

У роботі теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено високу ефективність гасіння пожеж горючих рідин на відкритому просторі вогнегасним аерозолем. Аерозоль отримували в експериментальних зразках вогнегасника і генератора з масою аерозольотворюючого складу в 200 грам та подавали ззовні та з середини вогнища

Ключові слова: вогнегасний аерозоль, пожежогасіння, вогнегасник, генератор вогнегасного аерозолю, аерозольотворювальний заряд, флегматизація

В работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена высокая эффективность тушения пожаров горючих жидкостей на открытом пространстве огнетушащим аэрозолем. Аэрозоль получали в экспериментальных образцах огнетушителя и генератора с массой аэрозольобразующего состава в 200 грамм и подавали извне и из середины костра

Ключевые слова: огнетушащий аэрозоль, пожаротушение, огнетушитель, генератор огнетушащего аэрозоля, аэрозольобразующий состав, флегматизация

УДК 614.841

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ОГNETУШАЩИМИ АЭРОЗОЛЯМИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В. М. Баланюк

Кандидат технических наук, доцент
Львовский государственный университет
безопасности жизнедеятельности
ул. Клепаровская, 35, г. Львов, Украина, 79000
Email: bagr33@ukr.net

1. Введение

Тушение горючих жидкостей в разливе всегда было сложной задачей, так как такого рода пожары очень быстро развиваются, причем скорость распространения пламени по поверхности жидкости составляет 5–6 см/с при нижнем и 45–50 см/с при верхнем концентрационном пределе [1]. Такие характеристики обеспечивают развитие площади пожара до максимальных значений (практически равных площади разлива) уже с первых минут его возникновения и последствия таких пожаров иногда бывают катастрофическими. В условиях вытекания жидкости из сосудов, трубопроводов, технологических установок, пожар можно считать сложным, так как горение может происходить в проемах, пустотах и других труднодоступных местах, где усложнен процесс тушения. Также при разливе жидкостей быстро увеличивается площадь пожара, а горючая жидкость может затекать в другие объемы, помещения, технологические аппараты и таким образом распространять горение. При разливе жидкость значительно увеличивает площадь испарения, что может привести в кратчайший срок к образованию взрывоопасной среды. Соответственно процесс тушения разливов горючих жидкостей, а также предупреждение образования взрывоопасной паровоздушной смеси, на сегодняшний день является проблемным вопросом, требующим решения.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Известно, что для тушения пожаров сейчас используются в основном пенные и порошковые средства пожаротушения. При тушении таких пожаров пенами иногда возникают сложные условия, которые увеличивают время и затраты на тушение пожара. Недостатки при тушении пенами разливов горючих жидкостей следующие. При контакте пены с нагретыми поверхностями или с полярными жидкостями происходит их разрушение, пена не всегда попадает в скрытые объемы и в сложных условиях не всегда заполняет резервуары, подвалы, технологические установки и т. д.

Для успешного тушения пеной большого или сложного пожара необходимо подготовить пенную атаку, которая обеспечит необходимую интенсивность подачи пены в нужный момент. В некоторых случаях удается достичь необходимой интенсивности подачи пены для тушения, а иногда не позволяют запасы пенообразователя. В тяжелых условиях тушения, когда пену необходимо подавать на высоту (особенно при повреждении резервуара или в труднодоступные технологические места и т. д.), она не может обеспечить должного огнетушащего эффекта, так как или вытекает, или не попадает в нужное место. Яркими примерами экстремальной сложности тушения таких пожаров являются пожары, возникающие на нефтебазах, резервуарных парках, автомобильных заправках и других местах хранения горючих и легковоспламеня-

ющихся веществ. Пожары там распространяются, как было уже сказано, молниеносно захватывая другие объекты до момента, когда начинается тушение, и тогда тушится только то, что уже значительно повреждено огнем. Таким образом, тушение таких пожаров представляется проблемным с точки зрения конструктивных и огнетушащих недостатков существующих огнетушащих средств, которые используются для тушения таких пожаров.

Так, в свое время поиск эффективной альтернативы экологически опасным хладонам [2, 3], которые широко использовались при объёмном и открытом способе пожаротушения, привел к распространению огнетушащих порошков. В наше время они являются наиболее распространенными и высокоэффективными ингибиторами горения и широко используются в порошковых огнетушителях в виде порошковых смесей на основе фосфатов, карбонатов, хлоридов калия, натрия и других, которыми комплектуют порошковые огнетушители ВП-1, ВП-2, ВП-5. Широкая популярность этих средств пожаротушения объясняется тем, что они являются самыми универсальными и эффективно тушат пожары классов А, В, С и Е [4]. Также порошковые огнетушители имеют низкую цену, относительно длительный период эксплуатации и достаточно высокую огнетушащую эффективность.

Невзирая на все преимущества, они не лишены и недостатков. Порошковые огнетушители постоянно находятся под высоким давлением, порошок имеет сравнительно невысокую огнетушащую концентрацию, требует особенного хранения, так как их порошковый наполнитель склонен к слеживанию, особенно в присутствии влаги. При тушении они не обеспечивают охлаждающего эффекта, из-за чего существует риск повторного воспламенения уже потушенных объектов. Также порошок во время срабатывания значительно загрязняет материалы, на которые попадает, способствует запылённости воздуха во время тушения пожара, что может привести к существенному нарушению видимости. Время подачи струи порошка составляет от 6 до 12 с [5].

