

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Е. Н. ДЕГАЕВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Н. А. ВЛАСОВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. И. МЕЛЬНИКОВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ИНГИБИТОРОМ

Рассмотрен процесс огнетушащего действия химически активных ингибиторов при тушении пламени горючих жидкостей. Представлена оригинальная методика для исследования процесса тушения пламени фреоном. Проведены экспериментальные исследования процесса тушения пламени путем измерения времени тушения и удельного расхода фреона, поданного на горящую поверхность жидкости. На основе экспериментальных данных представлены зависимости времени тушения и удельного расхода фреона от интенсивности подачи распыленной струи. В качестве горючих жидкостей использовали *n*-гептан, дизельное топливо и этанол, которые тушили с использованием тетрафтордибромэтана — фреона 114B2, имеющего относительно высокую температуру кипения (около 60 °С). Эксперименты проводили в двух режимах распыления жидкой струи хладона, которые характеризовались средним диаметром капель соответственно около 80 и 20 мкм. Показано, что увеличение степени дисперсности струи фреона с 80 до 20 мкм привело к резкому повышению огнетушащей способности, что выразилось в снижении критической интенсивности в 2 раза, а удельного расхода при тушении пламени гептана и дизельного топлива в 3–4 раза. Установлена общая закономерность процесса тушения фреоном 114B2 дизельного топлива, гептана и этанола, которая выражается в наличии экстремальной зависимости удельного расхода фреона от интенсивности подачи струи огнетушащего состава, что связано с возникновением сопутствующего фактора — увлечения кислорода воздуха струей диспергированной жидкости.

Ключевые слова: химически активные ингибиторы; тушение пламени горючих жидкостей; огнетушащая эффективность хладона; удельный расход фреона; механизм процесса тушения фреоном.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76

Газовые огнетушащие составы (ГОС) условно делятся на нейтральные (негорючие) газы (НГ) и химически активные ингибиторы (ХАИ). К нейтральным газам относятся инертные газы аргон, гелий, а также азот и диоксид углерода [1]. Последний может применяться в смеси с инертными газами. К химически активным ингибиторам относятся органические фторсодержащие соединения, молекулы которых могут содержать атомы галогенов, например брома или хлора. Ввиду агрессивности бромсодержащих соединений в отношении озонового слоя Земли их заменяют “альтернативными” хладонами,

такими, например, как хладон 227ea (HFC-227ea, FM-200), гептафторпропан ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$) (компания “DuPont”) или фторированный кетон (флуорокетон C-6, фторкетон) (компания “3М”), который построен на основе шестиуглеродной химической молекулы $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ [2, 3]. Эти соединения имеют относительно высокую температуру кипения, что позволяет хранить их в баллонах с низким давлением. Они подаются в очаг горения в виде струи распыленной жидкости, капли которой быстро испаряются в зоне горения.

© Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н., Власов Н. А., Мельников А. И., 2015

Хладоны — это общее название галогензамещенных углеводородов. Огнетушащая способность хладонов, как правило, тем выше, чем больше атомов брома, фтора и хлора в молекуле.

С учетом вновь возросшего интереса к хладам — химически активным ингибиторам пламени в настоящей работе рассмотрен процесс их огнетушащего действия при тушении пламени горючих жидкостей.

Соединения углерода с фтором и бромом в различных пропорциях оказались низкотоксичными [4]. Наиболее широко применялись бромтрифторметан (хладон 1301) и бромхлордифторметан (хладон 1211), а также тетрафтордибромэтан (хладон 2402, или фреон 114B2), но в связи с возможным негативным воздействием их на озоновый слой NFPA рекомендовал ограничить их применение [5].

Огнетушащие концентрации этих составов находятся в пределах 4,6–4,8 % об. Наиболее эффективными являются хладоны 114B2 и 13B1. Флегматизирующая концентрация этих газов для гексано-воздушных смесей составляет соответственно 3,5 и 5,5 % об.

Механизм огнетушащего действия химически активных ингибиторов определяется химической структурой их молекул, содержащих, как правило, несколько разнородных атомов, в том числе атомы брома, фтора, хлора и один или два атома углерода (возможно также наличие атомов водорода) [1].

