итемпературы. Например, в смеси водорода с кислородом при комнатной температуре и атмосферномдавлении волна Д. способна распространяться, если концентрация (по объёму) водорода находится впределах от 20% до 90%.

         Исследование волны Д. в газах показывает, что при понижении начального давления химическаяреакция приобретает характер пульсаций. Неравномерное протекание реакции вызывает искажениядвижущейся впереди ударной волны (***рис. 3***). Наконец, при достаточно низком давлении осуществляетсярежим так называемой спиновой Д., при котором на фронте детонационной волны возникает излом, вращающийся по винтовой линии (***рис. 4***). Дальнейшее снижение давления приводит к затуханию Д.

         Кроме Д., во взрывчатом веществе возможен др. тип волны химической реакции — [Горение](https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/80508/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Волныгорения всегда распространяются с дозвуковой скоростью (обычно значительно меньшей, чем скорость звукав исходном веществе). Движение волны горения обусловлено сравнительно медленными процессамитеплопроводности (См. [Теплопроводность](https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/139115/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)) и диффузии (См. [Диффузия](https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/84943/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%84%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F)). При некоторых условиях горениеможет перейти в Д.

         Во многих случаях, например при горении топливной смеси в двигателях внутреннего сгорания илиреактивного двигателя, при горении пороха в стволе артиллерийского орудия и др., Д. недопустима. В связи сэтим подбираются такие условия горения и химический состав используемых веществ, чтобы возникновениеД. с характерным для неё чрезвычайно резким повышением давления было исключено.

**ЛЕКЦИЯ №13** Теория горения газовых смесей.

Знание законов распространения горения позволяет прогнозировать обстановку на пожаре, определять направление, скорость горения и время разрушения основных конструкций, что является основой успешной и безопасной тактики тушения пожаров.

Наиболее опасны пожары сжиженных газов, так как образующееся взрывоопасное облако может вызвать явление «огненного шара». Кроме этого опасным является то, что сжиженные углеводородные газы (СУГ) тяжелее воздуха и способны накапливать взрывоопасные концентрации в нижних слоях помещений и местности, обладают удушающими свойствами, являясь опасными для людей и животных.

Пожары газов и паров встречаются реже, чем твердых горючих веществ (ТГВ), но чаще приводят к тяжелым последствиям, так как возникают в результате *взрыва*или им сопровождаются.

*Примеры катастрофических пожаров со взрывами:*

* 1944 г. В г. Кливленд (США) в результате взрыва на базе СУГ погибло 130 человек.
* 1974 г. На химическом предприятии в г. Фликсборо (Англия) в результате взрыва погибло 28, травмировано 90 человек, само предприятие уничтожено.
* 1984 г. В г. Сан-Хуан-Иксуапетек (Мексика) в результате взрыва на базе СУГ погибло 500, травмировано 7230, без крова осталось 200 тыс. человек.
* 1989 г. В результате взрыва облака сжиженного газа, вытекшего из газопровода, погибло 1224 пассажира поезда (Уфа, перегон Улу-Телек).
* 1994 г. В г. Пемене (Мексика), пожар базы сжиженных газов принес 500 смертей, 4 тыс. раненных, уничтожил поселок и базу.

Чаще происходят взрывы не с таким большим числом жертв, однако с не менее тяжелыми последствиями:

* 1994 г. Татарстан, г. Нурлат, взрыв 4-х этажного дома, а под завалом погибло 5 человек.
* 1994 г. Москва, взрыв 50 л баллона – 7 человек погибли, дом разрушен.
* 1996 г. Г. Святогорск, в результате взрыва бытового газа разрушен подъезд многоэтажного дома, 19 человек погибло, 4 ранено.
* 21.01.2000 г. Москве, ул. Виноградова, 12, в результате взрыва бытового газа погибло 4 человека, разрушен потолок и стена. Эвакуировано 2 подъезда.

В последнее время участились взрывы в домах в связи с незаконными подключениями к газовым сетям, использованием газа в баллонах для отопления:

* Декабрь 2000 г. Новосибирск – разрушен подъезд.
* 3.01.2001 г. Бийск Алтайского края – 2 подъезда из трех разрушено.
* 5.01.2001 г. Вологда – взрыв на газораспределительной станции, 3 человека погибло, жилой квартал остался без газа.
* 20.08.2000 г. Нью-Мексико (США) – при утечке газа из подземной трубы 10 человек погибло (в том числе 5 детей), устроивших пикник на природе.
* Август 2000 г. Воронеж, на заводе «Автогенмаш» при проведении газосварочных работ, при поджоге горелки раздался взрыв, помещение и люди были охвачены пламенем, один рабочий скончался, второй получил сильные ожоги.
* Март 2005 г. Северный округ Москвы взрыв бытового газа, погибли мужчина и ребенок.
* 24.03.05 г. мощный взрыв на нефтяной компании в г. Техас-Сити (США). Причина взрыва – утечка огнеопасных химикатов. Погибло 14 человек, более 100 ранены.

*Примеры травмирования и гибели пожарных при взрыве газовых смесей:*

14 апреля 1999 г. в д. Суханове Московской области в ходе проведения разведки пожара в строительной бытовке не были предприняты меры по установлению возможного месторасположения газового баллона. В результате взрыва 50-литрового баллона его осколками были травмированы командир отделения и трое пожарных, в том числе один пожарный смертельно.

25 июля 1999 года в г. Саратове при тушении пожара в гараже произошел взрыв газового баллона, в результате которого получили травмы начальник караула, помощник начальника караула, двое пожарных и водитель пожарного автомобиля ПЧ-6. Данное происшествие явилось следствием личного пренебрежения пострадавшими требованиями Правил охраны труда при ведении боевых действий, а также некачественного проведения разведки.

На Западе пожарным не разрешают брать на боевую работу *газовые зажигалки* из-за возможных взрывов (при нагреве).

Пожары газопаровоздушных (ГПВС) смесей могут происходить везде, где обращаются как горючие *газы*(наиболее опасны из них сжиженные), так и горючие *жидкости:*

* жилые дома: кухня, пользование бытовым газом, кладовые, сараи (хранение легковоспламеняющихся жидкостей);
* газопроводы;
* заправки автомобилей и газовых баллонов;
* базы СУГ, резервуарные парки хранения ГЖ;
* участки газосварки;
* котельные и т. п.

Таким образом, горение на пожаре является чрезвычайно сложным многофакторным процессом. Поэтому умение правильно прогнозировать поведение вещества или материала в условиях пожара, оценить влияние тех или иных условий, при которых возможно протекание горения, немыслимо без глубоких знаний современных представлений теории горения

**ЛЕКЦИЯ №14** Диффузное горение жидкостей.

**Механизм горения.**Для понимания механизма горения жидкостей следует иметь в виду, что их температура самовоспламенения (табл. 4.3) всегда значительно выше температуры кипения. Вследствие этого горение жидкостей всегда происходит в паровой фазе.

Таблица 4.3 Сопоставление температур **Кипения и**Еомовоспламенения горючих жидкостей

|  |  |
| --- | --- |
| **Жидкость** | **Температура,**°С |
| **Самовосплам.** | **Кипения** |
| Ацетон | 535 | 56,5 |
| Бензол | 560 | 80.1 |
| Диэтиловый эфир | 180 | 34,5 |
| Этиловый спирт | 404 | 78,4 |
| Уксусная кислота | 454 | 118,1 |
| Этилацетат | 400 | 77,1 |
| Хлорбензол | 640 | 132,0 |
| Диэтиламин | **310** | 55,2 |

Над поверхностью жидкости постоянно присутствует паровоздушная смесь, состоящая из паров жидкости и молекул воздуха. Концентрация паров характеризуется давлением насыщенных паров, которое существенно зависит от температуры жидкости. Эта зависимость описывается уравнением Клайперона-Клаузиуса:

|  |
| --- |
|  |

(4.69)

Где *Рнас —*Давление насыщенных паров жидкости при температуре Т;  *Нисп*— теплота испарения.

Из уравнения (4.69) следует, что давление насыщенных паров (и, соответственно, их концентрация) с увеличением температуры жидкости возрастают экспоненциально. Поэтому, при некоторой температуре над поверхностью жидкости создается концентрация паров, равная нижнему кон-

127

Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Центрационному пределу распространения пламени. При зажигании этих паров внешним источником возникает вспышка — сгорание образовавшейся паровоздушной смеси с выделением значительного количества тепла.

Часть этого тепла расходуется на дополнительное испарение горючей жидкости, и, таким образом, горение поддерживается непрерывным процессом испарения горючего с поверхности за счет тепла, подводимого от пламени.

Поскольку пламя имеет значительно более высокую температуру, чем начальная температура среды, после начальной вспышки скорость испарения увеличивается и возникшее пламя самоподдерживается.

В установившемся состоянии горение паровоздушной смеси характеризуется двумя взаимосвязанными процессами: испарением горючей жидкости за счет тепла, выделяемого в зоне пламени, и сгоранием поступающих в зону горения паров. В установившемся режиме скорости этих процессов должны быть равны.

В практически важных случаях сгорание образующихся паров происходит практически мгновенно, сразу после их поступления в зону горения и смешения с окружающим воздухом. Поэтому скорость выгорания\* определяется скоростью испарения, как наиболее медленным процессом.

Таким образом, горение жидкости есть химический процесс сгорания ее паров, регулируемый скоростью испарения жидкости, зависящий от количества и условий подводимого к жидкости тепла, то есть от условий теплообмена между пламенем и поверхностью жидкости.

Механизм горения жидкости проиллюстрируем примером горения со свободной поверхности, например, в резервуаре. При достаточной концентрации паров и их зажигании над поверхностью жидкости возникает пламя, а уровень жидкости начинает опускаться. Достаточно быстро после возникновения горения устанавливается стационарный режим, характеризующийся постоянной скоростью выгорания. Схематически горение жидкости со свободной поверхности показано на *Рис. 4.26*Сгорание в факеле пламени происходит за счет диффузионного смешения паров горючей жидкости и воздуха. Поверхность жидкости нагревается до температуры кипения. В процессе выгорания происходит прогрев жидкости в глубину.