Принимая во внимание особенности порошкового пожаротушения, необходимо отметить, что огнетушащая концентрация, время работы и эффективное расстояние подачи струи порошка будут определяющими критериями огнетушащей эффективности при тушении на открытом пространстве. Так, наиболее распространённый двухлитровый порошковый огнетушитель имеет эффективное расстояние подачи струи порошка около 2 м. Полное время работы огнетушителя составляет в среднем 6 секунд [4, 5]. В сравнении с ним, пятилитровый огнетушитель ВП-5 имеет время работы приблизительно 12 с. Исходя из времени работы порошковых огнетушителей (6–12 с), необходимо отметить, что это время является иногда, достаточно малым для тушения воспламенений в быту. А при тушении воспламенений сложных технологических аппаратов, где источник огня на первых секундах определить трудно, а то и невозможно, время подачи огнетушащего порошка слишком мало. При этом запас порошка в огнетушителе может быть недостаточным. Свою негативную роль в снижении эффективности времени подачи порошка в пожар может сыграть состояние шока у человека, который сталкивается с ним,

так как это может привести к тому, что огнетушащее вещество будет использовано не по назначению. При сравнении со временем работы порошкового огнетушителя время работы аэрозольного огнетушителя или генератора будет в несколько раз больше, а размеры в несколько раз меньше. Так, например АОС массой в 400 грамм горит около 25–40 секунд [6, 7] при объеме заряда всего около 0,4 л. При этом с каждого грамма АОС образуется до 3 л аэрозоля, [7] и в результате выход аэрозоля составит только с 400 грамм около 1200 литров. Таким образом, хорошей альтернативой порошковому тушению может служить использование огнетушащих аэрозолей, в том числе и на открытом пространстве за счет формирования аэрозольных высокоскоростных струй.

Особым преимуществом при порошковом тушении с учетом общего времени работы является то, что работу огнетушителя можно останавливать, или продолжать ее дальше при необходимости. При тушении огнетушащим аэрозолем временно прекратить подачу аэрозоля невозможно. Так что после тушения пламени, огнетушащий аэрозоль будет образовываться и возможно поступать в зону горения до полного сгорания АОС в генераторе. В случае, когда пламя погашено, это обеспечит дополнительное флегматизирование горючей системы определенное время после прекращения горения. Что касается флегматизации, то она будет отвечать времени работы аэрозольного генератора. Так как работу аэрозольного огнетушителя, в отличие от порошкового, в соответствующий момент остановить нельзя, то целесообразно определить время горения АОС как достаточное для надежного тушения пламени и предупреждения повторного воспламенения.

Актуальность проблемы эффективного использования огнетушащего аэрозоля для тушения открытых пожаров заключается в том, что даже сейчас не раскрыты особенности тушения огнетушащим аэрозолем жидкостей в объеме. Возможность создания автономного средства пожаротушения, которое одинаково эффективно тушило бы пожары как в объеме, так и на открытом пространстве и при этом длительность его работы была бы больше известных порошковых установок при характеристиках – высокая огнетушащая эффективность, небольшие размеры, низкая цена, есть актуальной научно-технической задачей, решение которой повысит успешность борьбы с такими пожарами.

Известно, что для каждого класса горения используют определенный вид огнетушащего вещества, который считается наиболее эффективным для него. Из литературных источников известно, что объемная огнетушащая концентрация аэрозолей составляет от 10 г/м^3 до 150 г/м^3 [8–9]. Аэрозоль неорганических солей калия является универсальным огнетушащим агентом и область использования аэрозолей самая широкая, включая даже космическую технику, за счет своей огнетушащей эффективности [8]. Большая разница в огнетушащих концентрациях обусловлена большим количеством различных рецептов АОС, которые разные авторы предлагают использовать для получения огнетушащего аэрозоля. Однако при разных условиях огнетушащая эффективность может быть разной и при комбинировании с другими видами огнетушащих веществ она может усиливаться или же ослабляться. И, наоборот, у разных огнетушащих

Таблица 1

Физико-химические характеристики состава STK-2MD [12]

Рецептура аэрозольобразующего состава	Огнетушащая концентрация, г/м ³	Коэффициент преобразования, % масс	Состав химических компонентов аэрозоля	Размер частиц по фракциям, % мкм
STK-2MD (KNO ₃ , идитол, DCDA, специальные добавки)	0,4–0,5	95–97	K ₂ CO ₃ ·nH ₂ O, C, KHCO ₃ , KOH, NH ₄ HCO ₃ ; CO ₂ , CO, N ₂	<1(52); 1–2(24); 2–5(16); >5(8)

