

УДК 614.844.5

С.А. Макаров¹, М.И. Саутиев², А.Н. Фещенко¹, А.В. Третьяков³, И.А. Апанасенко⁴
(¹Академия ГПС МЧС России, ²Испытательная пожарная лаборатория по Республике Ингушетия, ³ООО "Эгида ПТВ", ⁴ИПСА ГПС МЧС России; e-mail: saver32@mail.ru)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННО-РАЗДЕЛЯЕМЫХ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Представлены результаты экспериментальных исследований по тушению пеной средней кратности модельных топлив с различным объёмным соотношением углеводородной и спиртовой частей. Проведено сравнение основных параметров тушения спиртосодержащих топлив и спиртосодержащих топлив после экстракционного извлечения из них спирта водой.

Ключевые слова: пенное пожаротушение, спиртосодержащие моторные топлива, экстракция, пена средней кратности.

Проблема тушения пожаров смесевых топлив появилась в конце XX века. Изучением механизма тушения спиртосодержащих смесей занимались многие учёные [1-6]. Группа исследователей [1] установила закономерности тушения смесевых топлив, состоящих из углеводородов и спиртов. В качестве спиртовой части топлива использовались метанол и этанол. Тушение производилось пеной на основе фторированных пенообразователей на поверхность горючей жидкости. Авторы [2, 7] выявили, что наиболее трудным для тушения является состав спиртосодержащих топлив, в который входит изопропиловый спирт. Так же ими было установлено, что концентрация спирта, не превышающая 5 % об., практически не влияет на характер тушения горючих жидкостей. Тем не менее, проблема тушения спиртосодержащих топлив остается актуальной.

Задача данной статьи заключается в том, чтобы продемонстрировать эффективность способа тушения пеной средней кратности спиртосодержащих топлив при проведении предварительной экстракции топлива водой.

В настоящее время Технический регламент таможенного союза ТР ТС 013/2011 "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 2 декабря 2015 года)" определяет состав спиртосодержащих топлив, который должен соответствовать нескольким основным критериям. Одним из таких критериев является объёмное содержание оксигенатов. В качестве оксигенатов могут применяться спирты и эфиры. Другим критерием, регламентирующим состав топлив, является массовое содержание кислорода. Оно не должно превышать 2,7 %. Однако стоит отметить, что в странах Евросоюза массовое содержание кислорода в топливе может значительно превышать 2,7 %. Поэтому в данной статье содержание кислорода в модельных топливах варьируется в пределах от 0 до 6 %.

Авторами статьи были проведены экспериментальные исследования по тушению пеной средней кратности модельных топлив с различным объёмным соотношением углеводородной и спиртовой частей.

За основу проведения испытаний принята стендовая методика по п. 5.5 ГОСТ Р 50588-2012 "Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний (с поправкой)". С использованием этой методики определялось время тушения пеной средней кратности, подаваемой на поверхность горючей жидкости при заданной интенсивности подачи рабочего раствора пенообразователя в лабораторных условиях.

В цилиндрический противень, изготовленный из стали низкой прочности заливалась горючая жидкость слоем 20 мм. Внутренний диаметр противня изменялся в зависимости от получения необходимой интенсивности. Расход рабочего пенообразователя варьировался в пределах 1,8-2,2 г/с. Время свободного горения топлива – 3 мин. После свободного горения подавалась пена и в зону горения вводился генератор пены таким образом, чтобы пена подавалась в центр противня. Одновременно с вводом генератора пены включался секундомер.

Во всех экспериментах применялся один пенообразователь типа АFFF. Так как характеристики воды, используемой для получения рабочего раствора пенообразователя, значительно влияют на основные параметры тушения [8, 9], рабочий раствор приготавливался с использованием питьевой мягкой воды по ГОСТ Р 50588-2012 с удельной электропроводностью 0,1 См/м.

Для проведения испытаний было подготовлено 5 видов модельных горючих топлив с различным объёмным содержанием углеводородной и спиртовой частей. В качестве спиртовой части использовался изопропиловый спирт (изопропанол), так как из всей линейки спиртов, применяемых в качестве оксигенатов, смесевые топлива, имеющие изопропанол в своём составе, наиболее трудно поддаются тушению [7].

Расчёт массового содержания кислорода в модельных топливах производился по формуле:

$$m_o = \frac{w_o \cdot A \cdot \rho_{\text{окс}}}{\rho_{\text{окс}} \cdot A + \rho_{\Gamma} \cdot (1 - A)}, \quad (1)$$

где m_o – содержание кислорода в модельном топливе (%);

A – объёмная доля оксигената (доли);

$\rho_{\text{окс}}$ – плотность оксигената (кг/м³);

ρ_{Γ} – плотность углеводородного компонента (кг/м³);

w_o – массовая доля кислорода в оксигенате (%).

Массовая доля кислорода в оксигенате рассчитывается по формуле:

$$w_o = \frac{A_r(O)}{M_r(\text{окс})} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $A_r(O)$ – относительная атомная масса кислорода;

$M_r(\text{окс})$ – относительная молекулярная масса оксигената.

Состав модельных топлив, используемых при проведении исследований, представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Модельные углеводородные топлива,
используемые при экспериментальных исследованиях**

Номер топлива	Соотношение компонентов в модельном топливе, % об.			Массовая доля кислорода в модельном топливе, %
	Изопропиловый спирт	н-Гептан	Изооктан	
T-1	0,0	10,0	90,0	0,0
T-2	5,0	9,5	85,5	1,5
T-3	10,0	9,0	81,0	3,0
T-4	15,0	8,5	76,5	4,5
T-5	20,0	8,0	72,0	5,9

Экстракция спиртосодержащих топлив проводилась следующим образом: перед тушением на поверхность горючей жидкости подавалась вода. Для топлив T-2, T-3 объём подаваемой воды равен 3,5 % от исходного объёма топлива, для топлив T-4, T-5 – 7,5 %. Затем полученную систему выдерживали в течение 2 мин. После чего проводилось тушение пеной средней кратности аналогично вышеописанной методике.