В практике тушения пожаров длительное время использовались хладоны CH_3Br , $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$, CF_3Br и $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ и их смеси с диоксидом углерода. Огнетушащие концентрации (объемные) ХАИ в 5–10 раз ниже, чем у нейтральных газов. Это обусловлено тем, что, имея низкую температуру кипения, капли хладона легко испаряются в зоне горения. Благодаря высокой теплоемкости молекулы фреона поглощают тепло реакции горения, разлагаясь при этом в пламени при относительно невысоких температурах (до 1000 К). Часть тепла реакции горения будет расходоваться на испарение капель жидкости и разогрев молекул ингибитора, вторая — поглощаться в процессе распада ингибитора, и лишь третья часть пойдет на разогрев собственно горючего и окислителя. Вследствие ингибирования реакции часть горючего не будет участвовать в горении, что приведет к снижению общего количества тепла, выделяющегося при горении [6–9].

Хладон Noves 1230 компании “3М™” (перфторированный кетон), иногда называемый “сухой водой”, представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабо выраженным запахом, которая не проводит электричество и тяжелее воды в 1,6 раз. Хладон при комнатной температуре находится в жидком состоянии и хранится при низком давлении. Обра-

щение с этим веществом и зарядка им систем тушения значительно проще по сравнению с другими хладами. Noves 1230 входит в перечень веществ, разрешенных к применению на территории России, под наименованием “хладон ФК-5-1-12”.

Жидкое исходное состояние Noves 1230 с температурой кипения 49 °С позволяет использовать для этого хладона технологию и оборудование, аналогичные применяемым для наиболее эффективного хладона 114B2, который также является жидкостью с температурой кипения 60 °С. Для испытаний огнетушащей эффективности хладона в связи с доступностью получения использовали фреон 114B2.

Экспериментальные исследования процесса тушения пламени проводили путем измерения времени тушения и удельного расхода фреона, поданного на горящую поверхность жидкости. Для получения более полной информации процесс тушения проводили в широком диапазоне интенсивности подачи фреона. Для выявления особых точек на основе экспериментальных данных строили зависимость времени тушения и удельного расхода фреона от интенсивности подачи распыленной струи.

Основной сложностью при проведении огневых экспериментов является определение количества фреона, расходуемого на тушение пламени. Для преодоления этой проблемы использовали методику, в которой поток фреона останавливали резким перевертыванием подающего устройства. Схема устройства подачи фреона в зону горения представлена на рис. 1.

Фреон подается к распылителю, находящемуся в вертикальном положении, когда заборная трубка погружена во фреон. При подъеме носика распылителя после тушения основание трубки оказывается

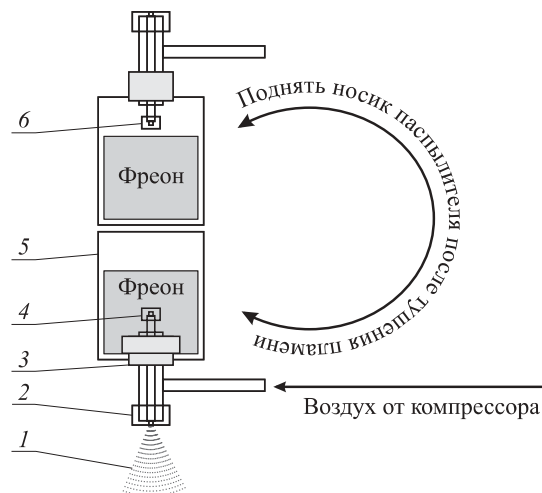


Рис. 1. Схема поворотного узла подачи фреона в факел пламени горючей жидкости: 1 — струя фреона; 2 — распылитель; 3 — разъемная крышка; 4 — калиброванный насадок во фреоне; 5 — стеклянная емкость; 6 — калиброванный насадок в воздухе



Рис. 2. Фрагменты процесса тушения пламени гептана распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

в воздухе, и фреон перестает поступать к распылителю. Благодаря тому, что подающая фреон линия очень короткая, остаточным количеством фреона в линии пренебрегали. Расход фреона регулировали путем изменения свободного сечения заборной трубки в ее нижней части, размер которого уменьшали путем сплющивания ее основания.

В качестве горючих жидкостей использовали *n*-гептан, дизельное топливо и этиловый спирт, для тушения которых применяли тетрафтордибромэтан — фреон 114B2.

Эксперименты проводили в двух режимах распыления жидкой струи хладона, которые характеризовались средним диаметром капель соответственно около 80 и 20 мкм.

