

## О РОЛИ ГЕНЕРАЦИЙ ГЕТЕРОФАЗНЫХ ИНГИБИРУЮЩИХ И ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Журов М.М.

*Цель.* Изучить особенности и условия появления генераций гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих составов при тушении пожаров, а также установить взаимосвязь энергии реакции горения с температурой горения и температурой потухания.

*Методы.* Анализ, сравнительная оценка механизмов действия ингибирующих и флегматизирующих составов.

*Результаты.* На основе проведенного анализа механизмов действия ингибирующих и флегматизирующих составов установлено, что не изучена роль генераций гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих составов при тушении пожаров с учетом тепловой теории потухания и полной температурно-энергетической схемы реакции горения. Показана взаимосвязь энергии реакции горения с температурой горения и температурой потухания. Предложено требуемую интенсивность подачи огнетушащих составов рассчитывать посредством значений критической скорости химической реакции, а в случае применения одновременно ингибирующих и флегматизирующих составов учитывать влияние появления их генераций на достижение предельных параметров тушения пожаров.

*Область применения исследований.* Современные подходы к разработке огнетушащих составов целевого назначения. Разработка инновационных огнетушащих составов.

*Ключевые слова:* тепловая теория потухания, ингибирующие и флегматизирующие составы, тушение пожаров, энергия связи, радикалы, радикально-цепной механизм.

(Поступила в редакцию 24 июля 2024 г.)

### Введение

Пожар, как правило, сопровождается диффузионным пламенным горением, которое без прекращения подачи паров горючего может быть погашено с помощью ингибиторов и флегматизаторов [1, с. 231]. В зоне пламени генерации гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих составов при тушении пожаров появляются при радикально-цепных реакциях. Такие генерации могут образовываться при протекании гомофазных или гетерофазных реакций, последние по механизму могут быть [2, с. 137]:

- некаталитическими;
- радикально-цепными;
- гомогенно-каталитическими.

Особенностью гетерофазных процессов является необходимость переноса реагентов из одной фазы в другую за счет массопередачи. При этом в зависимости от относительной скорости химической реакции и массопередачи существует несколько областей гетерофазных реакций, различающихся своими закономерностями, кинетическими моделями и методикой исследования, которые усложняются по сравнению с гомогенными гомофазными процессами. По фазовому состоянию исходной системы гетерофазные процессы можно разделить на два типа:

- 1) исходная система однофазная;
- 2) исходная система состоит не менее чем из двух фаз.

Для прерывания радикально-цепной реакции горения особый интерес представляют гетерофазные реакции, которые могут протекать как в объеме горения, так и на поверхности огнетушащих веществ.

Генерации гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов – комплексная дисперсная многокомпонентная система, образованная в зоне горения

и состоящая из ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов. Соответственно, для генераций гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов важно понимать условия их образования при протекании гомогенных гетерофазных и гетерогенных гетерофазных реакций.

### Основная часть

Существует два общих метода генерации определенных радикалов, необходимых для реакции [3, с. 573]:

1) образование молекулы, содержащей необходимый фрагмент, которая может подвергаться гомолизу или превращаться в радикалы с помощью окислительно-восстановительной реакции;

2) разложение инициатора с образованием реакционноспособных радикалов, которые затем превращают органический субстрат в радикалы путем отщепления или присоединения.

Для гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов в зоне реакции горения возможно протекание одновременно гетерогенных и гомогенных реакций, которые могут уменьшать скорость протекания радикально-цепной реакции горения. С точки зрения кинетики радикально-цепных реакций выделяют четыре принципиальных группы реакций, участвующих в процессе [4, с. 16–164]:

1) реакции зарождения, приводящие к образованию свободных валентностей при взаимодействии насыщенных молекул;

2) реакции продолжения цепей, в которых при взаимодействии радикала со стабильной молекулой происходит образование нового радикала и новой стабильной молекулы;

3) реакции разветвления цепей, в которых взаимодействие радикала с насыщенной молекулой приводит к увеличению свободных валентностей;

4) реакции обрыва цепей, при которых взаимодействие двух радикалов между собой либо радикала с поверхностью приводит к исчезновению свободной валентности.