*Под скоростью выгорания понимается скорость процесса уменьшения массы жидкости в процессе горения. Различают линейную скорость горения (мм/мин), характеризующую скорость снижения уровня жидкости при ее горении в резервуаре, и массовую (кг/м2час), характеризующую убыль массы жидкости в прогрессе горения с единицы поверхности в единицу времени.*

128

|  |
| --- |
| Глава 4. Развитие горения |



*Рис. 4.26. Схема диффузионного горения жидкости 1*— *Зона горения; 2*— *Зона догорания; 3*— *Пары жидкости; 4*— *Конвективные токи воздуха; 5 — зона подогрева жидкости; 6 — жидкость в резервуаре*

Подвод тепла к жидкости в процессе диффузионного горения осуществляется главным образом теплопередачей излучением от факела пламени. Скорость выгорания определяется величиной теплоты испарения жидкости и количеством тепла, подведенного к поверхности жидкости от факела пламени.

Значения скоростей выгорания некоторых жидкостей приведены в *Табл. 4.4*

Таблица 4.4 Скорость выгорания жидкостей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Жидкость | Плотность, кг/м | Скорость выгорания |
| Линейная, мм/мин | Массовая, кг/м час |  |
| Бензол | 0,875 | 3,150 | 165,37 |

129

Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Толуол | 0,860 | 2,680 | 138,29 |
| Ксилол | 0,855 | 2,040 | 104,65 |
| Скипидар | 0,860 | 2,410 | 123,84 |
| Ацетон | 0,790 | 1,400 | 66,36 |
| Метиловый спирт | 0,800 | 1,200 | 57,60 |
| Диэтиловый эфир | 0,715 | 2,930 | 125,84 |
| Амиловый спирт | 0,810 | 1,297 | 63,034 |
| Изоамиловый спирт | 0,805 | 1,390 | 66,80 |
| Бутиловый спирт | 0,812 | 1,069 | 52,08 |
| Изобутиловый спирт | 0,800 | 1,122 | 53,856 |
| Сероуглерод | 1,270 | 1,745 | 132,97 |
| Диметиланилин | 0,950 | 1,523 | 86,31 |

**ЛЕКЦИЯ №15** Образование пыли.

Пыли по общей классификации коллоидно-дисперсных систем относятся к аэрозолям, в которых дисперсионной средой является воздух, а дисперсной фазой — твердое вещество в раздробленном состоянии (с частицами размером менее 100 мкм).

Дисперсными называют гетерогенные системы, в которых одно вещество в виде очень мелких частиц равномерно распределено в объеме другого. Вещество, которое присутствует в меньшем количестве и распределено в объеме другого, называют дисперсной фазой. Вещество, в объеме которого распределена дисперсная фаза называют дисперсионной средой.

Различают пыль по происхождению (естественного происхождения и промышленная) и по материалу, из которого она образована. Пыль естественного происхождения возникает в результате эрозии почвы, при выветривании горных пород и т.д. Промышленная пыль образуется в процессе производства. В зависимости от материала, из которого пыль образована, она может быть органической и неорганической. Органическую основу имеет пыль мучная, табачная, чайная, хлопковая и др. Они относятся к растительным пылям. Пыль шерстяная, костяная – к пылям животного происхождения. Неорганические пыли подразделяются на минеральные (кварцевая, цементная и др.) и металлические (стальная, чугунная, алюминиевая и др.).

Откуда берется пыль ?

Пыль может образовываться при механическом измельчении твердых тел, испарения с последующей конденсацией в твердые частицы, сгорания с образованием в воздухе твердых частиц – продуктов горения (дымы) а также при получении порошкообразных и пылеобразных веществ методами кристаллизации и сублимации; может находиться в осевшем и во взвешенном состоянии. Осевшая пыль называется аэрогелем. Пыль, находящаяся во взвешенном в воздухе состоянии, называется аэрозолем (аэровзвесью).

К основным физико-химическим свойствам пыли относят:

1. Степень дисперсности — это величина обратная диаметру пылинки; чем выше степень дисперсности, тем меньший диаметр имеет пылинка, тем больше площадь соприкосновения с окислителем, а, следовательно, выше скорость реакции окисления. Дисперсный состав пыли определяют методами микроскопии, седиментометрии и механического разделения (ситовой и фильтрационный анализ). Наиболее распространенным методом является ситовой рассев, позволяющий определять состав пыли с частицами размером до 40 мкм и выявлять относительное содержание частиц различных размеров.

Промышленные пыли полидисперсны, т.е. состоят из частиц различной величины.

Аэрозоль – неустойчивая система. С течением времени в аэрозоле происходит укрупнение взвешенных частиц. Этот процесс носит название коагуляции (агрегирования, агломерации). Соединение частиц и их укрупнение происходит вследствие столкновения под действием гравитационных сил, турбулизации, броуновского движения, взаимного притяжения и т.д. Параллельно с процессом коагуляции происходит, хотя и менее интенсивно, процесс разрушения укрупненных частиц. Коагуляция полезное явление: укрупненные частицы быстрее осаждаются и лучше улавливаются.

Высокодисперсная пыль и другие аэрозольные частицы не осаждаются даже в спокойном воздухе.

2. Химическая активность. Под химической активностью понимается способность пыли вступать в реакции с различными веществами, в том числе и в реакции горения. Химическая активность пыли определяется природой вещества, из которого она образована (качественный и количественный состав и строение молекул вещества), и в большой степени зависит от ее дисперсности. С увеличением дисперсности возрастает химическая активность пыли. Например, металлы — железо, алюминий, цинк, обычно не горящие при нормальных условиях, в состоянии пудры моментально самовозгораются при контакте с воздухом. Поэтому пудры и порошки этих металлов готовят в среде инертного газа.

3. Адсорбционная способность. Твердые частицы пыли способны адсорбировать окружающие пары и газы. Адсорбцией называется поглощение паров и газов поверхностью вещества. Различают физическую и химическую адсорбцию. Физическая адсорбция протекает за счет сил межмолекулярного взаимодействия (сил Ван-дер-Ваальса). Физическая адсорбция протекает самопроизвольно, и адсорбируемые пары и газы стремятся полностью занять всю поверхность каждой пылинки.

Помимо физической адсорбции на поверхности пылинок протекает хемосорбция — поверхностная химическая реакция паров и газов адсорбируемого вещества с поверхностью твердой пылинки. Хемосорбция основывается на силах валентных и координационных связей.

Физическая и химическая адсорбция сопровождается выделением тепла. Поэтому пыли в состоянии аэрогеля могут самонагреваться и самовозгораться.

Но если пыль адсорбирует негорючие газы (N2, СО2), ее пожарная опасность уменьшается, понижается склонность пыли к самовозгоранию, повышается температура самовоспламенения, снижается склонность пыли ко взрыву.

4. Склонность пыли к электризации. При размоле твёрдых веществ, транспортировании их по пылепроводам и при движении пыли по воздуху пылинки способны электризоваться. Электризацией называется способность пыли приобретать заряды статического электричества. Электризация пылинок происходит: в результате адсорбции ионов газов из воздуха, где пыль находится во взвешенном состоянии; при трении пыли о твердую поверхность или о воздух; при дроблении и измельчении твердого вещества. Так, заряды зерна в дробилках достигают 10-11 кВ, а на вальцах 5—7 кВ. Знак заряда, приобретаемый пылью, зависит от диэлектрической постоянной пыли и того тела, о которое происходит трение. Величина заряда статического электричества зависит от скорости движения пыли (силы трения), степени дисперсности пыли, величины удельного электрического сопротивления ρ и от влажности пыли и воздуха. Чем больше скорость движения пыли и больше степень дисперсности, тем больше величина заряда статического электричества.

Пожаро- и взрывоопасные свойства пылей определяются концентрациями пылевоздушной смеси, наличием источника зажигания с энергией порядка нескольких МДж, размером пылинок и др. Для воспламенения аэровзвеси необходимо чтобы концентрация пыли в воздухе была не менее нижнего концентрационного предела воспламенения. Верхний концентрационный предел воспламенения пылевоздушной смеси в большинстве случаев является очень высоким и трудно достижимым (для торфяной пыли – 2200 г/м3, сахарной пудры – 13500 г/м3).

В зависимости от значения нижнего концентрационного предела воспламенения пыли подразделяются на взрывоопасные и пожароопасные. К взрывоопасным относятся пыли с нижним концентрационным пределом воспламенения до 65 г/м3 (пыль серы, сахара, муки), а к пожароопасным – пыли с нижним пределом воспламенения выше 65 г/м3 (табачная и древесная пыль).

По горючести пыли подразделяются на три группы — негорючие, трудногорючие и горючие.

 Горючие пыли, находящиеся во взвешенном состоянии, характеризуются следующими показателями пожаро- и взрывоопасности: нижним концентрационным пределом распространения пламени, минимальной энергией зажигания, максимальным давлением взрыва, скоростью нарастания давления при взрыве, минимальным взрывоопасным содержанием кислорода.

Для аэрогелей ГОСТом определены следующие показатели: температура воспламенения, температура самовоспламенения, температура самонагревания, температура тления, температурные условия теплового самовозгорания, минимальная энергия зажигания, способность гореть и взрываться при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами.

**ЛЕКЦИЯ №16** Теория горения аэровзвесей.

Аэровзвеси воспламеняются и горят аналогично газопаровоздушным смесям. Следовательно, их пожарная опасность характеризуется такими же показателями, как и газовоздушных смесей, т. е. КПРП, МЭЗ, МВСК и т. д.

Однако следует отметить, что от газовоздушных смесей аэровзвеси отличает одна существенная особенность, а именно: частички пыли склонны к слипанию и осаждению (коагуляции). Поэтому при равных условиях с газовоздушной смесью аэровзвесь имеет меньшую вероятность взрыва. Для воспламенения аэровзвеси потребуется более высокая энергия зажигания (на 2 порядка выше). Под воздействием ИЗ происходит воспламенение пыли в элементарном объеме, из которого образуется фронт пламени. Он распространяется по аэровзвеси с определенной скоростью, которая зависит от ряда факторов:

Тэ – эквивалентная температура излучения, К;

С0 – объемная теплоемкость аэрозоля, Дж/(м-К);

Тв – температура воспламенения частиц, К;

Т0 – начальная температура, К.

Из уравнения (5.3) следует, что скорость распространения фронта пламени:

1) возрастает с уменьшением С0 и с повышением Т0;

2) обратно пропорциональна диаметру частиц аэровзвеси;

3) давление при взрыве и скорость его нарастания уменьшаются с увеличением размера пылинок. А также при увеличении размера пылинок резко возрастает НКПРП и уменьшается скорость распространения фронта пламени.

