

М.И. Саутиев, С.А. Макаров, Б.Ж. Битиев, В.П. Молчанов
(Академии ГПС МЧС России; e-mail: gpslab@yandex.ru)

ТАКТИКА ПЕННОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ЭКСТРАКЦИОННО-РАЗДЕЛЁННЫХ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВ

Анализируются экстракционное разделение спиртосодержащего топлива водой и рабочим раствором пенообразователя. Выявлено влияние изменённого состава верхней фазы горящего топлива на результативность пенного тушения пожаров.

Ключевые слова: пенное тушение пожаров, спиртосодержащие топлива, экстракционное разделение.

M.I. Sautiev, S.A. Makarov, B.G. Bituev, V.P. Molchanov **TACTICS OF FOAMY FIRE SUPPRESSION** **OF THE EXTRACTION DIVIDED** **ALCOHOL-CONTAINING FUELS**

Analyzed of extraction division of alcohol-containing fuel and working solution of frother. Influence of the changed structure of the top phase of the burning fuel on productivity of foamy fire extinguishing is revealed.

Key words: foamy fire extinguishing, alcohol-containing fuels, extraction division.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 11 сентября 2015 г.

Актуальность темы обусловлена ужесточением экологических требований и началом производства бензинов с использованием возобновляемых сырьевых ресурсов. На территории России, Белоруссии и Казахстана действует Технический регламент Таможенного союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" [1]. Производственный переход на новые топлива происходит быстрее, чем развитие современных средств и способов тушения их пожаров. Оксигенатами, повышающими октановое число бензинов, являются эфиры и спирты. Сейчас применение спирта в топливе внедряется более широко. Возникает проблема ликвидации горения спиртосодержащих углеводородно-спиртовых топлив существующими средствами пенного пожаротушения.

Задачи тушения пожаров спиртосодержащих топлив не новы. Исследования в этой области начали проводиться во ВНИИПО МЧС России. Затем в этом же направлении начали трудиться сотрудники Академии ГПС МЧС России под руководством А.Ф. Шароварникова. В работах рассматривались следующие вопросы: оценка концентрации спирта на огнетушащую эффективность пены; влияние полимерного компонента на процесс тушения; разрушение водных плёнок при контакте со смесями углеводородов и спиртов. Итогом являлся анализ материального баланса пены в процессе тушения пламени смесевых топлив.

Идея строится из соображений того, что прекращение горения происходит после того, как поверхность горючей жидкости будет полностью покрыта слоем пены, который будет препятствовать доступу горючих паров и газов в зону горения. Материальный баланс количества поданной и количества уничтоженной пены предусматривает, что тушение наступит только в том случае, если количество поданной пены больше, чем количество уничтоженной. Критические условия тушения возникают, если количество поданной пены равно количеству уничтоженной, а время тушения стремится к бесконечности. Количество уничтоженной пены в материальном балансе имеет несколько составляющих. Основными составляющими принимаются разрушение пены воздействием тепла от факела пламени и контактное разрушение пены. Расчёт основных параметров тушения в дальнейшем производится исходя из величины критической интенсивности подачи пены [2].

Проблема тушения также заключается в том, что полученная многокомпонентная смесь водорастворимых и водонерастворимых горючих жидкостей не является инертной к воде и воздушно-механической пене, применяемой для тушения пожара. Эффекты расслоения системы водой были обнаружены ещё в середине прошлого века первыми разработчиками спиртосодержащих топлив [3]. В топливе происходит процесс разделения смеси веществ, основанный на различной способности компонентов распределяться между двумя несмешивающимися фазами [4]. При подаче воды и пены происходит процесс экстракции.

Научные работы последних лет также свидетельствуют о том, что спиртосодержащее топливо активно взаимодействует с водой. В результате взаимодействия происходит экстракционное разделение многокомпонентной смеси и образование отсека. Таким образом, вода остаётся в нижней части водно-спиртовой фазы, а состав верхней фазы будет отличаться от состава топлива до подачи воды или пены. В 80-х годах во ВНИИПО МВД СССР проводились испытания по "осаждению" метанола из топлива перед подачей пены средней кратности из углеводородных пенообразователей. После "осаждения" огнетушащая эффективность пены повышалась, но испытания не были продолжены.

Несмотря на большое количество исследований по определению показателя стабильности спиртосодержащих топлив, вопрос влияния экстракционного разделения многокомпонентной смеси в процессе водо-пенного тушения пожара изучен не был. Авторами настоящей статьи сделана попытка предложить тактику тушения исходя из результатов исследований по определению влияния количества извлечённого из топлива спирта на время тушения горючего при заданной интенсивности подачи пены в лабораторных условиях.