Существующая теория химической связи, химической реакции и катализа предполагает, что основной энергетический вклад в энергию ковалентной химической связи вносит так называемая обменная энергия, обусловленная в первую очередь квантово-механическими эффектами (спариванием электронов с разными спинами) [5, с. 9]. Зарождение цепной реакции горения сопровождается разрывом связей в молекуле одного из реагентов посредством энергии, подводимой в виде тепла. Такой способ проведения реакции называют термическим. Поскольку обратная гомолизу реакция рекомбинации свободных атомов и радикалов происходит при каждом столкновении и имеет нулевую энергию активации, при гомолитическом расщеплении молекулы энергия активации равна тепловому эффекту [ $E_{\text{акт}} = Q$ ]. Это позволяет представить константу скорости  $k$  таким уравнением [6, с. 108]:

$$k = A \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} = A \cdot e^{-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}}, \quad (1)$$

где  $A$  – предэкспоненциальный множитель (коэффициент пропорциональности, который указывает долю активных молекул);

$Q$  – тепловой эффект (энергия активации) химической реакции зарождения цепной реакции горения, Дж/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$T$  – температура, К.

При изменении энергии активации отношение констант скоростей химической реакции при фиксированной температуре ( $T_1 = T_2 = T$ ) с учетом формулы (1) можно рассчитать из уравнения:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_{\text{акт}2} - E_{\text{акт}1}}{RT}. \quad (2)$$

В случае постоянного значения энергии активации  $E_{акт}$  отношение констант скоростей химической реакции при различных температурах  $T_1$  и  $T_2$  с учетом формулы (1) также можно рассчитать из уравнения:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = - \frac{E_{акт}(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}. \quad (3)$$

Следует отметить, что в каждом интервале времени скорость реакции  $v$  (моль/(л·с)) непостоянна и, соответственно, для каждого момента времени характерна истинная скорость реакции. Истинная скорость реакции представляет собой первую производную от концентрации  $C$  (моль/л) по времени  $\tau$  (с) [7, с. 5]:

$$v = \pm \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta C}{\Delta\tau} = \pm \frac{dC}{d\tau}. \quad (4)$$

На скорость химических реакций влияют следующие факторы:

- природа веществ;
- концентрации веществ (давление – для газофазных реакций);
- температура;
- энергия активации;
- катализаторы;
- дисперсность вещества – для гетерогенных процессов.

Относительную устойчивость молекул при фиксированной температуре позволяют оценивать значения их энергий активации. Авторы теории активированного комплекса считают, что энергия активации необходима реагирующим молекулам не для разрыва старых связей, а для достижения неустойчивой конфигурации активированного комплекса [5, с. 19]. В нем электронные оболочки атомов во взаимодействующих молекулах определенным образом деформированы в направлении формирования новых химических связей, а прежние связи ослаблены. Схематично активированный комплекс на примере реакции водорода и йода представлен на рисунке 1 [5, с. 27].

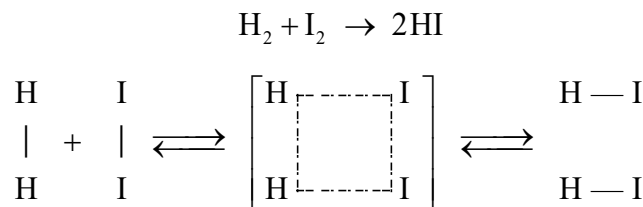


Рисунок 1. – Схема активированного комплекса на примере реакции водорода и йода

Образование в зоне пламенного горения активированного комплекса представляет особый интерес, т.к. возникающие по механизму активированного комплекса генерации ингибирующих и флегматизирующих составов могут повысить эффективность пожаротушения за счет их образования в зоне пламенного горения. При этом для уменьшения скорости реакции горения (торможения) можно также увеличить высоту энергетического активационного барьера для стадий с участием радикалов, образующихся в результате окисления горючих веществ.