Опытным путем установлено, что скорость распространения пламени зависит от концентрации пыли, минимальная скорость достигается при концентрации, намного большей стехиометрической. Это свидетельствует о несовершенстве процесса горения пыли. Сгорают наиболее мелкие частицы, а остальные не успевают размножиться и лишь обугливаются на поверхности;

4) скорость распространении пламени при горении пыли зависит от концентрации кислорода в воздухе. Максимальная скорость распространения пламени будет в чистом кислороде.

Характерной особенностью горения аэровзвеси является приближение параметров горения пыли в трубах или штольнях к режиму детонации.

Установлено, что при горении каменно-угольной пыли скорость распространение пламени равна 7 м/с, а скорость ударной волны – 38 м/с, скорость движения воздуха за ударной волной – 30 м/с, скорость сгоревших газов позади пламени – 5 м/с.

В условиях производства подобный механизм наблюдается при значительном отложении промышленной пыли, которая имеет высокую степень дисперсности. При небольшой локальной вспышке аэрогель быстро переходит во взвешенное состояние, что приводит к образованию вторичного, более сильного взрыва пыли. Взрывная ударная волна опережает фронт пламени, переводя во взвешенное состояние по пути движения все большее и большее количество пыли, подготавливая среду для распространения пламени. Взрывной эффект таким образом усиливается;

5) значительное изменение скорости распространения пламени для таких пылей, как угольная, торфяная, древесная, зависит от содержания в них летучих веществ и золы (негорючих компонентов). Увеличение летучих веществ и снижение количества золы приводит к увеличению скорости пламени.

**ЛЕКЦИЯ №17** Воспламенение твёрдых веществ.

При контакте твердых горючих веществ с нагретым до высокой температуры источником зажигания возникает теплообмен. В реальных условиях могут иметь место все три вида теплообмена: конвекция, излучение, кондукция. При этом, как правило, один из них является доминирующим. При воспламенении, например, от открытого пламени (горящая спичка, газовая горелка и т. п.) превалирует теплообмен конвекцией, нагретая спираль, не имеющая непосредственного контакта с горючим материалом, воспламеняет последний за счет лучистого тепла. Воспламенение от тлеющих частиц (искр) протекает, главным образом, за счет теплообмена теплопроводностью (кондукция).

Механизм воспламенения твердых материалов во многом сходен с воспламенением жидкости, однако имеет и ряд существенных отличительных особенностей. При воздействии теплового потока от высокотемпературного источника зажигания горючий материал нагревается, затем в некотором интервале температур (для веществ растительного происхождения 50-150°С) из него испаряется влага. После испарения влаги материал вновь нагревается как инертное тело до температуры начала разложения, которая для растительных материалов составляет 2500C. Процесс разложения сопровождается выделением в окружающую атмосферу летучих продуктов. Параллельно с этим протекает смешению летучих с окислителем и образование парогазовоздушной смеси. Если мощность источника зажигания достаточна, то при достижении горючими продуктами разложения концентрации, равной нижнему концентрационному пределу воспламенения, произойдет зажигание парогазовой смеси с появлением пламенного горения.

Если же по каким-либо причинам парогазовая смесь не воспламеняется, твердое тело будет нагреваться с выделением продуктов пиролиза. Если горючее вещество в процессе пиролиза образует углистый остаток (вещества растительного происхождения), то скорость термического распада по мере выхода летучих продуктов будет снижаться. При определенных условиях может возникнуть гетерогенное горение (тление) углистого слоя вследствие его взаимодействия с кислородом окружающей среды и с продуктами разложения твердой фазы.

В свою очередь, при благоприятных условиях, а именно: если концентрация парогазовой смеси будет находиться в области воспламенения, может произойти ее зажигание от раскаленного углистого слоя.

Таким образом, общая продолжительность процесса воспламенения складывается из стадий нагрева влажного материала, сушки, нагрева сухого материала, газификации и стадии нагрева углеродистого остатка в случае появления гетерогенного воспламенения.

Ориентировочные оценки показывают, что для материалов растительного происхождения наиболее продолжительными являются стадии сушки влажного и нагрева сухого материала, которые составляют соответственно 55% и 25% от общей продолжительности процесса воспламенения.

Одним из источников воспламенения, приводящим к возникновению пожара, является лучистый тепловой поток от тех или других высокотемпературных тел. С увеличением интенсивности излучения время воспламенения снижается.

В качестве источника зажигания выделяющихся продуктов пиролиза применялось диффузионное пламя бытового газа, находящееся на расстоянии

10-12мм от поверхности образца.

Зависимость времени появления пламенного горения от интенсивности излучения для различных пород древесины:

(2)

где τв – время воспламенения, с;

q - интенсивность теплового потока, кВт·м-2;

А, n - эмпирические контакты.

Значения параметров А, n показаны в таблице 2.

Таблица 2

Порода

древесины

Плотность,

кг·м-3

Значение параметров

Температура поверхности древесины в момент воспламенения, 0С

Из табл. 2 следует, что температура на поверхности древесины в момент воспламенения почти не зависит от породы древесины и несколько снижается с увеличением интенсивности излучения.

В отсутствие зажигающего пламени наступает гетерогенное воспламенение (тление) образующегося при пиролизе углистого слоя. Зависимость времени гетерогенного воспламенения сосны от интенсивности теплового потока может быть представлена в виде

(3)

где τг.в - время гетерогенного воспламенения древесины, с;

q - интенсивность теплового потока, под воздействие» которого происходит нагрев поверхности, кВт·м-2.

Температура гетерогенного воспламенения древесины непостоянна и зависит от интенсивности теплового потока. При воздействии потока интенсивностью 13 кВт·м-2 появление гетерогенного горения на поверхности древесины сосны наступает при 3800С при увеличении его значения до 20 кВт·м-2 при 430°С.

Появление гетерогенного горения вновь интенсифицирует процесс разложения материала, поскольку часть тепла, выделяющегося при гетерогенном горении угля, затрачивается на нагрев конденсированной фазы. Определено, что дополнительный тепловой поток от гетерогенного горения углистого слоя в среднем составляет 13 кВт·м-2. При дальнейшем разложении скорость выделения летучих начинает снижаться, так как возрастает толщина углистого слоя и, следовательно, увеличивается его термическое сопротивление. Это приводит к снижению скорости прогрева более глубоких слоев твердой фазы, что и вызывает замедление скорости пиролиза.

4. Механизм распространения пламени по поверхности твердых веществ. Анализ влияния условий горения на скорость распространения пламени

После воспламенения твердого материала в месте воздействия высокотемпературного источника происходит перемещение фронта пламени по его поверхности. Количественной характеристикой процесса распространения пламени по поверхности твердых веществ, как и в случае горения жидкостей, является линейная скорость распространения пламени, представляющая собой путь, пройденный фронтом пламени в единицу времени.

Процесс распространения пламени по поверхности твердых веществ протекает за счет передачи части тепла, выделяющегося в зоне пламени, к поверхности горящего материала. Передача тепла от факела пламени осуществляется за счет лучеиспускания, конвекции и теплопроводности. В зависимости от условий горения соотношение количеств тепла, поступающих этими видами теплопередачи, может быть различным. Это обстоятельство и является одной из главных причин зависимости скорости распространения пламени по поверхности твердых горючих материалов от условий горения.

Прогрев участков поверхности, расположенных перед фронтом пламени, за счет теплоподвода излучением, конвекцией и кондукцией приводит к разложению слоев твердого вещества с образованием летучих продуктов (рис.1). Выделяющиеся продукты пиролиза смешиваются с воздухом, образуя гомогенную кинетическую систему. При превышении концентрации горючих компонентов нижнего предела их воспламенения смесь воспламеняется от пламени и сгорает в кинетическом режиме. Таким образом, процесс распространения пламени по твердым материалам (как и по жидкостям) характеризуется двумя существенными признаками:

Рис.1. Схема распространения пламени по поверхности твердого материала: 1 – исходный образец; 2- зона диффузионного горения; 3 – зона кинетического пламени; 4 – зона газификации твердого материала; 5 – зона газообразных продуктов разложения; 6 – зона разложения твердого материала перед фронтом пламени; 7 – продукты горения.

скорость перемещения пламени равна скорости образования горючей (выше нижнего концентрационного предела воспламенения) смеси над поверхностью материала;

горение на передней кромке пламени (носике) всегда протекает в кинетическом режиме, т. е. горит предварительно перемешанная смесь горючего и окислителя.

По мнению большинства исследователей, условия теплообмена между носиком пламени и поверхностью твердого материала в основном и определяет скорость распространения пламени по горизонтальным и вертикальным (сверху вниз) образцам.

Следует отметать, что до настоящего времени нет четких и однозначных представлений об относительном влиянии излучения, конвекции и кондукции на величину скорости распространения пламени по твердым материалам. Приводятся данные, согласно которым при горении горизонтального слоя сосновой хвои доля излучения составляет около 24% от общего потока тепла, поступающего на поверхность материала.

На основании принципиальных представлений о механизме распространения пламени по поверхности твердых веществ и материалов рассмотрим влияние некоторых условий горения на скорость процесса.

**ЛЕКЦИЯ №18** Особенности горения полимерных материалов.

Важным фактором, сдерживающим внедрение полимерных материалов, является их пожарная опасность, обусловленная горючестью и сопутствующими процессами. Пожарная опасность материалов и изделий из них определяется в технике следующими характеристиками: 1) горючестью, то есть способностью материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения; 2) дымовыделением при горении и воздействии пламени; 3) токсичностью продуктов горения и пиролиза разложения вещества под действием высоких температур; 4) огнестойкостью конструкции, то есть способностью сохранять физико механические (прочность, жесткость) и функциональные свойства изделия при воздействии пламени. В свою очередь, горючесть это комплексная характеристика материала или конструкции. Она включает следующие величины: 1) температуру воспламенения или самовоспламенения; 2) скорости выгорания и распространения пламени по поверхности; 3) предельные параметры, характеризующие условия, при которых возможен самоподдерживающийся процесс горения, например состав атмосферы (кислородный индекс) или температура (температурный индекс).