Для оценки величины экстракционного разделения спиртосодержащих топлив рабочим раствором пенообразователя проведён ряд исследований при нормальных условиях окружающей среды в лабораторных условиях в со-

ответствии с ГОСТ 9249-59 [5]. В мерный стеклянный цилиндр по ГОСТ 1770 [6] объёмом 2000 см^3 заливали 1000 см^3 предварительно приготовленного спиртосодержащего топлива. Модельный состав топлива включает: углеводородную базу; изопропиловый спирт по ГОСТ 9805-84 [7]. Использовался 1 %-й рабочий раствор фторсодержащего пенообразователя типа AFFF на питьевой воде по ГОСТ Р 50588-2012 [8]. После добавления рабочего раствора пенообразователя и экстрагирования спирта наступало равновесие, затем система отстаивалась в течение 120 с.

Распределение спирта между двумя жидкими фазами устанавливали в соответствии с законом распределения Нернста для однократной экстракции [9]. Коэффициент распределения в двух несмешивающихся фазах для однократной экстракции определяли по формуле (1):

$$K = C_A/C_B, \quad (1)$$

где K – коэффициент распределения;
 C_A – концентрация вещества в фазе A ;
 C_B – концентрация вещества в фазе B .

Под фазой A подразумевается водно-спиртовая смесь под горючим, под фазой B – само горючее.

Проведена серия экспериментов по определению огнетушащей эффективности пены средней кратности, подачей сверху в зависимости от содержания спирта в углеводородно-спиртовом топливе. Доработана известная стендовая методика, описанная в ГОСТ Р 50588-2012. Интенсивность подачи пены, устанавливали использованием горелок различного диаметра. Кратность пены фиксировали в диапазоне 41-47 путём регулирования количества поданного воздуха и раствора. Использовались топлива с известным соотношением углеводородно-спиртового состава с концентрационными точками отсчёта 0 %, 5 %, 10 %, 15 % и 20 % изопропилового спирта. Для тушения применялись и экстракционно-разделённые рабочим раствором пенообразователя топлива. Разделение топлив осуществлялось от концентрационных точек отсчёта 5 %, 10 %, 15 % и 20 % изопропилового спирта в сторону снижения концентрации на 30 %. Таким образом, получен массив данных времени тушения от интенсивности подачи пены. Обработанный массив данных сведен в один график поверхности (рис. 1).

На рис. 1 время тушения при различной интенсивности подачи пены показано в зависимости от содержания спирта в топливе. Экстракционно-разделённые топлива обозначены на графике красным цветом. Предложенный инструмент позволяет установить характер влияния концентрации спирта на время тушения при фиксированной интенсивности. При фиксированном значении времени тушения можно определить характер изменения требуемой интенсивности подачи пены от соотношения спиртовой и углеводородной части экстракционно-разделённого топлива. Для определения величины интенсивности подачи пены, в зависимости от содержания спирта в топливе, сделана проекция разреза поверхности по оси времени на уровне времени тушения 100 с.