На пожаре в пламенной зоне реакции горения протекают по радикально-цепному механизму [4, с. 210], поэтому для эффективного тушения пожаров необходимо правильно оказывать воздействие на определяющую стадию цепной реакции горения. Кинетические схемы разветвленных цепных реакций имеют большое количество элементарных стадий и активных радикалов, но особый интерес с учетом характера диффузионного турбулентного пламенного горения на реальных пожарах представляют стадии образования таких продуктов реакции, как  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ , которые всегда присутствуют в продуктах горения.

Для оценки вклада каждой стадии в общий тепловой эффект реакции горения и проведения экспериментальных исследований по определению эффективности тушения с помощью ингибирующих и флегматизирующих составов в качестве объектов исследования выбраны водород и пропан, которые в продуктах горения содержат  $H_2O$  и  $CO_2$ . Расчеты тепловых эффектов реакций горения водорода и пропана с учетом энтальпии образования веществ и с учетом вклада каждой из стадий образования  $H_2O$  и  $CO_2$  на основании значений энергий связи [8] представлены ниже:

$$2H_2 + 3,76N_2 + O_2 = 2H_2O + 3,76N_2 + Q_H$$

$$Q_H(H_2) = [2 \cdot (241,84) - 0] / 2 = 241,84 \text{ кДж/моль}$$

$$C_3H_8 + 3,76N_2 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 3,76N_2 + Q_H$$

$$Q_H(H_2) = [3 \cdot (393,5) + 4 \cdot (241,84) - 109,4] / 1 = 2038,46 \text{ кДж/моль}$$

Расчеты теплового эффекта реакции горения водорода с учетом вклада каждой из стадий образования  $H_2O$  на основании значений энергий связи [8]:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + Q_H$$

$$Q_H(H_2) = -\Delta H(H_2) = -(436 + 1/2 \cdot 498 - (495 + 435)) = 716 - 465 = 245 \text{ кДж/моль}$$

$$H_2 + O_2 = 2OH + Q_1$$

$$Q_1 = [2 \cdot 435 - 436 - 498] = -64 \text{ кДж/моль}$$

$$2HO + H_2 = 2H_2O + Q_2$$

$$Q_2 = 2 \cdot (495 + 435) - 436 - 2 \cdot 435 = 554 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_H(H_2) = (Q_1 + Q_2) / 2 = (554 - 64) / 2 = 490 / 2 = 245 \text{ кДж/моль}$$

Расчеты теплового эффекта реакции горения пропана с учетом вклада каждой из стадий реакции образования  $CO_2$  на основании значений энергий связи [8]:

$$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O + Q_H$$

$$Q_H(C_3H_8) = -\Delta H(C_3H_8) = 4 \cdot (495 + 435) + 3 \cdot (1072 + 803) - 5 \cdot 498 - 2 \cdot 376 - 8 \cdot 423 = 2719 \text{ кДж/моль}$$

$$C_3H_8 + O_2 = C_3H_6 + 2OH + Q_1$$

$$Q_1 = [2 \cdot 435 - 2 \cdot 423 - 498] = -474 \text{ кДж/моль}$$

$$C_3H_6 + 2OH = C_3H_4 + 2H_2O + Q_2$$

$$Q_2 = 2 \cdot (495 + 435) - 2 \cdot 423 - 2 \cdot 435 = 144 \text{ кДж/моль}$$

$$C_3H_4 + O_2 = 3C + 2H_2O + Q_3$$

$$Q_3 = 2 \cdot (495 + 435) - 4 \cdot 423 - 2 \cdot 376 - 498 = -1082 \text{ кДж/моль}$$

$$3C + 3O_2 = 3CO_2 + Q_4$$

$$Q_4 = 3 \cdot (1072 + 803) - 3 \cdot 498 = 4131 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_H(C_3H_8) = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = -474 + 144 - 1082 + 4131 = 2719 \text{ кДж/моль}$$