Перечисленные выше характеристики пожарной опасности и горючести часто являются противоречивыми и улучшение одного из свойств может сопровождаться ухудшением других. Кроме того, введение добавок, снижающих пожарную опасность полимерных материалов, обычно приводит к некоторому ухудшению физико механических, диэлектрических и других эксплуатационных и технологических свойств, а также повышению стоимости материала. Поэтому снижение пожарной опасности полимерных материалов является задачей по оптимизации комплекса характеристик создаваемого материала.

Горение полимеров представляет собой очень сложный физико химический процесс (схема выше), включающий как химические реакции деструкции, сшивания и карбонизации полимера в конденсированной фазе (а также химические реакции превращения и окисления газовых продуктов), так и физические процессы интенсивных тепло и массопередачи. Реакции в конденсированной фазе фактически приводят к двум основным типам продуктов: 1) газообразным веществам (горючим и негорючим) и 2) твердым продуктам (углеродсодержащим и минеральным). При протекании реакции в газовой фазе в предпламенной области образуются топливо для пламени, сажа и пр.

Особенностью химии пламени является сложное пространственное распределение температуры и концентраций исходных и промежуточных веществ и продуктов, а также для большинства полимеров и КМ наличие огромного числа разнообразных продуктов деструкции как в конденсированной, так и в газовой, предпламенной области. Все это чрезвычайно затрудняет экспериментальные исследования и создание строгих количественных теорий процессов горения полимеров, которые бы учитывали все химические и другие особенности конкретных систем. Тем не менее, для горения большинства полимерных материалов характерны некоторые общие качественные закономерности.

Процессы горения полимеров делятся на обычное газовое и гетерогенное горение, или тление (схема выше). В первом случае большая часть тепла, ответственного за поддержание самостоятельного химического превращения, выделяется в газовой фазе при окислении газообразных продуктов деструкции полимера. При этом область максимальной скорости выделения тепла (газовое пламя) обычно отстоит от поверхности на расстояние порядка миллиметров и более в зависимости от конкретных условий горения. Поверхность полимера в таком случае оказывается значительно холоднее области газового пламени. Температуры поверхности составляют 400 650 0С, а максимальные температуры в газовой фазе достигают 1100 12000С и более. При тлении же все тепло выделяется, главным образом, в поверхностном слое конденсированной фазы, где и наблюдаются максимальные температуры (800 9000С).

При горении полимерных материалов окислителем является кислород воздуха, а горючим водород и углеродсодержащие газообразные продукты деструкции полимера, которые в результате окисления превращаются в воду и углекислый газ или при неполном окислении в угарный газ (СО). Потоки горючего и окислителя в этом случае пространственно разделены, и химическая реакция их взаимодействия обычно лимитируется подачей реагентов к пламени диффузией или конвекцией. При горении полимеров наблюдаются критические явления, характерные вообще для процессов горения. Снижение температуры пламени по тем или иным причинам приводит к скачкообразному переходу от одного режима окисления горения к другому очень медленному окислению. Эти режимы различаются между собой по скоростям на многие порядки.

92

Экспериментальный метод оценки горючести полимеров впервые предложил английский ученый Мартин. Образец в форме длинных брусков или цилиндров диаметром около 10 мм помещают в вертикальную трубу, в которую снизу подают кислород и азот в различном соотношении. Образец поджигают сверху газовой горелкой, после чего горелку убирают, и образец либо продолжает самостоятельно гореть, либо быстро затухает. Такие опыты проводят при различном составе газовой атмосферы, то есть различном соотношении кислорода и азота. Критическая концентрация кислорода в смеси (об.%), выше которой самостоятельное горение возможно, а ниже нет, называется кислородным индексом (КИ) и характеризует горючесть данного материала. Физическая суть метода заключается в том, что при уменьшении концентрации кислорода растет расход тепла на нагрев инертного газа азота, уменьшается температура пламени и достигаются критические условия горения. В настоящее время этот метод широко используется экспериментаторами во всем мире.

Анализ процесса горения, приведенный на схемах выше, позволяет понять и возможные пути снижения горючести полимерного материала. Следует отметить, что в большинстве случаев невозможно добиться того, чтобы органический полимер стал абсолютно негорючим материалом и не сгорал в интенсивном огне (пожаре). Однако большинство пожаров возникает от малокалорийных источников тепла и огня сигарет, спичек, свечей, короткого замыкания. Поэтому очень важно понизить горючесть полимера, чтобы он медленнее загорался, медленнее распространялось пламя, а для загорания требовались бы более жесткие условия (более высокие значения температур, потока энергии и т.д.).

**ЛЕКЦИЯ №19** Предельные явления при горении.

Предельными параметрами процесса горения (пределами горения) называют параметры, без достижения которых процесс горения возникнуть или существовать не может.

Пределов горения различают достаточно много. Большинство из них были рассмотрены ранее: КПРП, ТПРП, МЭЗ, МВСК и др.

Наиболее важными пределами горения являются те, которые доступны нашему влиянию. На использовании пределов горения основаны все способы предотвращения и прекращения горения.

Рассмотрим некоторые из пределов горения и их применение для предотвращения и прекращения горения.

Концентрационные пределы процессов горения. К ним относят: КПРП; пределы по негорючим газам (флегматизаторам); пределы по кислороду – МВСК. Рассмотрим эти пределы горения подробнее.

Как было изучено ранее, концентрационные пределы распространения пламени – минимальное или максимальное содержание горючих паров в смеси с окислителем, при котором пламя будет распространяться по смеси на любое расстояние от ИЗ. Пример для метана: НКПРП – 5 %, ВКПРП – 14 %. Вне этих пределов, т. е. при концентрации метана менее 5 % и более 14 %, горение при обычных условиях не происходит. С учетом этого, для предотвращения пожара контролируют с помощью газоанализаторов концентрацию горючих газов и паров и не допускают, чтобы она достигла НКПРП. Таким образом, предотвращают пожары, например, при ремонте резервуаров горючих жидкостей с применением газоэлектросварки, а также в газовых котельных, помещениях заправки бытовых газовых баллонов и т. д.

Необходимо напомнить, что значения КПРП, как и других пределов горения, не постоянны. Они изменяются в зависимости от мощности источника зажигания, состава воздуха и других факторов. Это необходимо учитывать при обеспечении пожарной безопасности.

К концентрационным пределам горения можно отнести и предельные концентрации негорючих газов (иначе – нейтральных газов, инертных разбавителей, флегматизаторов). Для тушения пожаров с помощью автоматических установок пожаротушения, огнетушителей и предотвращения пожаров методом флегматизации используются следующие нейтральные газы: диоксид углерода СО2, водяной пар, реже азот N2, аргон Аг, гелий Не и др. Например, для предотвращения взрыва продуктов разложения самовозгоревшегося зерна на хлебокомбинатах применяют такой метод, как заполнение объема бункера одним из вышеперечисленных флегматизаторов. Причем их концентрация должна быть не ниже огнетушащей. Для разных горючих веществ огнетушащие концентрации нейтральных газов составляют: СО2 – туш  25-30 %; Н2О(пар) – туш 30-35 %; N2, He – туш  35-40 %; Аг – туш 50- 55 %.

Отметим, что разная огнетушащая концентрация негорючих газов связана со свойствами, которые подробно будут рассмотрены далее.

К пределам горения относят также и МВСК (концентрация кислорода в горючей смеси, ниже которой воспламенение и горение смеси становится невозможным). Известно, что гомогенное горение прекращается при концепции кислорода 12-15 %, гетерогенное горение – 5-6 % (напомним, что в атмосферном воздухе содержится порядка 21 % кислорода). Ранее такой способ прекращения горения широко применялся на судах: при возникновении горения задраивались все люки и иллюминаторы, и горение через некоторое время прекращалось. Отметим, что такой способ прекращения горения будет неэффективным для веществ, содержащих в своем составе кислород (лен, хлопок, сено, вага, и т. д.).

Предельные энергии зажигания (Еmin). Предельной энергией зажигания Еmin называют наименьшее значение энергии электрического разряда, способное воспламенить наиболее легко-воспламеняющуюся смесь газа, пара или пыли.

Известно, что ИЗ имеют различную мощность. Так, мощность искры меньше мощности открытого пламени. ИЗ в виде искры легко воспламеняет горючий газ, но не в силах воспламенить в обычных условиях, например, древесину. Понятно, что, чем меньше мощность ИЗ, тем меньше пожарная опасность. Известна предельная величина мощности электрической искры, которая не может зажечь, в частности, углеводороды: Еmin = 0,1 МДж. Значение предельной энергии зажигания Еmin – непостоянно, оно изменяется при изменении давления, состава воздуха и др. Например, чем выше давление, тем меньшая мощность ИЗ необходима для того, чтобы зажечь вещество и наоборот.

Предельные значения энергии зажигания используются при предотвращении пожара, например, в ПВО помещениях, где содержатся горючие газы, путем замены обычной электросети, имеющей достаточно высокую мощность возможного источника зажигания, на низковольтную.

Пределы по давлению. Известно, что скорость химической реакции горения прямо пропорциональна количеству соударения молекул реагентов. При уменьшении давления количество соударений молекул уменьшается, следовательно, уменьшается и скорость химической реакции горения. Чем меньше давление, тем труднее протекает процесс горения, тем меньше пожарная опасность. При определенном значении давления горение становится невозможным. Так, предел по давлению для большинства органических веществ составляет порядка Рпр = 1кПа ≈ 0,01 атм. В то же время, уже при давлении Р = 10 кПа (0,1 атм) большинство веществ становится трудновоспламеняющимися. При давлении Р = 50 кПа значительно снижается интенсивность горения всех горючих веществ. С другой стороны, чем выше давление – тем выше пожарная опасность, процесс горения протекает легче. Повышение давления используется в различных технологических процессах для улучшения сгорания используемого топлива.

Предельные скорости распространения пламени. Еще в начале ХХ в. профессор Московского университета Михельсон доказал, что горение не может существовать не распространяясь. Встречаются такие минимальные скорости, медленнее которых пламя существовать не может. Для углеводородных газов минимально возможная скорость пламени – Vпpnл = 0,02 - 0,04 м/с. Для сравнения напомним, что обычная скорость пламени по газовоздушным смесям Vпл = 0,4-100 м/с, скорость турбулентного пламени – 300-400 м/с; скорость детонационного горения – до 2-3 км/с.