средств механизм тушения горения может быть почти одинаковым. Поэтому априорно и однозначно относить то или другое средство к определенной группе за механизмом прекращения горения [10] без учета конкретных условий применения огнетушащего вещества нельзя. Почти все огнетушащие средства, попадая в зону горения, действуют комплексно, одновременно по двум-трем и более механизмами прекращения горения [11]. Для примера вода и водные растворы, как правило, охлаждают горючий материал, кроме того, охлаждают зону реакции, а при испарении – разбавляют реагирующие компоненты в ней. Но для каждого огнетушащего вещества существуют один-два основных механизма прекращения горения, которые являются доминирующими по сравнению с другими, второстепенными, сопутствующими, побочными. Поэтому, для повышения эффективности тушения особенно важно наиболее четко выделить основной – доминирующий механизм, и уже по этому механизму прекращения горения относить то или другое огнетушащее средство к какой-либо группе, но при определенных условиях его использования. При этом известны огнетушащие средства, которые охлаждают, – вода и ее растворы, изолируют – химическая и воздушно-механическая пена, флегматизируют – инертные газы и, в основном, ингибируют пламя – огнетушащие порошки, а также действуют комбинировано – огнетушащие аэрозоли. В любом случае эффект тушения достигается методом подачи огнетушащих веществ непосредственно в пламя и на горящую поверхность. При этом динамика подачи огнетушащего вещества не учитывается и, как правило, не принимается во внимание, хотя известно, что даже сильное движение воздуха может привести к срыву пламени и затуханию. Следует учитывать то, что с большой скоростью можно подавать лишь газы, порошки, водяные струи, но для этого необходимы стоящие технологии и устройства подачи этих огнетушащих веществ. В случае же тушения аэрозолем легко получить высокую скорость его вытекания, которая будет равна звуковым, а в некоторых случаях и сверхзвуковым значениям [7]. Таким образом, к огнетушащему действию аэрозоля на открытом пространстве необходимо добавить и динамическое влияние на пламя аэрозольной струи, которая может действовать с большой скоростью на пламя и горящую поверхность [7].

Как известно, огнетушащий аэрозоль получают путем сжигания специально подобранной композиции АОС непосредственно в момент тушения пожара. Аэрозольобразующие составы состоят из комбинаций окислителя – KNO₃, KClO₄, NaNO₃, и горючего – идитола, эпоксидно – диановой смолы, каучуков и проч. Комбинированное действие достигается за счет смешивания газовых флегматизаторов CO₂, H₂O, N₂ и ингибиторов в твердой фазе KOH, KHCO₃, KCl, K₂O, NaOH [6, 7] и другие, которые образуются при сгорании АОС. Эти компоненты полностью соответствуют составу порошков [10], но при этом огнетушащая эффективность аэрозоля будет значительно выше, чем порошка, так как частицы аэрозоля меньше, на несколько порядков. Так размеры частиц порошка составляют около 50 микрон, а аэрозоля могут быть разных размеров, но, как правило, распределяются по размерам таким образом (табл. 1).

При уменьшении размера частицы огнетушащая эффективность должна увеличиваться, что указано в работе [13], где исследовали тушение разных по площади модельных пожаров и показали, что мелкие частицы наиболее эффективны при тушении, так как их действие связано с поглощением тепла, разложением, испарением. При этом авторы указали, что ограничение размера частиц для каждого порошка (максимальный размер, который полностью разлагается или испаряется в пламени) не зависит от размера пламени для исследуемых систем. Также схожие результаты получили авторы [14], где подтвердили высокую эффективность дисперсных частиц KHCO₃. Авторами [14] также показано, что эффективность огнетушащего агента обратно пропорциональна размеру частиц и более мелкие частицы более эффективны в подавлении пламени, чем крупные.

Таким образом, высокая огнетушащая эффективность аэрозоля объясняется комплексным действием флегматизаторов и ингибиторов входящих в его состав. Их действие происходит как через физическое влияние и поглощение энергии активных центров пламени, так и благодаря процессам рекомбинации, а также охлаждению зоны вокруг пламени и частичной поверхности горючего вещества. Как известно [15], охлаждение зоны вокруг пламени приводит к существенному уменьшению скорости горения. В результате, при выполнении условия, когда количество тепла, которое отводится в окружающую среду, будет преобладать над количеством тепла, которое образуется в результате реакции горения, наступит тушение. По большей части флегматизация достигается путем введения флегматизаторов в саму горючую систему, однако если речь идет о полном тушении, то важно также обеспечить невозможность повторного возгорания и образования взрывоопасной среды и после тушения. Таким образом, влияние соотношения концентраций газов флегматизаторов и твердой фазы аэрозоля на его огнетушащую эффективность, а также тушение аэрозолем на открытом пространстве, представляет научный интерес с позиции дальнейшего возможного повышения эффективности пожаротушения и расширения области использования аэрозоля. Авторы работы [16] экспериментально определили, что флегматизирующая концентрация огнетушащего аэрозоля на основе неорганических солей калия составляет около 50 г/м³, что, в сравнении с другими флегматизаторами, значительно меньше. А при комбинированном действии огнетушащего аэ-

розоля в смеси с газами флегматизаторами флегматизирующая концентрация CO_2 уменьшается до 9 %, при этом концентрация аэрозоля составляет всего 35 г/м³. Отдельно же флегматизирующая концентрация CO_2 , N_2 , H_2O в среднем составляет соответственно примерно 35 %, 45 % и 55 %, а огнетушащая – соответственно CO_2 – 22,0 % а N_2 – 33,6 % [17], при этом авторы работы указывают на значительное увеличение огнетушащей эффективности при смешивании CO_2 с хладоном. Соответственно смесь аэрозоля с газами флегматизаторами будет также значительно эффективнее, а ее компоненты проявляют синергичный эффект. Таким образом, подача струи аэрозоля при высокой скорости в пламя и на поверхность горючего вещества должна привести к дальнейшему повышению огнетушащей эффективности за счет рассмотренных выше факторов влияния на пламя.