В начале процесса тушения гептана (рис. 2) при подаче распыленной струи фреона происходило резкое увеличение объема факела пламени. Этот эффект обусловлен дополнительным притоком кислорода воздуха, увлекаемого распыленной струей. В дальнейшем в зоне горения гептана повышалась концентрация паров фреона, а при достижении флегматизирующей концентрации происходило прекращение горения.

Характер процесса тушения дизельного топлива (рис. 3) отличается тем, что зона горения находится непосредственно у горящей поверхности углеводорода. Капли фреона размером 80 мкм только частично испаряются в газовой фазе. Основная часть потока капель достигает горящей поверхности гептана, имеющей температуру свыше 150 °С. Часть капель, имеющих низкую температуру кипения (около 60 °С), испаряются в потоке восходящих паров углеводорода, а другая — при непосредственном контакте с горящим топливом.

Картина тушения, так же как и в случае с гептаном, характеризуется резким увеличением размеров факела пламени. Затем поверхность горения частично освобождается от пламени, а при достижении в слое паровоздушной среды концентрации, равной флегматизирующей, наступает ликвидация горения.

Процесс тушения этанола (рис. 4) во многом схож с тушением дизельного топлива. В первый момент происходит расширение факела пламени. Температура факела пламени этанола выше, чем у дизельного топлива, за счет низкой излучающей способности.

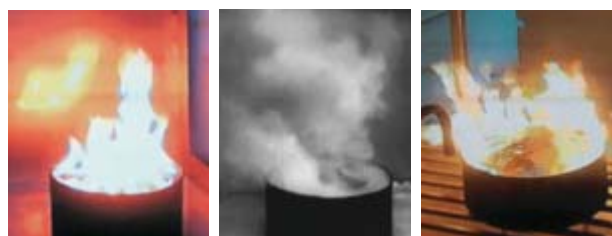


Рис. 3. Фрагменты процесса тушения пламени дизельного топлива распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм



Рис. 4. Фрагменты процесса тушения пламени этилового спирта распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

Поэтому, несмотря на то что температура горящего этанола около 85 °С, капли фреона испаряются, не погружаясь в толщу этанола. Тушение пламени этанола происходит так же, как и в случае с дизельным топливом, непосредственно у горящей поверхности.

Как и ожидалось, при тушении пламени горючих жидкостей с высокой температурой вспышки процесс тушения сосредотачивается у горящей поверхности и происходит за счет испарения капель, контактирующих с кипящей жидкостью. Тушение пламени гептана проходит в газовой фазе, где капли фреона, частично испаряясь, создают флегматизирующую концентрацию со смесью паров горючего и воздуха.

Результаты экспериментов по тушению пламени горючих жидкостей распыленной струей фреона представлены на рис. 5–8. Для детального исследования процесса тушения эксперименты проводили в широком диапазоне интенсивностей подачи огнетушащего состава, что позволило выявить оптимальные параметры процесса тушения и показать роль сопутствующего фактора, который выражается в дополнительном притоке в зону горения кислорода воздуха.

Кривые, характеризующие зависимость времени тушения от интенсивности, имеют экспоненциальную форму, изменяясь от больших значений времени при малой интенсивности подачи струи хладона до более низких постоянных значений при высокой интенсивности. Для всех исследованных жидкостей удельный расход фреона проходит через минимум, положение которого на кривых расхода соответствует оптимальной интенсивности подачи хладона.

Капли фреона отличаются большей массой и более низкой температурой кипения по сравнению с водой. Плотность фреона 114B2 в 2,2 раза выше, чем у воды, а температура кипения почти вдвое ниже. В связи с этим прекращение горения струей фреона с размером капель 80 мкм происходит непосредственно по плоскости раздела *горючее – воздух*, где наблюдается интенсивное испарение капель фреона при контакте его с нагретой в процессе горения жидкостью. Капли фреона, соприкасаясь с нагретым до 150–180 °С поверхностным слоем, вскипают и вместе с испаряющимися молекулами горючего поступают в зону горения. Если вся горящая поверхность орошается каплями фреона, то горение прекращается за несколько секунд. Если площадь горения больше орошаемой поверхности, то пламя быстро перемещается к неорошаемым участкам горячей поверхности. Эффект тушения достигается, если площадь орошаемой поверхности составляет более 60 % общей площади горения. Следовательно, механизм процесса тушения горючих жидкостей сопровождается формированием тушащего слоя с фреоном непосредственно у горячей поверхности жидкости. Для повышения эффективности тушения пламени хладон необходимо использовать распылители с углом распыла не менее 90°.