Несмотря на то что термодинамические расчеты тепловых эффектов учитывают только начальные и конечные результаты состояния системы и не могут быть механически скомпонованы с кинетическими схемами разветвленных цепных реакций, они позволяют учитывать вклад тепловых эффектов за счет образования  $H_2O$  и  $CO_2$ . Анализ проведенных автором расчетов показал, что расчеты теплоты сгорания водорода с учетом энергий связи и вклада каждой из стадий протекания реакции позволяет определять стадию с наибольшим

тепловым эффектом, прерывание которой позволяет эффективнее и быстрее достигать снижения тепловыделения в зоне реакции вплоть до полного прекращения горения. На основании расчетов можно сделать вывод, что для подавления реакции горения водорода огнетушащее вещество главным образом должно обеспечивать исключение возможности протекания второй стадии окисления радикала  $\cdot\text{OH}$ , а для подавления реакции горения пропана – стадии окисления углерода. С учетом тепловой теории потухания можно предположить, что на основе тепловых эффектов каждой из стадий реакции горения можно подбирать требуемые огнетушащие составы.

Тепловая теория потухания пламени позволяет определить многие расчетные предельные параметры прекращения горения расчетным путем (концентрационные пределы распространения пламени, температурные пределы распространения пламени, минимальное взрывоопасное содержание кислорода, минимальная энергия зажигания и др.). Тепловая теория потухания также свидетельствует о существовании критической температуры – температуры потухания пламени, ниже которого протекание процесса горения невозможно, а достичь снижения температуры в зоне горения возможно путем снижения тепловыделения или повышения теплоотвода [9, с. 142]. При этом известно, что кинетическое и диффузионное пламя можно погасить охлаждением зоны горения всего на 100–300 К [5, с. 142]. Но данная теория не позволяет устанавливать взаимосвязь механизмов огнетушащего действия ингибирующих и флегматизирующих составов и обосновывать эффективность их применения. Механизмы действия ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов главным образом снижают тепловыделение из зоны горения за счет снижения скорости химической реакции. Ингибиторы непосредственно прерывают протекание цепной реакции горения, а флегматизаторы главным образом снижают концентрации горючих веществ. Поэтому с учетом особенностей пламенного горения на реальных пожарах можно предположить, что более эффективным будет тушение, обусловленное снижением тепловыделения в зоне горения за счет синергии механизмов действия ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов.

Тепловой эффект химической реакции  $Q$  рассчитывается по следствию из закона Гесса и не зависит от величины энергии активации  $E_{\text{акт}}$ , т.е. от того, по какому механизму происходит реакция, а зависит только от начального и конечного состояния системы (рис. 2) [10, с. 12].



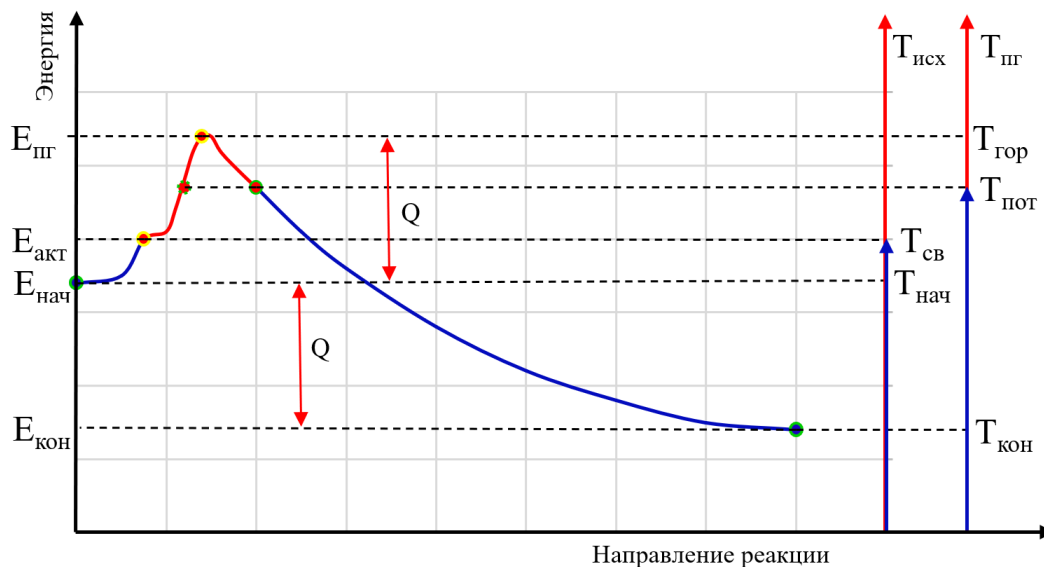
$E_{\text{акт}}$  – энергия активации;  $Q$  – тепловой эффект реакции;  $E'$  – конечное энергетическое состояние системы