Для жидкостей и твердых веществ нижний предел по скорости горения близок к нулю – 3-5 г/м2с, верхний – для жидкостей 0,05-0,1 кг/м2с (до 100 г/м2с), для твердых веществ – 0,015 - 0,02 кг/м2с (до 20 г/м2с).

Необходимо добавить, что горение прекратится также и тогда, когда скорость газовоздушной смеси станет выше предельного значения скорости распространения турбулентного пламени, то есть когда см  турбраспр. В этом случае говорят, что горение прекратилось вcлeдcтвие аэродинамического срыва пламени.

Пределы по теплоте горения. Теплота горения газовоздушных смесей органических веществ лежит в пределах Qн = 10-100 тыс. кДж/кг. Горючие вещества не имеют значений теплоты горения ниже Qnp. = 1083 кДж/м3 для газов, Qпр = 2095 кДж/кг для жидкостей.

Предел по температуре пламени. Теоретическая температура пламени tпл. достигает для разных веществ 1700-2200 0С. На пожаре температура пламени существенно ниже из-за потерь тепла и составляет 1100-1500 0С. Существует критическая температура пламени (температура потухания), ниже которой протекание реакций высокотемпературного окисления в пламени невозможно – tпл.noт = 1000 0C. Верхние пределы температуры пламени составляют: для газов – 1900-2100 0С; горючих жидкостей – 1800-1900 0С; твердых веществ – 1700-1800 0С (кроме пороха, магния Mg, других металлов, у которых tnл. = 2800 0С).

**ЛЕКЦИЯ №20** Механизм огнетушащего действия.

В последние годы в практике тушения пожаров все более широкое применение находят порошковые огнетушащие составы (ПОС). Это обусловлено тем, что порошковые составы могут применяться для тушения практически всех видов пожаров в различных отраслях промышленности и на транспорте.

ПОС чаще всего представляют собой тонкодисперсные порошки негорючих твердых веществ, основной составной частью которых являются аммонийные соли и соли металлов. Для повышения огнетушащей способности и улучшения эксплуатационных свойств в их состав вводят стеараты металлов, стеариновую кислоту, тальк, флюсы, аэросил, нефелиновый концентрат, триалкилфосфаты, силиконовые смолы, асбест, графит и т.д.

По своему назначению порошковые огнетушащие составы условно делятся на составы общего назначения и составы специального назначения (табл. 2.1, 2.2).

Порошковые составы общего назначения рекомендуется использовать для тушения пожаров классов А, В, С, Е.

Порошковые составы специального назначения рекомендуются для тушения пожаров класса Д и других, связанных с горением легких и щелочных металлов и их сплавов

Достоинствами порошковых огнетушащих составов являются их универсальность, высокая огнетушащая эффективность, возможность применения при отрицательных температурах, отсутствие токсичности, относительная долговечность, способность тушения электрооборудования, находящегося под напряжением до 1000 В.

Основной недостаток ПОС заключается в их гидрофильности, склонности к увлажнению, слеживанию и комкованию.

В странах СНГ наиболее широкое применение получили порошковые составы на основе бикарбоната натрия и фосфатов аммония.

Огнетушащая эффективность солей возрастает в следующем порядке:

NaHCO3<NaF<Na2C2O4<Na2CO3 <K2CO3<KCl<K2Cr2O7<NaCl<K2C2O4×H2O.

Видно, что наиболее эффективными ингибиторами горения являются оксалат калия и хлориды щелочных металлов. Особенно высокой эффективностью обладает оксалат, что обусловлено его способностью к растрескиванию и увеличению тем самым суммарной площади поверхности в единице объема. Кроме того, при сильном нагревании происходит частичное его испарение, что сопровождается гомогенным ингибированием процессов, имеющих место в пламени.

Наиболее перспективными для создания новых эффективных ПОС представляются хлориды вследствие их низкой токсичности и широкой распространенности.

В целом, можно отметить, что эффективность солей повышается с увеличением атомного веса их катиона. Анион соли здесь также вносит свой вклад. Чем легче протекает процесс разложения соли, тем, как правило, выше ее огнетушащая эффективность. Поэтому наибольшее распространение получили соли угольной, щавелевой, фосфорной и винной кислот

Механизм огнетушащего действия ПОС до конца не изучен. Их относят к изолирующим огнетушащим средствам. Но это не в полной мере отражает процессы, происходящие в пламени при использовании порошковых составов. Здесь необходимо учитывать следующие составляющие сложного механизма тушения:

1 - простое физическое разбавление реагентов в зоне химических реакций. На это указывает эффект повышения эффективности тушения ПОС общего назначения при увеличении их дисперсности;

2 - охлаждение зоны реакций вследствие поглощения тепла частицами малой массы с большой суммарной теплоемкостью и тепловоспринимающей поверхностью;

3 - эффект "холодной стенки", достигаемый при прохождении пламени через узкие каналы, как бы создаваемые порошковым облаком;

4 - гетерогенное ингибирование, если поверхность твердых частиц химически активна по отношению к радикалам зоны химических реакций в пламени;

5 - охлаждение зоны реакций вследствие протекания эндотермического процесса разложения солей;

6 - разбавление реагирующих компонентов выделяющимися при разложении солей газами и парами;

7 - гомогенное ингибирование, если испарившиеся при введении в зону горения порошков продукты являются химически активными ингибиторами;

8 - экранирующее действие неразложившихся в зоне реакций и покрывающих горючие материалы твердых частиц;

9 - изолирующее действие оседающих частиц, препятствующее доступу воздуха в зону пиролиза горючих материалов и выходу горючих компонентов в зону горения;

10 - образование на поверхности горящего материала полимерной пленки полифосфатов и, соответственно, ее экранирующее и изолирующее действие (в случае использования ПОС на основе фосфатов аммония

**ЛЕКЦИЯ №21** Основные параметры прекращения горения.

Основные явления, сопровождающие пожар, - это процессы горения, газо- и теплообмена. Они изменяются во времени, пространстве и характеризуются параметрами пожара. Пожар рассматривается как открытая термодинамическая система, обменивающаяся с окружающей средой веществами и энергией.

Рассмотрим процессы, протекающие на пожаре, и параметры, их характеризующие.

Процесс горения на пожаре горючих веществ и материалов представляет собой быстро протекающие химические реакции окисления и физические явления, без которых горение невозможно, сопровождающиеся выделением тепла и свечением раскаленных продуктов горения с образованием ламинарного или турбулентного диффузионного пламени.

Основными условиями горения являются (классический треугольник горения):

наличие горючего вещества;

поступление окислителя в зону химических реакций;

непрерывное выделение тепла, необходимого для поддержания горения.

Возникновение и распространение процесса горения по веществам и материалам происходит не сразу, а постепенно. Источник горения воздействует на горючее вещество, вызывает его нагревание, при этом в большей мере нагревается поверхностный слой, происходит активация поверхности, деструкция и испарение вещества, материала вследствие термических и физических процессов, образование аэрозольных смесей, состоящих из газообразных продуктов реакции и твердых частиц исходного вещества. Образовавшиеся газообразные продукты способны к дальнейшему экзотермическому превращению, а развитая поверхность прогретых твердых частиц горючего материала способствует интенсивности процесса его разложения.

Концентрация паров, газообразных продуктов деструкции испарения (для жидкостей) достигает критических значений, происходит воспламенение газообразных продуктов и твердых частиц вещества, материала. Горение этих продуктов приводит к выделению тепла, повышению температуры поверхности и увеличению концентрации горючих продуктов термического разложения станет не меньше скорости их окисления в зоне химической реакции горения. Тогда под воздействием тепла, выделяющегося в зоне горения, происходит разогрев, деструкция, испарение и воспламенение следующих участков горючих веществ и материалов.

Способы прекращения горения Приемы прекращения горения

Охлаждение зоны реакции или горящих веществ 1. Охлаждение горящих материалов нанесением на их поверхность огнетушащих веществ (воды, твердой углекислоты, растворов жидкостей). 2. Охлаждение горючих материалов их перемешиванием. 3. Разборка горящих материалов с последующим охлаждением их огнетушащими веществами.

Разбавление реагирующих веществ в зоне реакции негорючими веществами 1. Разбавление воздуха введением в него негорючих паров и газов (углекислый газ, азот, водяной пар, тонкораспыленная вода, отработанные газы двигателей). 2. Разбавление горящих материалов нанесением на их поверхность легкоиспаряющихся или разлагающихся негорючих материалов (тонкораспыленная вода, углекислота).

Изолирование реагирующих веществ от зоны горения 1. Создание изолирующего слоя в горючих материалах нанесением на их поверхность огнетушащих веществ (пена, войлок, песок, земля, флюсы) 2. Создание изолирующего слоя в горючих материалах при помощи взрыва ВВ. 3. Создание изолирующего слоя в проемах помещений, где происходит пожар (водяные завесы перемычки).

4. Создание изолирующего слоя в горючих материалах разборкой, сжиганием, опашкой их.

5. Срыв пламени.

6. Создание условий огнепреграждения.

Химическое торможение реакции горения 1. Подача ингибитов на поверхность горящих материалов (фреоны, порошки) 2. Введение ингибиторов в воздух поступающий в зону горения (тонко распыленная эмульсия бромэтиловых составов)

Классификация огнетушащих веществ, способов и приемов прекращения горения

Под огнетушащими веществами в пожарной тактике понимаются такие вещества, которые непосредственно воздействуют на процесс горения и создают условия для его прекращения (вода, пена, порошки и др.).

По основному (доминирующему) признаку прекращения горения тушащие вещества подразделяются на:

• охлаждающего действия (вода, твердый диоксид углерода и др.);

• разбавляющего действия (негорючие газы, водяной пар, тонкораспыленная вода и т.п.);

• изолирующего действия (воздушно-механическая пена различной кратности, сыпучие негорючие материалы и пр.);

• ингибирующего действия (галоидированные углеводороды: бромистый метилен, бромистый этил, тетрафтордибромэтан, огнетушащие составы на их основе и др.).

Однако следует отметить, что все огнетушащие вещества, поступая в зону горения, прекращают горение комплексно, а не избирательно, т.е. вода, являясь огнетушащим веществом охлаждения, попадая на поверхность горящего материала, частично будет действовать как вещество разбавляющего и изолирующего действия.

Охлаждающие огнетушащие вещества. Для охлаждения горящих материалов применяются жидкости, обладающие теплоемкостью. Для большинства горючих материалов применяется вода.