Судя по минимальному удельному расходу фреона при тушении гептана и дизельного топлива коэффициент использования фреона для гептана заметно ниже. В связи с этим минимальный удельный расход фреона при тушении пламени гептана на порядок выше, чем при тушении пламени дизельного топлива и этанола.

Этот эффект, в первую очередь, связан со сравнительно высокой скоростью выгорания гептана — порядка 0,05 кг/(м²·с), тогда как скорость горения этанола 0,01–0,02 кг/(м²·с), а дизельного топлива

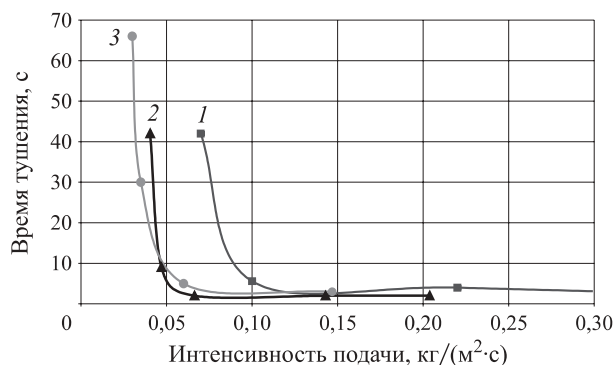


Рис. 5. Зависимость времени тушения пламени гептана (1), дизельного топлива (2) и этанола (3) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

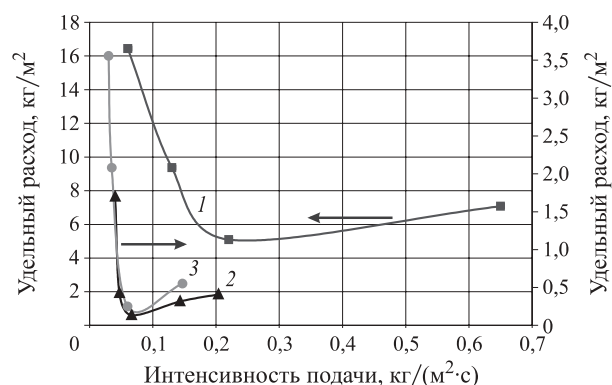


Рис. 6. Зависимость удельного расхода фреона 114B2 при тушении пламени гептана (1), дизельного топлива (2) и этанола (3) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

— вдвое ниже [10, 11]. Чем выше скорость поступления паров горючего в зону горения, тем больше требуется фреона для обеспечения флегматизации горючей смеси.

Тушение пламени горючих жидкостей фреоном высокой дисперсности (средний размер капель 20 мкм) происходило в газовой фазе при тушении как гептана, так и дизельного топлива. Благодаря малым размерам капли фреона практически полностью испарялись в зоне горения, и при достижении его флегматизирующей концентрации в слое паровоздушной смеси горение прекращалось.

Так же как и при дисперсности 80 мкм, наблюдается характерная зависимость времени тушения и удельного расхода фреона дисперсностью 20 мкм от интенсивности его подачи (рис. 7). Критическая интенсивность подачи фреона резко снижается в сравнении с фреоном дисперсностью 80 мкм.

Результаты сравнительного графического анализа процесса тушения пламени струей фреона разной дисперсности показаны на рис. 8 на примере тушения гептана и дизельного топлива. Из рис. 8 видно, что как критическая, так и оптимальная ин-

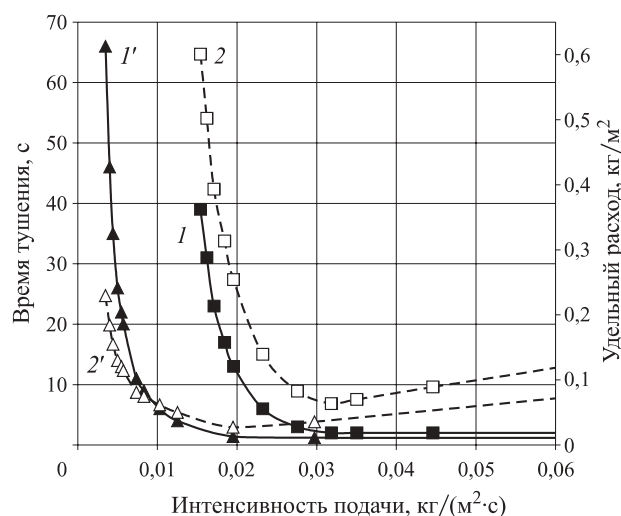


Рис. 7. Зависимость времени тушения (I , I') и удельного расхода фреона (2 , $2'$) при тушении пламени гептана (I , 2) и дизельного топлива (I' , $2'$) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 20 мкм