Известно, что по компонентному составу АОС похож на твердое ракетное топливо [18] и соответственно при сгорании АОС в аэрозольном генераторе возможно образование высоких давлений – до 10 МПа, а в некоторых случаях и выше, что делает возможным подачу струи аэрозоля на значительное расстояние и с большой скоростью от генератора аэрозоля. Исходя из этого, тушение огнетушащим аэрозолем открытых пожаров представляет большой интерес с позиции использования таких свойств аэрозоля, о чем было оговорено выше, как высокая скорость его образования и вытекания, что будет обуславливать дальность подачи струи аэрозоля, а соответственно и ингибирующее, флегматизирующее действие за счет компонентов, входящих в состав аэрозоля, а именно газов CO_2 , H_2O , N_2 , и др. и твердой фазы K_2O , KOH , K_2CO_3 , K_2SO_4 , KHCO_3 , KCl в пламени. Соответственно, одним из путей повышения огнетушащей эффективности аэрозольных средств пожаротушения, в том числе и на открытом пространстве, можно считать динамическое влияние струи огнетушащего аэрозоля на пламя.

Таким образом, учитывая недостатки, которыми обладают огнетушащие пены и порошки, и положительные стороны огнетушащих аэрозолей, а также малую изученность вопроса при таком способе тушения, вопрос использования огнетушащего аэрозоля на открытом пространстве вызывает интерес.

Исходя из этого, использование огнетушащего аэрозоля для тушения жидкостей в разливе, а также раскрытие особенностей процесса тушения огнетушащим аэрозолем таких пожаров на открытом пространстве, является актуальной научно-технической задачей. Решение такой задачи будет научной почвой для повышения огнетушащей эффективности аэрозольных систем, расширения области их применения и повышения уровня противопожарной защиты объектов разного назначения с возможностью возникновения на них открытых пожаров горючих жидкостей.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является определение эффективности использования огнетушащего аэрозоля на открытом пространстве для тушения горючих жидкостей.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- разработать экспериментальные методики и устройства подачи огнетушащего аэрозоля для тушения открытых пожаров жидкостей;
- определить необходимую для тушения интенсивность подачи, а также эффективность способов подачи аэрозоля на тушение;
- определить интенсивность нагревания и охлаждения борта противня при тушении аэрозолем.

4. Материалы и методы исследования огнетушащей эффективности

Для подтверждения теоретического предложения относительно возможного высокого огнетушащего действия аэрозоля предложенным способом на открытом пространстве и экспериментального определения эффективности тушения струей аэрозоля при сгорании АОС в генераторе аэрозоля, была рассмотрена и адаптирована соответствующая методика для испытания порошковых огнетушителей [19].

В эксперименте использовался экспериментальный аэрозольный огнетушитель с размерами: диаметр – 60 мм, высота – 150 мм, диаметр сопла – 12 мм (рис. 1) с зарядом АОС в 200 грамм. Для тушения использована смесь бензина (30 мас. ед.) с дизельным горючим (70 мас. ед.) общее количество горючей жидкости составляло 21 л на водяной основе. В качестве огнетушащего заряда был использован аэрозолеобразующий состав из нитрата калия, дициандиамида и идитола [20].

Смесь горючих жидкостей заливали в противень, который соответствовал модельному очагу 21 В с диаметром 920 мм и глубиной 150 мм, поджигали и давали время на разгорание 60 секунд. После чего использовали для тушения аэрозольный огнетушитель. Огнетушащий аэрозоль подавали с расстояния 1,2 м генератором в пламя под разными углами (рис. 2). Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Также для тушения был апробирован метод подачи аэрозоля над поверхностью горящей горючей жидкости (рис. 4). При этом аэрозоль подавали по периметру противня из его центра. В модельный очаг 34 В был помещен генератор (рис. 5), который обеспечивает выброс аэрозоля под напором по периметру противня (стрелками указано направление выхода аэрозоля). Масса аэрозольного заряда составила также 200 грам. Параметры генератора: диаметр генератора – 85 мм, высота – 120 мм. Ширина кольцевого сопла – 10 мм. После поджигания противня и времени на разгорание 60 секунд был задействован генератор и подан аэрозоль. Результаты экспериментов показаны в табл. 3.

Таким образом, для определения эффективности подачи в экспериментальной методике было предусмотрено тушение экспериментальным аэрозольным генератором и огнетушителем разных позиций. При первом варианте тушение проводили аэрозольным огнетушителем с внешней стороны очага под углом в 30° и непосредственно в фронт пламени (рис. 2). Тушение экспериментальным генератором проводили с внутренней части противня (рис. 5).