Рисунок 2. – Энергетическая схема химической реакции

На основе представленной на рисунке 2 энергетической схемы рассчитывается тепловой эффект реакции горения. При этом схема отражает только начальные и конечные состояния веществ системы и не дает полного представления о промежуточных значениях энергий продуктов горения и их температуре в моменты горения и потухания пламени.

Обобщенная температурно-энергетическая схема реакции горения (рис. 3) является предложением автора и получена на основании анализа взаимосвязи энергии реакции горения и температуры продуктов реакции с учетом тепловой теории потухания [11, рис. 1].

Обобщенная температурно-энергетическая схема реакции горения отражает промежуточные значения энергии исходных реагентов и продуктов реакции горения и устанавливает взаимосвязь их энергии с температурой.



$E_{\text{нач}}$  – начальная энергия исходных реагентов;  $E_{\text{акт}}$  – энергия активации исходных реагентов;  
 $E_{\text{пр}}$  – максимальная энергия продуктов горения;  $E_{\text{кон}}$  – конечная энергия продуктов горения;  
 $Q$  – тепловой эффект реакции;  $T_{\text{исх}}$  – температура исходных реагентов;  $T_{\text{гор}}$  – температура продуктов горения;  
 $T_{\text{нач}}$  – начальная температура исходных реагентов;  $T_{\text{св}}$  – температура самовоспламенения исходных реагентов;  
 $T_{\text{гор}}$  – максимальная температура горения;  $T_{\text{пот}}$  – температура потухания;  $T_{\text{кон}}$  – конечная температура горения

**Рисунок 3. – Обобщенная температурно-энергетическая схема реакции горения**

Представленная обобщенная температурно-энергетическая схема позволяет устанавливать взаимосвязь энергии системы с температурой системы, а для реакции горения – тепловыделения с температурой продуктов реакции (рис. 3). Температура горения ( $T_{\text{гор}}$ ) – максимальная температура продуктов реакции, с учетом того что начальная температура исходных реагентов ( $T_{\text{нач}}$ ) равна конечной температуре продуктов реакции горения ( $T_{\text{кон}}$ ).

Таким образом, на основе этой взаимосвязи в соответствии с тепловой теорией потухания возможно теоретически учитывать и обосновывать влияние огнетушащих составов, в том числе появление генераций гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих составов, на достижение предельных параметров тушения пожаров. Обобщенная температурно-энергетическая схема реакции горения позволяет предположить, что температура потухания ( $T_{\text{пот}}$ ), по сути, и есть температура самовоспламенения ( $T_{\text{св}}$ ) горючих паров и газов в присутствии огнетушащих веществ. Из этого предположения следует, что применение огнетушащих составов, в том числе одновременно ингибирующих и флегматизирующих, препятствует протеканию цепной реакции горения и обеспечивает тушение пожара при температурах выше температуры самовоспламенения. Предположение согласуется с тепловой теорией потухания пламени и позволяет устанавливать взаимосвязь энергии с предельными параметрами прекращения горения.