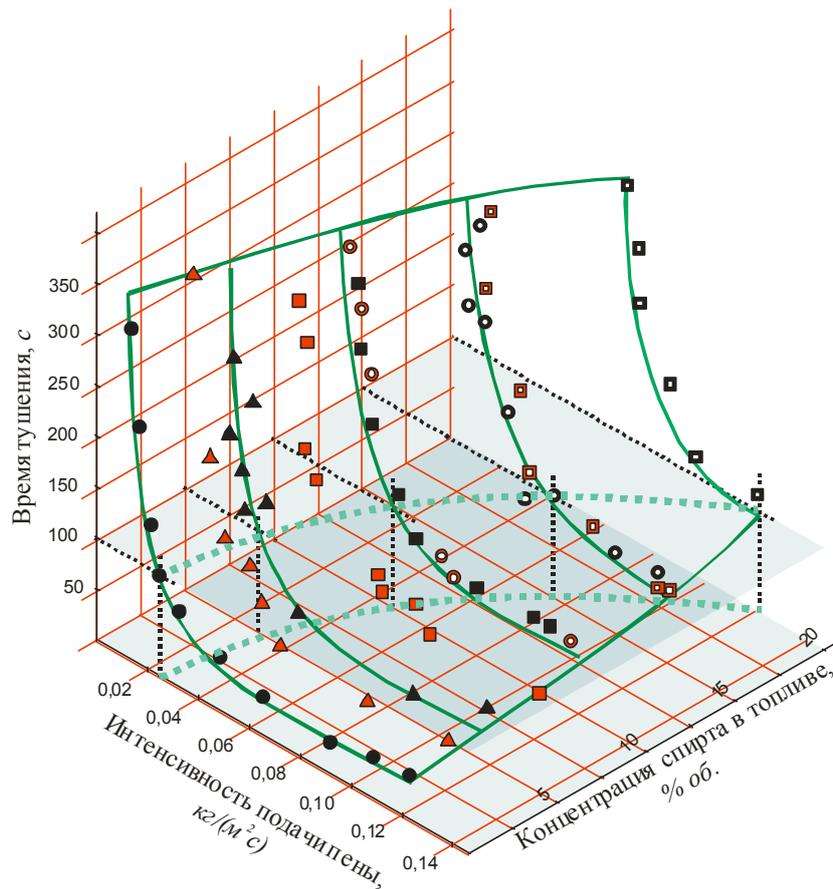


Рис. 1. График зависимостей времени тушения от интенсивности подачи пены на поверхность топлива с различным содержанием спирта

На рис. 2 представлены точки проекции разреза поверхности по оси времени тушения. Подобрана линейная зависимость с величиной коэффициента корреляции 0,87, показывающая характер степени влияния концентрации спирта в топливе на величину требуемой интенсивности подачи пены для тушения пламени горючей жидкости.

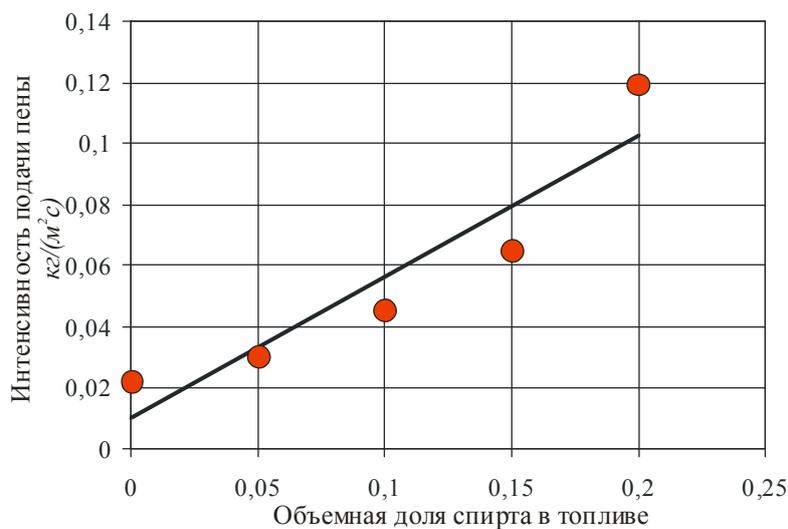


Рис. 2. График зависимости интенсивности подачи пены от массовой доли спирта в топливе

В результате анализа графика (рис. 2) подобрана линейная зависимость, позволяющая рассчитать интенсивность (2). Зависимость справедлива, если постоянной является величина времени тушения.

Исходными переменными для расчёта являются величина интенсивности при тушении углеводородного топлива и концентрация спирта в топливе:

$$J = J_0 + kc, \quad (2)$$

где J – требуемая интенсивность подачи пены для тушения углеводородно-спиртового топлива, $кг/(м^2с)$;

J_0 – требуемая интенсивность подачи пены для тушения углеводородного топлива, $кг/(м^2с)$;

k – коэффициент пропорциональности, $кг/(м^2с)$;

c – объёмная доля спирта в топливе.

Значение объёмной доли спирта в топливе c – от 0 до 0,2; значение коэффициента пропорциональности k – от 0,462 $кг/(м^2с)$.

В соответствии с регламентирующим документом МЧС России [10], нормативные интенсивности подачи пены, в зависимости от температуры вспышки горючей жидкости и способа подачи пены, находятся в диапазоне от 0,05 до 0,1 $кг/(м^2с)$. Свод правил не учитывает возможное содержание спирта в топливе. На основе имеющихся данных по нормативной интенсивности подачи пены и результатов экспериментальных исследований авторы предлагают примерную величину нормативной интенсивности подачи пены для тушения экстракционно-разделенного спиртосодержащего топлива. Нормативная интенсивность рассчитывается по предложенной выше формуле (2). Исходные данные для расчёта: величина нормативной интенсивности подачи пены для тушения углеводородного топлива $J_0 = 0,05$ $кг/(м^2с)$ для ЛВЖ с температурой вспышки менее 28 °С плёнкообразующей пеной средней кратности; значение массовой доли спирта в топливе от 0 до 0,1.