Попадая в зону горения, вода отнимает от горящих материалов и продуктов горения большое количество тепла. При этом она частично испаряется и превращается в пар, увеличиваясь в объеме в 1700 раз (из 1 л воды при испарении образуется 1700 л пара), благодаря чему происходит разбавление реагирующих веществ, что само по себе способствует прекращению горения, а также вытеснению воздуха из зоны пожара.

Вода обладает высокой термической стойкостью. Ее пары только при температуре свыше 1700 °С могут разлагаться на кислород и водород, усложняя тем самым обстановку в зоне горения. Большинство же горючих материалов горит при температуре, не превышающей 1300 – 1500 °С и тушение их водой не опасно. Однако металлические магний, цинк, алюминий, титан и его сплавы, при горении создают в зоне горения температуру, превышающую термическую стойкость воды. Тушение их водой недопустимо.

Вода имеет низкую теплопроводность, что способствует созданию на поверхности горящего материала надежной тепловой изоляции. Это свойство в сочетании с предыдущими позволяет использовать ее не только для тушения, но и для защиты материалов от воспламенения.

Малая вязкость и несжимаемость воды позволяет подавать ее по рукавам на значительные расстояния и под большим давлением.

Пары воды способны растворять некоторые горючие пары, газы и поглощать аэрозоли. Распыленной водой можно осаждать продукты горения на пожарах в зданиях. Для этих целей применяют распыленные и тонкораспыленные струи.

Некоторые горючие жидкости (жидкие спирты, альдегиды, органические кислоты и др.) растворимы в воде, поэтому, смешиваясь с водой, они образуют негорючие или менее горючие растворы.

Наряду с этим у воды имеются и отрицательные свойства. Основной недостаток у воды как огнетушащего вещества заключается в том, что из-за высокого поверхностного натяжения (72,8 10-3 Дж/м2) она плохо смачивает твердые материалы и особенно волокнистые вещества.

Для устранения этого недостатка к воде добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), или, как их еще называют - смачиватели. На практике используют растворы ПАВ, поверхностное натяжение которых в 2 раза меньше, чем у воды.

Применение растворов смачиваетелей позволяет уменьшить расход воды при тушении пожаров на 35-50%; снизить время тушения на 20-30%, что обеспечивает тушение одним и тем же объемом огнетушащего вещества на большой площади.

Изолирующие огнетушащие вещества. Создание между зоной горения и горючим материалом или воздухом изолирующего слоя из огнетушащих веществ и материалов - распространенный способ тушения пожаров, применяемый пожарными подразделениями. При его реализации применяются самые разнообразные огнетушащие средства, способные на некоторое время изолировать доступ в зону горения либо кислорода воздуха, либо горючих паров и газов.

В практике пожаротушения для этих целей широкое применение нашли:

жидкие огнетушащие вещества (пена, в некоторых случаях вода и пр.);

газообразные огнетушащие вещества (продукты взрыва и т.д.);

негорючие сыпучие материалы (песок, тальк, флюсы, огнетушащие порошки и т.д.);

твердые тканевые материалы (асбестовые, войлочные покрывала и другие негорючие ткани, в некоторых случаях листовое железо).

Разбавляющие огнетушащие вещества. Для прекращения горения разбавлением реагирующих веществ, применяются такие огнетушащие средства, которые способны разбавить либо горючие пары и газы до негорючих концентраций, либо снизить содержание кислорода воздуха до концентрации, не поддерживающей горения.

Приемы прекращения горения заключаются в том, что огнетушащие средства подаются либо в зону горения или в горящее вещество, либо в воздух, поступающий в зоне горения.

Наибольшее распространение они нашли в стационарных установках пожаротушения для относительно замкнутых помещений (трюмы судов, сушильные камеры на промпредприятиях и т.д.), а также для тушения горючих жидкостей, пролитых на земле на небольшой площади. Кроме того, разбавление спиртов до 70 % водой - необходимое условие для успешного тушения их в резервуарах воздушно-механической пеной.

Практика показывает, что в качестве разбавляющих огнетушащих средств наибольшее распространение нашли диоксид углерода (углекислый газ), азот, водяной пар и распыленная вода. В гарнизонах, имеющих на вооружении автомобили газоводяного тушения (АГВТ), для целей разбавления концентрации кислорода воздуха, поступающего к зоне горения, возможной использование газоводяной смеси.

При определенной концентрации разбавляющих огнетушащих веществ в воздухе помещения температура горения снижается и становится меньше, чем температура потухания, горение прекращается.

Практика и опыт тушения пожаров показывают, что пламенное горение большинства горючих материалов прекращается при снижении концентрации кислорода в воздухе помещения до 14 – 16 %.

Углекислый газ применяется для тушения пожаров электрооборудования электроустановок, в библиотеках, книгохранилищах и архивах и т.п. Однако им категорически запрещено тушение щелочных и щелочноземельных металлов.

Азот, главным образом, применяется в стационарных установках пожаротушения для тушения натрия, калия, бериллия и кальция. Для тушения магния, лития, алюминия, циркония применяют аргон, а не азот. Диоксид углерода и азот хорошо тушат вещества, горящие пламенем (жидкости и газы), плохо тушат вещества и материалы, способные тлеть (древесина, бумага).

К недостаткам диоксида углерода и азота как огнетушащих веществ следует отнести их высокие огнетушащие концентрации и отсутствие охлаждающего эффекта при тушении.

Водяной пар нашел широкое применение в стационарных установках тушения в помещениях с ограниченным количеством проемов, объемом до 500 м3 (сушильные и окрасочные камеры, трюмы судов, насосные по перекачке нефтепродуктов и т.п.), на технологических установках для наружного пожаротушения, на объектах химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Тонкораспыленная вода (диаметр капель меньше 100 мк) - для получения ее применяют насосы. Создающие давление свыше 2 - 3 МПа (20 - 30 атм) и специальные стволы-распылители.

Попадая в зону горения, тонкораспыленная вода интенсивно испаряется, снижая концентрацию кислорода и разбавляя горючие пары и газы, участвующие в горении. Об эффективности применения тонкораспыленной воды для целей пожаротушения свидетельствуют опыты, проведенные на морских судах, где установлено, что после четырехминутной работы одного ствола высокого давления температура в помещениях кают снижалась с 700 до 100°С, содержание аэрозоля в дыму уменьшалось в 3 раза, увеличивалась освещенность предметов источником света, резко снижалось содержание оксида углерода за счет поглощения водой.

Огнетушащие вещества химического торможения. Сущность прекращения горения химическим торможением реакции горения заключается в том, что в воздух горящего помещения или непосредственно в зону горения вводятся такие огнетушащие вещества, которые вступают во взаимодействие с активными центрами реакции окисления, образуя с ними либо негорючие, либо менее активные соединения, обрывая тем самым цепную реакцию горения. Поскольку эти вещества оказывают воздействие непосредственно на зону реакции, в которой реагирующие вещества находятся в паровоздушной фазе, они должны отвечать следующим специфическим требованиям:

• иметь низкую температуру кипения, чтобы при малых температурах разлагаться, легко переходить в парообразное состояние;

• иметь низкую термическую стойкость, т.е. при малых температурах разлагаться на составляющие их атомы и радикалы;

• продукты термического распада огнетушащих веществ должны активно вступать в реакцию с активными центрами.

Этим требованиям отвечают галоидированные углеводороды — особо активные вещества, оказывающие ингибирующее действие, т.е. тормозящие химическую реакцию горения. Однако в отношении этих веществ следует напомнить общие требования к огнетушащим веществам и особенно на такое, как токсичность. Наиболее широкое применение нашли составы на основе брома и фтора. Галоидированные углеводороды и огнетушащие составы на их основе имеют высокую огнетушащую способность при сравнительно небольших расходах.

**ЛЕКЦИЯ №22** Определение показателей тушения.

В качестве расчетного параметра пожара могут применяться площадь пожара, площадь тушения, периметр пожара, фронт пожара, объем зоны горения.

Следовательно, интенсивность подачи огнетушащего вещества может быть поверхностная, линейная и объемная.

Поверхностной интенсивностью подачи огнетушащего вещества называется количество огнетушащего средства, подаваемого в единицу времени на единицу площади пожара или площади тушения.

IтрS = Qтр/ (τр ·Sп), л/(c · м2) (8)

Iф s= Qф/ (τт ·Sт) (9)

Sп > Sт

I ф> Iтр

где: Sп – площадь пожара, м2;

Sт – площадь тушения, м2.

Линейной интенсивностью подачи огнетушащего вещества называется количество огнетушащего средства, подаваемое в единицу времени на единицу периметра или фронта пожара.

Iтрр = Qтр/ (τр · Рп), л/(c · м) (10)

Iфр= Qф / (τт · Фп), л/(c · м) (11)

Рп > Фп

где: Рп – периметр пожара, м;

Фп – фронт пожара, м.

Линейная интенсивность подачи не является обязательным показателем в расчете сил и средств для тушения пожара, т.к. во всех случаях подача и действие огнетушащих средств осуществляется по площади пожара или тушения. Однако линейная интенсивность в расчетах не исключается.

При необходимости, если известна поверхностная интенсивность подачи огнетушащего вещества, то линейную интенсивность подачи огнетушащего вещества можно определить из следующего соотношения:

Iтрр = Iтрs· hт, л/(с · м) (12)

Объемной интенсивностью называется количество огнетушащего средства, подаваемое в единицу времени на единицу объема зоны горения или горящего помещения.

Iтрv = Qтр/ (τр · Vп), л/(с · м3), м3/(с · м3) (13)

Iфv = Qф / (τт · Vп), л/(с · м3), м3/(с · м3) (14)

где: Vп – объем зоны горения или объем горящего помещения, м3.

Объемная интенсивность подачи является основным показателем в расчете сил и средств тушения пожаров воздушно-механической пеной, инертными газами, водяным паром, галоидоуглеводородами и составами на их основе.

В практических расчетах часто возникает необходимость определить интенсивность подачи огнетушащего вещества на защиту различных объектов, но в справочной литературе перечень объектов ограничен, рассматриваются лишь интенсивности подачи воды на охлаждение наземных резервуаров с нефтепродуктами, металлических поверхностей трансформаторов, масляных выключателей на электростанциях и подстанциях, защита дыхательной арматуры и коммуникаций подземных резервуаров с нефтепродуктами, орошение противопожарного занавеса в театрально-зрелищных учреждениях.