### Заключение

На основе проведенного анализа механизмов действия ингибирующих и флегматизирующих составов, а также тепловой теории потухания и предложенной полной температурно-энергетической схемы реакции горения показана взаимосвязь энергии реакции горения с температурой горения и температурой потухания. Также предлагается требуемую интенсивность подачи огнетушащих составов рассчитывать посредством значений критической скорости химической реакции. Можно сделать вывод, что неизученным является вопрос о влиянии химического и массового состава, концентрации и дисперсности генераций

ингибирующих и флегматизирующих составов на достижение предельных параметров тушения пожаров, в том числе при их одновременном применении. Таким образом, для изучения вышеуказанного вопроса требуется проведение экспериментальных исследований, которые позволят установить зависимости достижения предельных параметров прекращения горения от интенсивности подачи ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл; пер. с англ. К.Г. Боштейна; под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
2. Суббочева, М.Ю. Теория химико-технологических процессов органического синтеза: учеб. пособие / М.Ю. Суббочева, К.В. Брянкин, А.А. Дегтярев. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2012. – 161 с.
3. Общая органическая химия: в 12 т. / под общ. ред. Д. Бартона, У.Д. Оллиса. – М.: Химия, 1981. – Т. 1: Стереохимия, углеводороды, галогенсодержащие соединения / под ред. Дж.Ф. Стоддарта. – Пер. с англ.; под ред. Н.К. Кочеткова. – 736 с.
4. Семенов, Н.Н. Цепные реакции / Н.Н. Семенов. – М.: Наука, 1986. – 535 с.
5. Ганкин, В.Ю. Новая общая теория химической связи, кинетики и катализа / В.Ю. Ганкин, Ю.В. Ганкин. – Л.: Химия, 1991. – 80 с. – ISBN 5-7245-0799-X.
6. Лебедев, Н.М. Теория технологических процессов органического и нефтехимического синтеза / Н.Н. Лебедев, М.Н. Манаков, В.Ф. Швец. – М.: Химия, 1975. – 478 с.
7. Образцова, Е.Ю. Основы физической химии: учеб. пособие / Е.Ю. Образцова, А.В. Рухов. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – 81 с. – 1 CD-ROM. – ISBN 978-5-8265-2718-4.
8. Волков, А.И. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – С. 68–80. – ISBN 985-6751-04-7.
9. Сечин, А.И. Теория горения и взрыва: учеб. пособие / А.И. Сечин, В.А. Перминов, О.Б. Назаренко [и др.]; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 162 с.
10. Андросов, А.С. Теория горения и взрыва: учеб. пособие / А.С. Андросов, И.Р. Бегишев, Е.П. Салеев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 209 с.
11. Журов, М.М. Особенности механизмов действия ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов / М.М. Журов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2023. – Т. 7, № 3. – С. 282–294. – DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-3.282. – EDN: FOVSVC.

**О роли генераций гетерофазных ингибирующих и флегматизирующих составов  
для тушения пожаров**

**On the role of generations of heterophase inhibiting and phlegmatizing compositions  
for fire extinguishing**

**Журов Марк Михайлович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра химической,  
биологической, радиационной и ядерной  
защиты, начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Zhurmark@mail.ru

SPIN-код: 8325-4796

**Mark M. Zhurov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Chemical, Biological,  
Radiation and Nuclear Protection,  
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: Zhurmark@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5228-7371



**ON THE ROLE OF GENERATIONS OF HETEROPHASE INHIBITING  
AND PHLEGMATIZING COMPOSITIONS FOR FIRE EXTINGUISHING****Zhurov M.M.**

*Purpose.* To study the peculiarities and conditions of appearance of heterophase inhibiting and phlegmatizing compositions generation during fire extinguishing, and to establish the relationship of combustion reaction energy with combustion temperature and dying out temperature.

*Methods.* Analysis, comparative evaluation of mechanisms of action of inhibiting and phlegmatizing compositions.