Расчёт интенсивности подачи пены экстракционно-разделенного топлива, в зависимости от объёма извлечённого из пены рабочего раствора пенообразователя, производится по формуле (3):

$$J = J_0 + 0,462 \left[c - \frac{c}{1 + \frac{V_{ГЖ}}{3,6 + \frac{24,3V_P}{V_{ГЖ}}}} \right], \quad (3)$$

где J_0 – нормативная интенсивность подачи пены средней кратности, $кг/(м^2с)$;

c – значение начальной объёмной доли спирта в топливе до экстракции;

$V_{ГЖ}$ – объём горючей жидкости, $м^3$;

V_P – объём извлечённого раствора пенообразователя, $м^3$.

Расчёт интенсивности подачи пены экстракционно-разделенного топлива, в зависимости от объёма предварительно поданной воды, производится по формуле (4):

$$J = J_0 + 0,462 \left[c - \frac{c}{1 + \frac{V_{ГЖ}}{3,5 + \frac{23,9V_B}{V_{ГЖ}}}} \right], \quad (4)$$

где V_P – объём предварительно поданной воды, m^3 .

Результаты расчёта интенсивности подачи пены средней кратности по формуле 4 представлены в табл. 1. Исходная объёмная доля спирта в топливе установлена на уровне 10 % в соответствии с требованиями технического регламента по максимальной величине массовой доли кислорода в топливе – 2,7 [1].

Таблица 1

Интенсивность подачи пены средней кратности для тушения спиртосодержащего топлива с предварительным экстракционным разделением питьевой водой

Исходная объёмная доля спирта в топливе	Объём горючей жидкости, m^3	Объём воды, m^3	Интенсивность подачи пены, $кг/(m^2c)$
0,1	1000	0	0,096
0,1	1000	10	0,095
0,1	1000	20	0,093
0,1	1000	40	0,089
0,1	1000	60	0,086
0,1	1000	80	0,082

Анализ табл. 1 свидетельствует, что для снижения интенсивности подачи пены на 15 % при тушении пожара спиртосодержащего топлива требуется предварительная подача воды в объёме 8 % от исходного объёма горючего.

Для повышения надёжности ликвидации пожара предлагается вариант тактики тушения, предполагающий предварительное "осаждение" спирта в спиртосодержащем топливе подачей распыленной воды на поверхность горючего. Объём предварительно поданной воды определяется исходя из возможности пожарных подразделений обеспечить требуемую интенсивность подачи пены после экстракции спирта. Затем производится подача пены средней кратности на поверхность горючей жидкости. Предварительное "осаждение" спирта в спиртосодержащем топливе позволяет снизить интенсификацию извлечения рабочего раствора из поданной пены, а образовавшийся в результате разрушения пены рабочий раствор пенообразователя будет вносить свой положительный вклад в дальнейшее извлечение спирта из топлива.

Литература

1. **Федеральный закон РФ** от 27 февраля 2008 г. № 118-ФЗ "Технический регламент о требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту".
2. **Шароварников А.Ф., Воевода С.С., Молчанов В.П., Шароварников С.А.** Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: изд. дом "Калан", 2002. 448 с.
3. **Добрянский А.Ф.** Анализ нефтяных продуктов. М.: Главная редакция горно-топливной литературы, 1936. 455 с.
4. **Карпов С.А., Кунашев Л.Х., Царев А.В., Капустин В.М.** Применение алифатических спиртов в качестве экологически чистых добавок в автомобильные бензины // Нефтегазовое дело. 2006. № 2. http://ogbus.ru/authors/KarpovSA/KarpovSA_2.pdf.
5. **ГОСТ 9249-59.** Нормальная температура. Взамен ОСТ 85002-39.
6. **ГОСТ 1770-74.** Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 1770-63.
7. **ГОСТ 9805-84.** Спирт изопропиловый. Технические условия. Взамен ГОСТ 9805-76.
8. **ГОСТ Р 50588-2012.** Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. Взамен ГОСТ Р 50588-93.
9. **Голиков Г.А.** Руководство по физической химии: учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1988. 383 с.
10. **СП 155.13.130.** Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. Утвержден приказом МЧС России № 837 от 26 декабря 2013 г.