При необходимости интенсивность подачи огнетушащего вещества на защиту определяется из соотношения:

Iтрз = 0,25·Iтрт (15)

Интенсивность подачи огнетушащего вещества находится в функциональной зависимости от времени тушения пожара. Чем больше расчетное время тушения пожара, тем меньше расчетная интенсивность подачи огнетушащих веществ, и наоборот. Область интенсивности подачи от нижнего до верхнего пределов называется областью тушения. Все интенсивности, лежащие в этой области, могут применяться для тушения. Это дает возможность РТП широко маневрировать имеющимися в его распоряжении силами и средствами. РТП должен учитывать и тот факт, что на интенсивность подачи огнетушащих веществ оказывает влияние расположение пожарной нагрузки по высоте помещения.

В практике пожаротушения целесообразно использовать такие интенсивности подачи огнетушащих веществ, которые могут быть реализованы существующими техническими средствами подачи и обеспечивать эффективность тушения с минимальными расходами огнетушащих веществ и за оптимальное время.

**ЛЕКЦИЯ №23** Показатели определения пожарной опасности.

Пирогенная ситуация в лесу обусловлена влажностью лесных горючих материалов (ЛГМ). Изучая природу лесных пожаров, исследователи нашли связь между метеорологическими факторами и способностью ЛГМ воспламеняться. Эта связь в 1941 г. была выражена В. Г. Нестеровым через комплексный показатель. В настоящее время шкала В. Г. Нестерова в усовершенствованном виде применяется для определения пожарной опасности в лесу (табл. 1.1). Показатель пожарной опасности (класс пожарной опасности – КПО) в лесу по условиям погоды определяется ежедневно на 13 часов местного времени как сумма произведения температуры воздуха t° на разность температуры t° и точки росы τ за число дней без дождя:

КПО = , (1.1)

где n – количество дней после дождя;

τ – точка росы для этой температуры воздуха, градусы;

t° – температура воздуха на 13 ч.

В уравнении (1.1) выражение в квадратных скобках часто называют комплексным числом (Кч). Для его определения составлена специальная таблица (прил. 1).Точка росы непосредственно не измеряется. Ее находят по показаниям сухого и смоченного термометров (на метеостанциях они находятся в психрометрической будке на высоте 2 м). Она всегда ниже температуры сухого термометра. Например, найти точку росы, если температура воздуха по сухому термометру равна 21 °С, а по смоченному – 16 °С. В прил. 2 этим значениям термометров соответствует температура воздуха 12,1 °С. Эта величина говорит о том, что если температура воздуха опустится до 12,1 °С, то выпадет роса Порядок вычисления КПО показан на примере данных метеостанции, полученных на 9 ч. утра по количеству осадков и на 13 ч. – по температуре воздуха сухого и смоченного термометров

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ.**

**Практическая работа № !** Расчёт материального баланса процессов горения.

**Время.** 2 часа.

**Цель занятия.** Освоить методику расчётов для определения материального баланса процессов горения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методикой выполнения расчёта.
2. Выбрать свой вариант задания по таблице (см. стр. 10-11 учебника.)
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Рассчитать материальный баланс процесса горения.
5. Сделать заключение о произведённых расчётах.
6. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение:** учебное пособие «Теория горения и взрыва»; конспекты.

**Практическая работа № 2.** Расчёт теплового баланса горения.

**Время.** 2 часа**.**

**Цель работы.** Освоить методику расчётов для определения теплового баланса горения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методикой выполнения расчёта.
2. Выбрать свой вариант задания по таблице (см. с.14 учебника)
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Рассчитать тепловой баланс горения.
5. Сделать заключение по произведённым расчётам.
6. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория и взрыва», конспекты.

**Практическая работа № 3** Расчёт температуры и времени самовоспламенения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчёта температуры и времени самовоспламенения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методикой выполнения расчёта.
2. Выписать из таблицы исходные данные.
3. Рассчитать температуру и время самовоспламенения
4. Сделать заключение о произведённых расчётах.
5. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва». Конспекты.

**Практическая работа № 4.** Взрывы. Типы взрывов.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Изучить на практике какие бывают взрывы и их типы.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения практической работы.
3. В специально отведённом месте со строгим соблюдением мер безопасности произвести подрыв небольшого количества пороха.
4. В специально отведённом месте со строгим соблюдением мер безопасности произвести подрыв небольшой ёмкости с ЛВЖ.
5. В специально отведённом месте со строгим соблюдением мер безопасности произвести подрыв небольшого сосуда с газовоздушной смесью.
6. Сделать заключение о произведённых опытах.
7. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к выполнению курсовых и дипломных работ и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Терия горения и взрыва» конспект, порох, легео-воспламеняющаяся жидкость, баллон с газо-воздушной смесью.

**Практическая работа № 5.** Классификация взрывов.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить классификаию взрывов по их характеристике и аккустическим свойствам.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструкаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой проведения работы.
3. В лабораторных условиях поизвести подрыв пороха.
4. Классифицировать взрыв по визуальным и аккустическим признакам.
5. В лабораторных условиях произвести подрыв ацетилена.
6. Классифицировать взрыв по визульным и аккустическим признакам
7. Сделать заключение о категории и классмфикации взрывов.
8. Оформить отчёт о выполненой практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», лабораторное оборудование, порох, ацетилен.

**Практическая работа № 6.** Детонация.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Изучить на практике причины и характер детонации.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лабораторных условиях произвести подрыв заряда пороха методом ударного воздейстивия.
4. Сделать заключение о характере и причине детонации.
5. В лабораторных условиях призвести подрыв заряда пороха при помощи электрического разряда.
6. Сделать заключение о характере и причине детонации.
7. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломныхпроектов и защитить её у преподователя.

**Техническре обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва» лабораторное оборудование, заряды пороха.

**Практическая работа № 7.** Расчёт показателей пожарной опасности.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчётов показателей пожарной опасности.

**Прядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться сметодикой выполнения расчёта.
2. Выпмсать из таблицы исходные данные.
3. Произвести расчёт показателей пожарной опасности.
4. Сделать заключение о произведённых расчётах.
5. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформланию курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва» конспекты, дополнительные материалы и приложения.

**Практическая работа № 8.** Факторы влияющие на взрывчатость аэровзвесей.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Изучить и проверить на практике факторы влияющие на взрывчатость аэровзвесей.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лабораторных условиях произвести подрыв аэровзвеси путём воздействия электрической искры.
4. Сделать заключение.
5. Влабораторных условиях произвести подрыв аэровзвеси путём воздействия открытог огня.
6. Сделать заключение.
7. В лабораторных условиях произвести подрыв аэровзвеси путём нагревания.
8. Сделать заключение.
9. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва»,конспект, лабораторное оборудование, пылевая аэровзвесь.

**Практическая работа № 9.** Условия потухания пламени.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Изучить и освоить на практике условия потухания пламени.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лабораторных условиях произвести ликвидацию горения путём пекращения подачи кислорода.
4. Сдалать заключение.
5. В лабораторных условиях произвести ликвидацию горения путём охлаждения.
6. Сделать заключение.
7. В лабораторных условиях произвести ликвидацию горения путём ингибирования.
8. Сделать заключение.
9. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», лабораторное оборудование, горючие вещества, огнетушащие вещества.

**Практическое занятие № 10.** Расчёт параметров прекращения горения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчётов параметров прекращения горения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомитьсяс методикой выполнения расчётов.
2. Выписать из таблицы исходные данные.
3. Произвести расчёт параметров прекращения горения.
4. Сделать заключение о произведённых расчётах.
5. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформланию курсовых и дипломных проектов и защитить её у преполавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, дополнительные материалы и приложения.

**Практическое занятие № 11.** Расчёт параметров прекращения горения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчётов параметров прекращения горения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомитьсяс методикой выполнения расчётов.
2. Выписать из таблицы исходные данные.
3. Произвести расчёт параметров прекращения горения.
4. Сделать заключение о произведённых расчётах.
5. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформланию курсовых и дипломных проектов и защитить её у преполавателя.

**Техническое обеспечение**. Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, дополнительные материалы и приложения.

**Практическая работа № 12.** Показатели определения пожарной опасности

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методмку определения показателей пожарной опасности.

**Поядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
2. Выбрать свой вариант задания по таблице.
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Определить показатель пожарной опасности.
5. Сделать заключение.
6. Оформить отчёт о выполнении практичесой работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, методический материал и приложения.

**Практическая работа № 13.** Температура самовоспламенения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику определения температуры самовоспламенения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лабораторных условиях произвести нагрев древесины до самовоспламенения.
4. Замерить температуру.
5. Сделать заключение
6. В лпбораторных условиях произвести нагрев торфа до самовоспламенения.
7. Замерить температуру.
8. Сделать заключение
9. В лабораторных условиях произвести нагрев хлопка до самовоспламенения.
10. Замерить температуру.
11. Сделать заключение.
12. Оформить отчёр о выполнении практической работы в соответсвии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, лабораторное оборудование, древесина, торф, хлопок.

**Практическая работа № 14.** Энергия зажигания.

**Время** 2 часа.

**Целль работы.** Освоить методику определения энергии зажигания.

**Порядок выполнения работы.**

1.Ознакомиться с методикой выполнения работы.

2.Выбрать свой вариант задания по таблице.

3.Выписать из таблицы исходные данные.

4.Произвести расчёт энергии зажигания.

5.Сделать заключение.

6.Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, методический материал и приложения.

**Практическая работа № 15.**  Конценрационные пределы распространения пламени.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчёта концентрационных пределов распространении пламени.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
2. Выбрать свой вариант задания из таблицы.
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Произвести расчёт концентрационных пределов распространения пламени.
5. Сделать заключение.
6. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, методический материал и приложения.

**Практическая работа № 16.** Нормальная скорость горения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику определения нормальной скорости горения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лаборатораторных условиях произвести воспламенение горючего материала в вертикальном положении.
4. По секундамеру опреденлить время горения.
5. Сделать заключение.
6. В лабораторных условиях произвести воспламенение горючего материала в горизонтальном положении.
7. По секундамеру определить время горения.
8. Сделать заключение.
9. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва» лабораторное оборудование, грючий материал.