*Findings.* On the basis of the analysis of mechanisms of action of inhibiting and phlegmatizing compositions it is established that the role of generation of heterophase inhibiting and phlegmatizing compositions in fire extinguishing is not studied taking into account the thermal theory of extinguishing and the complete temperature-energy scheme of combustion reaction. Interrelation of combustion reaction energy with combustion temperature and extinguishing temperature is shown. It is proposed to calculate the required intensity of fire extinguishing compositions supply by means of the values of the critical rate of chemical reaction. In case of application of simultaneously inhibiting and phlegmatizing compositions it is proposed to take into account the influence of appearance of their generations on reaching the limiting parameters of fire extinguishing.

*Application field of research.* Modern approaches to the development of target fire extinguishing compositions. Development of innovative fire extinguishing compositions.

*Keywords:* thermal theory of dying out, inhibiting and phlegmatizing compositions, fire extinguishing, bonding energy, radicals, radical-chain mechanism.

(The date of submitting: July 24, 2024)

**REFERENCES**

1. Drayzdeyl D. *Vvedenie v dinamiku pozharov [Introduction to fire dynamics]*; translation from English. Moscow: Stroyizdat, 1990. 424 p. (rus)
2. Subbocheva M.Yu., Bryankin K.V., Degtyarev A.A. *Teoriya khimiko-tekhnologicheskikh protsessov organicheskogo sinteza: uchebnoe posobie [Theory of chemical and technological processes of organic synthesis]*; tutorial. Tambov: Tambov State Technical University, 2012. 161 p. (rus)
3. *Comprehensive organic chemistry. The synthesis and reactions of organic compounds: in 12 volumes. Vol. 1. Stereochemistry, hydrocarbons, halo compounds.* Ed. by J.F. Stoddart; translation from English. Moscow: Khimiya, 1981. 736 p. (rus)
4. Semenov N.N. *Tsepnye reaktsii [Chain reactions]*. Moscow: Nauka, 1986. 535 p. (rus)
5. Gankin V.Yu., Gankin Yu. V. *Novaya obshchaya teoriya khimicheskoy svyazi, kinetiki i kataliza [New general theory of chemical bonding, kinetics and catalysis]*. Leningrad: Khimiya, 1991. 80 p. (rus). ISBN 5-7245-0799-X.
6. Lebedev N.M., Manakov M.N., Shvets V.F. *Teoriya tekhnologicheskikh protsessov organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza [Theory of technological processes of organic and petrochemical synthesis]*. Moscow: Khimiya, 1975. 478 p. (rus)
7. Obratsova E.Yu., Rukhov A.V. *Osnovy fizicheskoy khimii [Fundamentals of physical chemistry]*; tutorial. Tambov: Tambov State Technical University, 2023. 81 c. 1 CD-ROM. (rus). ISBN 978-5-8265-2718-4.
8. Volkov A.I., Zharskiy I.M. *Bol'shoy khimicheskii spravochnik [Large chemical handbook]*. Minsk: Sovremennaya shkola, 2005. Pp. 68–80. (rus). ISBN 985-6751-04-7.
9. Sechin A.I., Perminov V.A., Nazarenko O.B., Amel'kovich Yu.A., Sechin A.A., Zadorozhnaya T.A. *Teoriya goreniya i vzryva [Theory of combustion and explosion]*; tutorial. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2020. 162 p. (rus)
10. Androsov A.S., Begishev I.R., Saleev E.P. *Teoriya goreniya i vzryva [Theory of combustion and explosion]*; tutorial. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2007. 209 p. (rus)
11. Zhurov M.M. Osobennosti mekhanizmov deystviya ingibiruyushchikh iflegmatiziruyushchikh ognetushashchikh sostavov [Features of the mechanisms of action of inhibiting and phlegmatizing fire extinguishing compositions]. *Journal of Civil Protection*, 2023. Vol. 7, No. 3. Pp. 282–294. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-3.282. EDN: FOVSVC.

Copyright © 2024 Zhurov M.M.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.