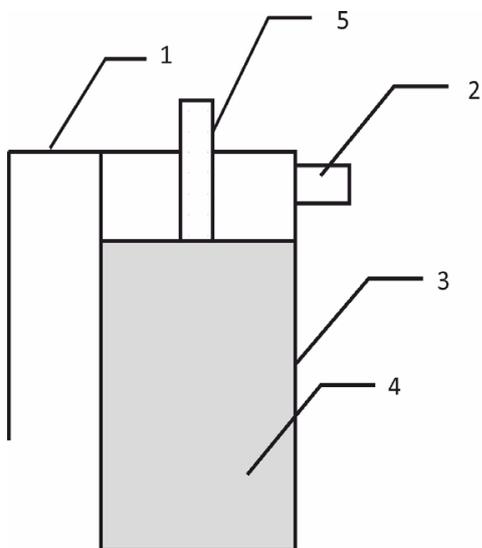


Рис. 1. Экспериментальный аэрозольный огнетушитель: 1 – ручка-держатель; 2 – сопло; 3 – корпус огнетушителя; 4 – заряд АОС; 5 – запал АОС

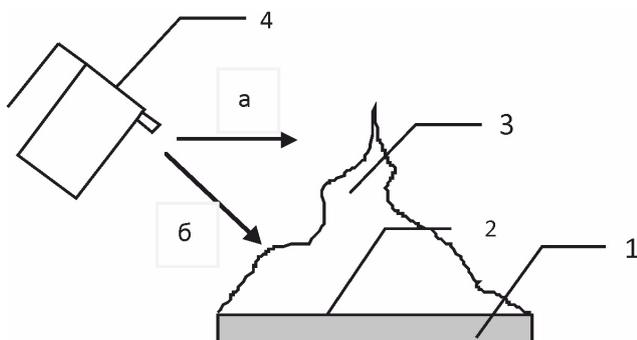


Рис. 2. Процесс тушения экспериментальным аэрозольным огнетушителем: 1 – противень, 2 – жидкость, 3 – пламя, 4 – аэрозольный огнетушитель; а – подача аэрозоля непосредственно в фронт пламени, б – под углом в основание пламени

5. Результаты исследований эффективности тушения горючих жидкостей на открытом пространстве

Результаты эксперимента по определению огнетушащей эффективности аэрозоля на открытом пространстве при тушении горючих жидкостей показаны в табл. 1. На рис. 1 показан временной процесс тушения огнетушащим аэрозолем модельного очага 21 В с бензиново-дизельной смесью на открытом пространстве. На рис. 3 короткой стрелкой указано место контакта струи аэрозоля с пламенем, длинной стрелкой указано место расположения генератора огнетушащего аэрозоля. Как видно, уже на 5-й секунде (рис. 1) тушения затухшая площадь зеркала является значительной и занимает до 80 % от общей площади.

На 6,7 с (рис. 1) жидкость практически потушена, а полностью происходит тушение на 8 секунде работы генератора. Из табл. 1 видно, что при способе подачи огнетушащего аэрозоля в основание факела пламени под углом 30° происходит более быстрое тушение, чем

при фронтальном способе, когда аэрозоль проникает в пламя на некоторой высоте от поверхности жидкости. Очевидно, что тушение эффективнее при подаче под углом за счет проникновения аэрозоля во внутреннюю зону паров и газов на большую глубину вплоть до уровня жидкости. Таким образом, при фронтальном способе подачи минимальное время тушения было значительно больше и составило 22 с.

Таблица 2

Результаты испытаний огнетушащей эффективности тушения струей аэрозоля открытого противня с диаметром 920 мм (Очаг 21В)

№	Подача аэрозоля	Время тушения, с	Время работы огнетушителя, с
1	Под углом 30° в основание пламени	8	45
	Фронтально в пламя	30	49
2	Под углом 30° в основание пламени	12	42
	Фронтально в пламя	25	46
3	Под углом 30° в основание пламени	10	45
	Фронтально в пламя	22	44
4	Под углом 30° в основание пламени	9	45
	Фронтально в пламя	29	49
5	Под углом 30° в основание пламени	10	42
	Фронтально в пламя	28	46
6	Под углом 30° в основание пламени	8	45
	Фронтально в пламя	27	44

Весомую роль в эффективности тушения аэрозолем, как обуславливалось выше, играет также скорость вытекания аэрозоля, которая значительно повышает эффективность тушения за счет динамического срыва пламени и увеличения количества аэрозоля, проникающего в пламя. Таким образом, скорость сгорания аэрозолеобразующего состава будет определять длину и угол выхода струи аэрозоля из генератора.

Слишком медленное и слишком быстрое сгорание АОС является нецелесообразным, так как при этом не обеспечивается выполнение условий тушения и безопасности. При быстром сгорании АОС будет значительная реактивная отдача генератора и возрастет возможность взрыва АОС впоследствии увеличения давления, что представляет значительную опасность при тушении для оператора. При слишком медленном сгорании длина струи аэрозоля не обеспечит необходимой эффективности тушения, так как не будет достигать краев противня, а также не обеспечит турбулизацию и возможный динамический отрыв пламени. Оптимальными являются параметры сгорания АОС, которые обеспечивают время работы генератора аэрозоля в пределах 20–40 секунд и длину струи аэрозоля до 2 метров.

Также во время экспериментального тушения противня измерялась температура термомпарами на бортах противня на уровне среза, где контактирует зона горения с материалом противня.