тенсивности резко снижаются (практически в два раза) при использовании струи высокой дисперсности. Так, критическая интенсивность при тушении гептана снизилась с 0,07 до 0,04 кг/(м²·с), дизельного топлива — с 0,015 до 0,008 кг/(м²·с). Полученные результаты показывают необычайно высокую эффективность фреона дисперсностью до 20 мкм.

В сравнении с тушением гептана и дизельного топлива, проведенным с использованием огнетушащих порошков [12, 13], удельный расход распыленного фреона при критической интенсивности его подачи на порядок ниже. Так, минимальный удельный расход фреона при тушении пламени гептана составил 0,07 кг/м², дизельного топлива — 0,03 кг/м², в то время как удельный расход порошка при тушении гептана — 1,2 кг/м², дизельного топлива — 0,8 кг/м² [14, 15], т. е. фреон практически на порядок эффективнее порошка.

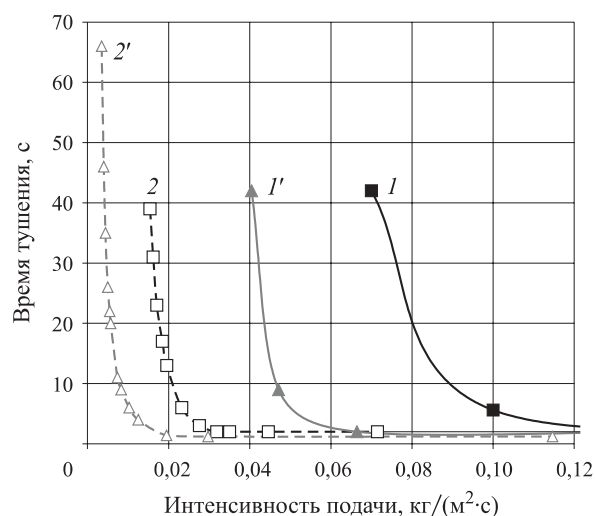


Рис. 8. Зависимость времени тушения пламени гептана (I , I') и дизельного топлива (2 , $2'$) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средней дисперсностью 80 мкм (I , 2) и 20 мкм (I' , $2'$)

Исследования по тушению пламени горючих жидкостей фреоном 114B2 позволили выявить общую закономерность процесса тушения фреоном, которая выражается в наличии экстремальной зависимости его удельного расхода от интенсивности подачи. Это связано с возникновением сопутствующего фактора — увлечения кислорода воздуха струей диспергированной жидкости.

Увеличение степени дисперсности струи фреона с 80 до 20 мкм привело к резкому повышению его огнетушащей способности, что выразилось в снижении критической интенсивности в 2 раза, а удельного расхода при тушении пламени гептана и дизельного топлива — в 3–4 раза.

Огнетушащая эффективность тонкораспыленной струи фреона 114B2 при тушении пламени гептана и дизельного топлива оказалась на порядок выше по сравнению с огнетушащей эффективностью порошков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
2. Решения Девятого совещания сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. — Монреаль, 1997. URL: <http://www.un.org/ru/documents/declconv> (дата обращения: 10.08.2015).
3. Production and Consumption of Ozone Depleting Substances. 1986–1995. — UNEP, OzoneSecretariat, 1997.
4. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. — М. : Химия, 1988. — 592 с.
5. NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2012 Edition. — National Fire Protection Association, 2012.
6. Галогенсодержащие пожаротушающие агенты: свойства и применение : справ. изд. / Под ред. Н. П. Копылова. — СПб. : ТЕЗА, 1999. — 127 с.
7. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 267 с.