**Практическая работа № 17.** Температура вспышки.

**Время.** 2 часа**.**

**Цель работы.** Освоить методику определения температуры вспышки.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технтке безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лаборатрных условиях воспламенить пары бензина.
4. Во время вспышки замерить температуру.
5. Сделать заключение.
6. В лабораторных условиях воспламенить пары солярки.
7. Во время вспышки замерить температуру.
8. Сделать заключение.
9. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформланию курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Теническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, лабораторное оборудование, бензин, солярка.

**Практическая работа № 18.** Температура воспламенения.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику определения температуры воспламенения.

**Порядок выполнения работы.**

1. Пройти инструктаж по технтке безопасности.
2. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
3. В лабораторных условиях при воздействии открытого огня воспламенить древесину.
4. Во время воспламенения замерить температуру.
5. Сделать заключение.
6. В лабораторных условиях при воздействии открытого огня воспламенить бумагу.
7. Во время воспламенения замерить температуру.
8. Сделать заключение.
9. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, лабораторное оборудование, горючие материалы.

**Практическая работа № 19.** Температурные пределы распространения пламени.

**Время.** 2 часа.

**Цель занятия.** Освоить методику расчётов для определения температурных пределов распространения пламени.

**Прядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с порядком выполнения работы.
2. Выбтать свой вариант задания по таблице.
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Произвести расчёт температурных пределов распространения пламени.
5. Сделать заключение.
6. Офомить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Теория горения и взрыва», конспекты, методический материал и приложения.

**Практическая работа № 20.** Скорость выгорания.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчётов для определения скорости выгорания.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методакой выполнения расчётов.
2. Выбрать свой вариант задания по таблице
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Призвести расчёт скорости выгорания.
5. Сделать заключение.
6. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

**Техническое обеспечение.** Учебное пособие «Терия горения и взрыва» конспекты, методический материал и таблицы.

**Практическая работа № 21.** Скорость выгорания.

**Время.** 2 часа.

**Цель работы.** Освоить методику расчётов для определения скорости выгорания.

**Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с методакой выполнения расчётов.
2. Выбрать свой вариант задания по таблице
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Призвести расчёт скорости выгорания.
5. Сделать заключение.
6. Оформить отчёт о выполнении практической работы в соответствии с требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов и защитить её у преподавателя.

Техническое обеспечение. Учебное пособие «Терия горения и взрыва» конспекты, методический материал и таблицы.

**КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА.**

**ВАРИАНТ 1**

**1. Горение это…**

а. химическая реакция окислительно-восстановительного типа.

б. физический процесс разрушения материала.

в. биологическое разложение органических веществ.

**2. Цепными называются реакции…**

а. идущие через 5 стадий.

б. идущие через ряд стадий.

в. идущие через цепь стадий.

**3. Процесс горения это…**

а. пассивный процесс.

б. нейтральный процесс.

в. активный процесс.

**4. Реакция окисления горючих веществ может…**

а. замедляться и переходить в реакцию затухания

б. ускоряться и переходить в реакцию горения

в. переходить в реакцию разложения

**5. Цепное самовоспламенение это…**

а. довольно редкое явление

б. довольно частое явление

в. закономерное явление

**6. За температуру самовоспламенения принимают…**

а. наивысщую температуру окружающей сркды

б. наименьшую температуру окружающей среды

в. нейтральную температуру окружающей среды

**7. Пирофорным веществом называют вещества имеющими температуру самовоспламенения…**

а равной 50 градусов

б выше 50 градусов

в ниже 50 градусов

**8. Дым представляет собой мелкодисперсную систему состоящую из мельчайших…**

а частиц воды

б твёрдых частиц

в твёрдых частиц и воды

**9. При перемещении фронта пламени температура несгоревшей части горючей смеси…**

а. возрастает

б. понижается

в. остаётся неизменной

**10. Легко воспламеняющиеся жидкости делятся на…**

а. 4 разряда

б. 6 разрядов

в. 3 разряда

**ВАРИАНТ 2**

**1. Тепло из зоны горения к поверхности жидкости передаётся…**

а. излучением

б. окислением

в. разложением

**2. Температура воспламенения аэрогеля это…**

а. наивысшая температура

б. наинизшая температура

в. нейтральная температура

**3. Под зольностью понимается остаток…**

а. газообразного вещества

б. твёрдого вещества

в. дыма

**4. При начальной температуре разложения твёрдых веществ, скорость оьразования газообразных продуктов…**

а. небольшая

б. большая

в. постоянная

**5. Линейная скорость перемещения фронта пламени…**

а. постоянная

б. не постоянная

в. нейтральная

**6. Пожароопасные вещества, по способности к горению подразделяются на…**

а. 2 группы

б. 3 группы

в. 4 группы

**7. Реакции, сопровождающиеся поглощением тепла называются…**

а. биотермическими

б. газотермическими

в. эндотермическими

**8. Продукты неполного сгорания и термоокислительного разложения являются…**

а. нейтральными

б. не токсичными

в. токсичными

**9. Причиной самовозгорания торфа являются…**

а. биологические и химические процессы

б. химические и физические процессы

в. физические и биологические процессы

**10. Испарение является…**

а. химическим процессом

б. эндотермическим поцессом

в. физическим процессом

**БИЛЕТ №1**

1. Основные понятия горения.
2. Продукты сгорания
3. Особенности химических превращений в процессе горения.

**БИЛЕТ № 2**

1. Цепное самовоспламенение.
2. Пожарная нагрузка.
3. Показатели пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов.

**БИЛЕТ №3**

1. Стационарное горение жидкости в резервуаре
2. Воспламенение газовоздушных смесей.
3. Горючие пыли и волокна.

**БИЛЕТ №4**

1. Концентрационные пределы воспламенения пылевоздушных смесей.
2. Химический взрыв.
3. Классификация взрывов по плотности вещества.

**БИЛЕТ №5**

1. Детонация.
2. Параметры, характеризующие воздушную ударную волну.
3. Физико-химические характеристики взрывчатых веществ.

**БИЛЕТ №6**

1. Условия возникновения и развития процессов горения жидкостей и твёрдых веществ
2. Параметры и классификация пожаров.
3. Аварийное вентилирование помещений.

**БИЛЕТ №7**

1. Поражающие факторы, возникающие в результате взрывов и их воздействие.
2. Горение твёрдых горючих материалов.
3. Пламя, виды пламени.

**БИЛЕТ №8**

1. Зоны и стадии пожара.
2. Условия возникновения и развитие прцессов горения жидкости и твёрдых горючих материалов.
3. Температура самовоспламенения пыли.

**БИЛЕТ №9**

1. Особенности химических превращений в процессе горения.
2. Фронт пламени, структура иперемещение.
3. Чувствительность взрывчатых веществ.

**БИЛЕТ №10.**

1. Условия устойчивого распространении детонации.
2. Классификация взрывов по плотности вещества.
3. Понятие ударной волны.

**БИЛЕТ №11.**

1. Детанационная способность врывчатых веществ.
2. Механизм смесеобразования затопленных струй.
3. Зона горения.

**БИЛЕТ №12.**

1. Нестационарное горение жидкостей в резервуаре.
2. Изменение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны.
3. Аварийное вентилирование помещений.

**БИЛЕТ №13.**

1. Горение твёрдых горючих материалов.
2. Объект пожара как энергетическая система.
3. Тепловое и цепное самрвоспламенение.

**БИЛЕТ №14.**

1. Виды пламени
2. Стационарное горение жидкости в резервуаре.
3. Воспламенение газовоздушных смесей.

**БИЛЕТ №15.**

1. Распространение пламени в пылевоздушных смесях.
2. Физико-химические характеристики взрывчатых веществ.
3. Особенности химических превращений в процессе горения.

**БИЛЕТ №16**

1. Цепное самовоспламенение.
2. Открытые и внутренние пожары, общие закономерности их развития.
3. Чувствительность взрывчатых веществ.

**БИЛЕТ №17.**

1. Контроль за накоплением горючих газов и паров.
2. Изменение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны.
3. Параметры и классификации пожаров.

**БИЛЕТ №18**

1. Горение твёрдых горючих материалов.
2. Условия устойчивого распространения детонации.
3. Поражающие факторы вознткающие в результате аварийных взрывов и их воздействие.

**БИЛЕТ №19.**

1. Предельно безопасное содержание воздуха в пылевоздушных смесях.
2. Огнетушащие вещества.
3. Общая закономерность развития пожаров

**БИЛЕТ №20.**

1. Зона задымления.
2. Аэрозоли, аэрогели и порошки.
3. Баланс энергии при взрыве.

**ГЛОССАРИЙ.**

АГВТ — автомобиль газоводяного тушения

АСУ — автоматизированная система управления

АСФ — аварийно-спасательное формирование

АЦ — автомобильная цистерна

ВВ — взрывчатое вещество

ВКПВ — верхний концентрационный предел воспламенения

ВМ — врывчатый материального

ВУВ — воздушная ударная волна

ГВС — газовоздушная смесь

ГГ — горючий газ

ГЖ - горючая жидкость

ГСМ — горюче-смазочный материал

ДШ — дентонационный шнур

КД — капсюль детонатор.

ЛВЖ — лёгковоспламеняюшаяся жидкость

НКПВ — нижний концентрационный предел воспламеняемости

НКПР — нижний концентрационный предел распространения

ОФП — опасный фактор пожара

ОШ — огневой шнур

ПВС — пылевоздушная смесь

ПДБК — преледельно допустимая взрывобезопасная концентрация

ПК — предохранительная конструкция

ПОХ — площадка открытого хранения

ПСР — поисково-спасательные работы

СВ — средство взрывания

ТГМ — твёрдый горючий материал

ЭД — электродетонатор

**Список литературы.**

Козлов В.С. Теория и физика горения и взрыва. уч.пособие Томск. Изд. Томского Государственного Университета.

Алешечева Л.И. Вопросы теории горения и взрыва конденсированных систем. уч.пособие Тула. Изд. ТулГУ.

Андросов А.С. Бегишев И.Р. Салеев Е.П. Терия горения и взрыва уч.пособие Изд. Академии ГПС МЧС России

Кораленко А.Я. Процессы горения и взрыва. М: Пожнаука.

Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М: Нука.

Андросов А.С. Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу «Терия горения и взрыва» М: Академия ГПС МЧС России.