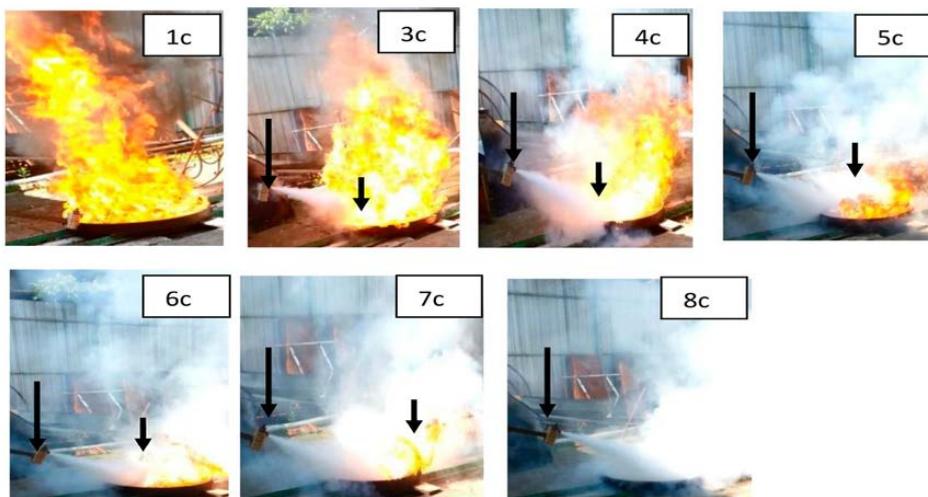


Рис. 3. Процесс тушения модельного очага 21В генератором огнетушащего аэрозоля с массой АОС 200 грамм: 1с–8с – время в секундах

При тушении противня, когда генератор был помещен в центре противня и аэрозоль подавали над поверхностью горящей горючей жидкости, тушение было более эффективным. Результаты эксперимента с генератором при подаче аэрозоля по этому способу приведены в табл. 3

Из результатов, приведенных в табл. 3, видно, что тушение очага происходит довольно быстро и, как правило, в результате отрыва пламени и только в отдельных случаях происходило уменьшение пламени и потухание.

Таблица 3

Результаты испытаний огнетушащей эффективности тушения струей аэрозоля из центра открытого противня с диаметром 1170 мм (Очаг 34В)

№ п/п	Время работы аэрозольного генератора	Время тушения, с	Примечание
1	25	6	Отрыв пламени
2	27	7	Уменьшение и отрыв пламени
3	25	7	Отрыв пламени
4	25	5	Отрыв пламени
5	24	6	Отрыв пламени
6	25	6	Уменьшение и отрыв пламени

За промежуток времени (120 с) после момента тушения при действии аэрозольной струи борт успевает охладиться с температуры 210 °С (рис. 2) до температуры приблизительно 100–80 °С, что значительно уменьшит интенсивность испарения и, соответственно, возможность повторного возникновения горения при действии струи аэрозоля. Соответственно, более длительное время подачи аэрозоля на поверхность горячей жидкости или вещества даже необходимо.

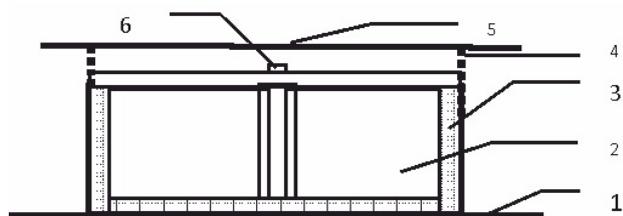


Рис. 4. Устройство экспериментального аэрозольного генератора: 1 – основа-крепление, 2 – заряд аэрозольобразующего вещества, 3 – теплоизолятор, 4 – выходные отверстия, 5 – верхняя крышка, 6 – запал

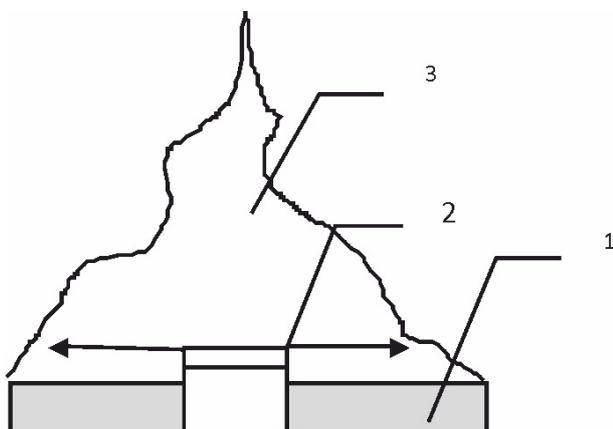


Рис. 5. Расположение аэрозольного экспериментального генератора в противне: 1 – противень с горючей жидкостью, 2 – генератор огнетушащего аэрозоля, 3 – пламя

6. Обсуждение результатов эффективности тушения горючих жидкостей на открытом пространстве огнетушащим аэрозолем

Результаты экспериментов показали и подтвердили, что струя аэрозоля может эффективно тушить открытые пожары вероятно комбинированным действием за счет ингибирования, флегматизирования и дополнительно динамически срывая и турбулизируя пламя. В результате влияние всех этих факторов на пламя приводит к значительному ухудшению условий для возникновения и продолжения горения, а именно за счет значительного повышения энергии активации реакции горения. Кривые, характеризующие изменение температуры, показаны на рис. 6.