8. Корольченко Д. А., Громовай В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.
9. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
10. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
12. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. — М.: Стройиздат, 1982. — 72 с.
13. Куцук В. А., Долговидов А. В., Полежаев В. А. Тушение модельного очага максимального ранга из автоматических установок порошкового пожаротушения (АУП). Крупные пожары: предупреждение и тушение: матер. Всерос. науч.-практ. конф. — М.: ВНИИПО, 2001. — Ч. 2. — 585 с.
14. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
15. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.

Материал поступил в редакцию 15 августа 2015 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н., Власов Н. А., Мельников А. И. Тушение пламени горючих жидкостей химически активным ингибитором // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76.

English

SUPPRESSION OF A FLAME OF COMBUSTIBLE LIQUIDS BY REACTION INHIBITOR

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgisu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgisu.ru)

DEGAEV E. N., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgisu.ru)

VLASOV N. A., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgisu.ru)

MELNIKOV A. I., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgisu.ru)

ABSTRACT

Process of fire extinguishing effect of reaction inhibitors during suppression of a flame of combustible liquids is considered. The original methodology of research of a flame extinguishing process, during which was used freon, is presented. Experimental investigations of flame extinguishing process by means of measurement of the extinguishing time and the specific consumption of freon supplied onto the burning liquid surface are conducted. On the basis of experimental data dependences of the extinguishing time and the specific consumption of freon on the flow rate of sprayed stream are presented. As combustible liquids it was used: *n*-heptane, diesel fuel and ethanol which were extinguished by dibromotetrafluoroethane — the 114B2 freon with rather high boiling point (about 60 °C). Experiments were carried out in two modes of dispersion of a liquid chladone stream which were characterized by an average diameter of drops about 80 and 20 μm respectively. It is shown that increase of dispersion degree of a freon stream from 80 to 20 μm led to a sharp increase of fire extinguishing ability which resulted in decrease of the critical intensity in 2 times, and the specific consumption during extinguishing of heptane and diesel fuel flames in 3–4 times. The overall pattern

of extinguishing of diesel fuel, heptane and ethanol, using freon 114B2, which is expressed in presence of extreme dependence of the freon specific consumption on the flow rate of extinguishing compound stream, that is connected with appearance of the contributing factor when oxygen is carried away by the stream of dispersed liquid, is determined.

Keywords: reaction inhibitors; extinguishing of combustible liquid flame; extinguishing efficiency of chladone; specific consumption of freon; mechanism of extinguishing process using freon.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
2. *Decisions of the Ninth conference of members of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. — Montreal, 1997. Available at: <http://www.un.org/ru/documents/decl conv> (Accessed 10 August 2015).
3. *Production and Consumption of Ozone Depleting Substances. 1986–1995*. — UNEP, Ozone Secretariat, 1997.
4. Lebedev N. N. *Khimiya i tekhnologiya osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza* [Chemistry and technology of the basic organic and petrochemical synthesis]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 592 p.
5. *NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2012 Edition*. National Fire Protection Association Publ., 2012.
6. Kopylov N. P. (ed.). *Galogensoderzhashchiye pozharotushashchiye agenty: svoystva i primeneniye: sprav. izd.* [Halogen containing fire extinguishing agents: properties and application. Reference book]. Saint Petersburg, TEZA Publ., 1999. 127 p.
7. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of combustible liquids' flame]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.
8. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. *Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh* [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
9. Korolchenko D. A. *Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy* [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
10. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Tusheniye plameni ognetushashchimi poroshkami i aerolnymi sostavami* [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.
12. Baratov A. N., Vogman L. P. *Ognetushashchiye poroshkovyye sostavy* [Fire extinguishing powder compounds]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 72 p.
13. Kushchuk V. A., Dolgovidov A. V., Polezhaev V. A. *Tusheniye modelnogo ochaga maksimalnogo ranga iz avtomaticheskikh ustanovok poroshkovogo pozharotusheniya (AUP)* [Suppression of the model fire of a maximal rank from automatic dry powder fire extinguishing installation (APEI)]. *Krupnyye pozhary: preduprezhdeniye i tusheniye: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Large-scale fires: prevention and extinguishing. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001. Part 2, 585 p.
14. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni* [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
15. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognetushashchimi veshchestvami* [Universality of mechanism of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.

For citation: Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N., Vlasov N. A., Melnikov A. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey khimicheski aktivnym ingibitorom* [Suppression of a flame of combustible liquids by reaction inhibitor]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76.