Повторное воспламенение горючей смеси при нагретых даже значительно выше температуры самовоспламенения бортах противня при таких условиях является почти невозможным. Флегматизирование горючей среды над горючей жидкостью огнетушащим аэрозолем после момента тушения является необходимым для предупреждения повторного воспламенения горючей среды и приводит к значительному охлажде-

нию поверхности вещества, а также дополнительному эффекту флегматизирования горючей системы над ее поверхностью.

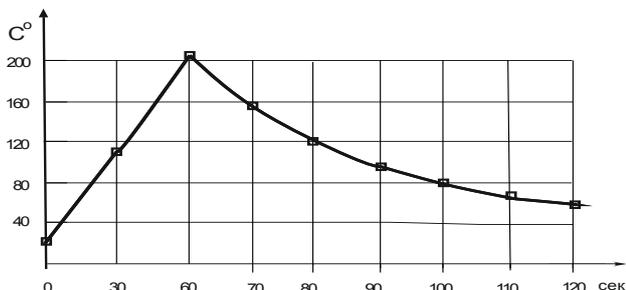


Рис. 6. Интенсивность нагрева и охлаждения борта противня

Результаты эксперимента показывают, что наиболее эффективным способом тушения является способ, когда огнетушащий аэрозоль подается из центра противня из генератора, погруженного в жидкость под пламя, и при этом аэрозоль, который под давлением выбрасывается, сдувает и разрушает структуру пламени. Соответственно, получаем тушение пламени как бы изнутри, что будет значительно эффективней, так как при этом на огнетушащее вещество не будут действовать такие факторы, как конвективные потоки, при этом весь аэрозоль будет проходить через зону горения и эффективнее подавлять пламя. Кроме того, при подаче аэрозоля из середины противня аэрозоль будет влиять и на горючие пары или газы, которые будут поступать в зону горения уже вместе с ним, и подавление реакции горения будет уже происходить на подготовительной стадии за счет разбавления, ингибирования, и частично охлаждения горючей гомогенной смеси.

Таким образом, эксперимент показал высокую эффективность предложенных способов тушения жидкости в разливе. При этом в предполагаемых способах тушения значительно меньше масса огнетушащего вещества, образуются условия для эффективного тушения – большая скорость струи, высокая интенсивность подачи, низкая температура на выходе, небольшие размеры огнетушителя и генератора, а также масса АОС. При этом время подачи аэрозоля составляет около 30 секунд и, как видно, полученные параметры значительно превышают показатели существующих средств тушения таких пожаров – порошковых огнетушителей и модулей. Интенсивность подачи для порошковых средств тушения может иметь различные значения и колебаться от 160 г/(с*м²), [21] до 1кг при тушении лафетными стволами [19] (табл. 4).

Минимальные значения наблюдались при близком расстоянии порошкового модуля от очага в работе [22] и при тушении струями из порошкового модуля значение интенсивности составило около 0.056 кг/(с*м²) на расстоянии 0.7 м от пола. Если сравнить эти значения с полученными экспериментальными результатами аэрозольных огнетушащих средств, интенсивность по-

дачи которых от 8 г/(с*м²), то это значительно меньше. При этом огнетушитель и генератор аэрозоля обеспечивают тушение стандартного очага 21 В и 34 В, который предназначен для испытаний эффективности тушения порошковыми огнетушителями объемом от 2 литров и больше со временем работы около 8 и 12 секунд, что, учитывая массу заряда АОС и интенсивность подачи аэрозоля, можно считать более эффективным, чем при тушении порошками.

Таблица 4

Интенсивность подачи порошковых огнетушащих составов (ОПС) при тушении нефтепродуктов [19]

Вещества и материалы	Интенсивность, кг/(с*м ²)
Нефтепродукты с температурой вспышки паров 28 °С и ниже (разлив):	
при тушении лафетным стволом	1
при тушении ручным стволом	0,36
Нефть и нефтепродукты с температурой вспышки паров (выше) 28 °С (разлив)	
	0,16

Исходя из этого и учитывая положительный результат эксперимента и сравнительно небольшое время тушения аэрозолем пожара на открытом пространстве, можно говорить о целесообразности применения огнетушащего аэрозоля для тушения открытых пожаров и необходимости дальнейших исследований в этом направлении.

8. Выводы

1. Учитывая особенности тушения аэрозолями, разработаны экспериментальные методики, а также экспериментальные образцы аэрозольного огнетушителя и генератора огнетушащего аэрозоля для подачи огнетушащего аэрозоля для тушения открытых пожаров и разливов жидкостей по фронту извне, и под пламя из середины очага.

2. Экспериментально определена необходимая для тушения интенсивность подачи аэрозоля, которая составляет около 8 г/(с*м²), что значительно ниже интенсивности подачи порошка, а также определено, что наиболее эффективным является тушение, когда огнетушащий аэрозоль подается из центра противня под пламя. При этом то же количество аэрозольобразующего состава обеспечивает тушение очага 34 В за время около 6 секунд.

3. Экспериментально определены интенсивность нагрева и охлаждения борта противня при тушении аэрозолем и установлено, что повторное воспламенение горючей смеси при нагретых даже значительно выше температуры самовоспламенения бортах противня при условиях заявленного времени подачи аэрозоля – в среднем около 25 секунд для экспериментального аэрозольного огнетушителя и 45 секунд, для генератора является почти невозможным.

Литература

1. Абдурагимов, И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст] / И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров. – Москва: ВПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.

2. Andreev, V. A. Replacement of Halon in Fire Extinguishing Systems, Proceedings [Text] / V. A. Andreev, N. P. Kopylov, V. I. Makeev, V. A. Merkulov, V. N. Nikolaev // Halon Alternatives Technical Working Conference. – Albuquerque, New Mexico, 1993. – P. 409–412.
3. Phase out of Halon in Portable Extinguishers [Electronic resource]. – Available at: <https://www.firesafe.org.uk/phase-out-of-halon-in-portable-extinguishers/>
4. Ковалишин, В. В. Основи експлуатації вогнегасників [Текст]: навч. пос. / В. В. Ковалишин, І. Я. Криса, О. Е. Васильєва, Я. Б. Кирилів. – Львів: "Сполом", 2010. – 304 с.
5. Łangowski, K. Gaśnice w zakładach pracy – rodzaje, oznakowanie, konstrukcje i działanie w zakładach pracy – parametry (2) [Text] / K. Łangowski // Bezpieczeństwo Pracy. – 2008. – Vol. 1, Issue 436. – P. 75–89.
6. Stat-X Fixed System: Electrical Units [Electronic resource]. – Available at: http://www.statx.com/Fixed_System_Thermal.asp
7. Agafonov, V. V. Ustanovki ajerozol'nogo pozharotusheniya. Jelementy i harakteristiki proektirovanie montazh i jekspluatacija [Text] / V. V. Agafonov, N. P. Kopylov. – Moscow: VNIPO, 1999. – 229 p.
8. Back, G. Evaluation of Aerosol Extinguishing Systems for Machinery Space Applications [Text] / G. Back, M. Boosinger, E. Forssell, D. Beene, E. Weaver, L. Nash // Fire Technology. – 2009. – Vol. 45, Issue 1. – P. 43–69. doi: 10.1007/s10694-008-0053-9
9. Баланюк, В. М. Визначення вогнегасної ефективності деяких аерозольотворювальних сполук [Текст]: зб. наук. пр. / В. М. Баланюк, О. І. Гарасимюк, П. В. Пастухов // Пожежна безпека. – 2013. – № 23. – С. 14–19.
10. Исавнин, Н. В. Средства порошкового пожаротушения [Текст] / Н. В. Исавнин. – М.: Стройиздат, 1983. – 154 с.
11. Баратов, А. Н. Применение ингибиторов для пожаротушения [Текст] / А. Н. Баратов // Журнал ВНО им. Д.И. Менделеева. – 1985. – Т. 30, № . – С. 13–20.
12. The Mechanism of Fire Suppression by Condensed Aerosols / Agafonov V. V., Kopylov, S. N., Sychev A. V., Uglov V. A., Zhyganov D. B. – Proceedings of the 15th HOTWC, May 24-26. – Albuquerque, NM, 2004. – NIST, sp. pub. 984-3, 2005. – 10 p.
13. Ewing, C. T. Extinguishing class B fires with dry chemicals: Scaling studies [Text] / C. T. Ewing, F. R. Faith, J. B. Romans, C. W. Siegmann, R. J. Ouellette, J. T. Hughes, H. W. Cathart // Fire Technology. – 1995. – Vol. 31, Issue 1. – P. 17–43. doi: 10.1007/bf01305266
14. Reeda, M. D. Laboratory Evaluation of Bicarbonate Powders as Fire Suppressants [Text] / M. D. Reeda, J. W. Fleming, V. A. Williams, R. S. Sheinson // Proceeding of the International Conference of Ozone Protection Technologies. – Baltimore, MD, 1997. – P. 333–344.
15. Розловский, А. Н. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами [Текст] / А. Н. Розловский; 2-е изд. перер. – Москва: "Химия", 1980. – 375 с.
16. Balanyuk, V. M. Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosols prays [Text] / V. M. Balanyuk, D. A. Zhurbinskiy // Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosols prays flegmatyzacja aerrozolami mieszanin palnych. – 2013. – Vol. 32, Issue 4. – P. 53–58.
17. Sakei, R. Flame-extinguishing Concentrations of Halon Replacements for Flammable Liquids [Text] / R. Sakei, N. Saito, Y. Saso, Y. Ogawa, Y. Inoue // Report of Fire Research Institute of Japan. – 1995. – Vol. 80. – P. 36–42.
18. Фахрутдинов, И. Н. Ракетные двигатели твердого топлива [Текст] / И. Н. Фахрутдинов. – М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
19. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні відомості та методи випробувань [Текст]. – Держстандарт України.
20. Патент RU/№2150310. Аэрозольобразующая композиция для объемного тушения пожаров [Текст]. – № заявки 99105855/12; заявл. 31.03.1999; опубл. 10.06.2000.
21. Теревнев, В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров: методика, примеры, задания [Текст] / В. В. Теревнев. – Екатеринбург: Калан, 2011. – 460 с.
22. Ewing, C. T. Extinction Concentrations for Small Diffusion Pan Fires [Text] / C. T. Ewing, F. R. Faith, J. T. Hughes, H. W. Cathart // Fire Technology. – 1989. – Vol. 25, Issue 2. – P. 134–149. doi: 10.1007/bf01041422