На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований по определению времени тушения от интенсивности подачи пены при тушении углеводородного топлива T-1. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены имеет традиционный вид экспоненциальной кривой.

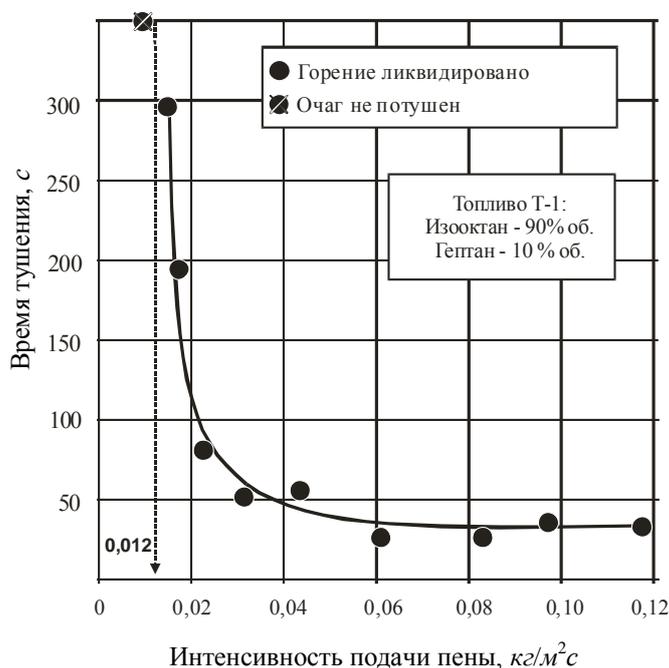


Рис. 1. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены средней кратности на поверхность топлива T-1

Крайняя точка максимального времени тушения находится в районе 300 с и соответствует интенсивности подачи пены 0,014 кг/(м²с). Для интенсивности 0,010 кг/(м²с) тушение топлива не происходит при непрерывной подаче пены от 330 до 350 с. В качестве критической интенсивности выбрана средняя между последним тушением и последним не тушением. Критическая интенсивность равна 0,012 кг/(м²с). Кривая постепенно выполаживается после интенсивности подачи пены соответствующей значению 0,06 кг/(м²с). Среднее время тушения при дальнейшем увеличении интенсивности подачи пены практически не снижается.

Зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены при тушении спиртосодержащего топлива Т-2 без предварительно проведённой экстракции (красная кривая) и с проведённой перед тушением экстракцией топлива водой, составляющим 3,5 % об. от исходного объёма (синяя кривая), представлены на рис. 2.

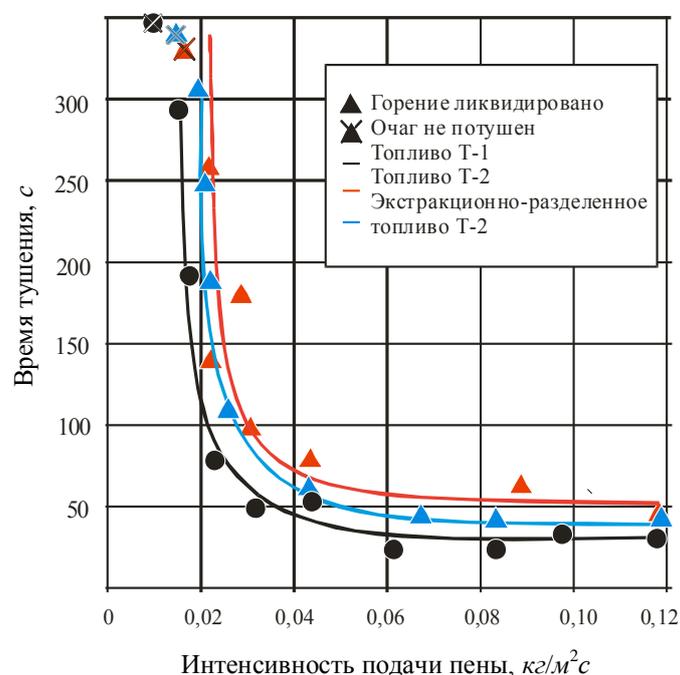


Рис. 2. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены средней кратности на поверхность топлива Т-2

По сравнению с топливом Т-1, в случае тушения топлива Т-2 без предварительно проведённой экстракции, критическая интенсивность подачи пены возросла более чем на 58 % и составила 0,019 кг/(м²с). Крайняя точка максимального времени тушения находится в районе 250 с и соответствует интенсивности подачи пены 0,021 кг/(м²с). Для интенсивности 0,017 кг/(м²с) тушение топлива не происходит при непрерывной подаче пены от 330 до 350 с. В данном случае в качестве критической интенсивности подачи пены так же выбрана средняя интенсивность между последним тушением и последним не тушением. Кривая тушения постепенно выполаживается после интенсивности подачи пены, соответствующей значению 0,08 кг/(м²с). Среднее время тушения при дальнейшем увеличении интенсивности подачи пены практически не снижается.

Кривая времени тушения от интенсивности подачи пены средней кратности на поверхность топлива Т-2, экстракционно-разделённого объёмом воды, сместилась влево. Критическая интенсивность подачи пены для экстракционно-разделённого топлива снизилась на 11 % и составила $0,017 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$.

На рис. 3 а, б, в изображены аналогичные зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены на поверхность модельных топлив Т-3, Т-4, Т-5 до и после их экстракционного разделения водой, соответственно.

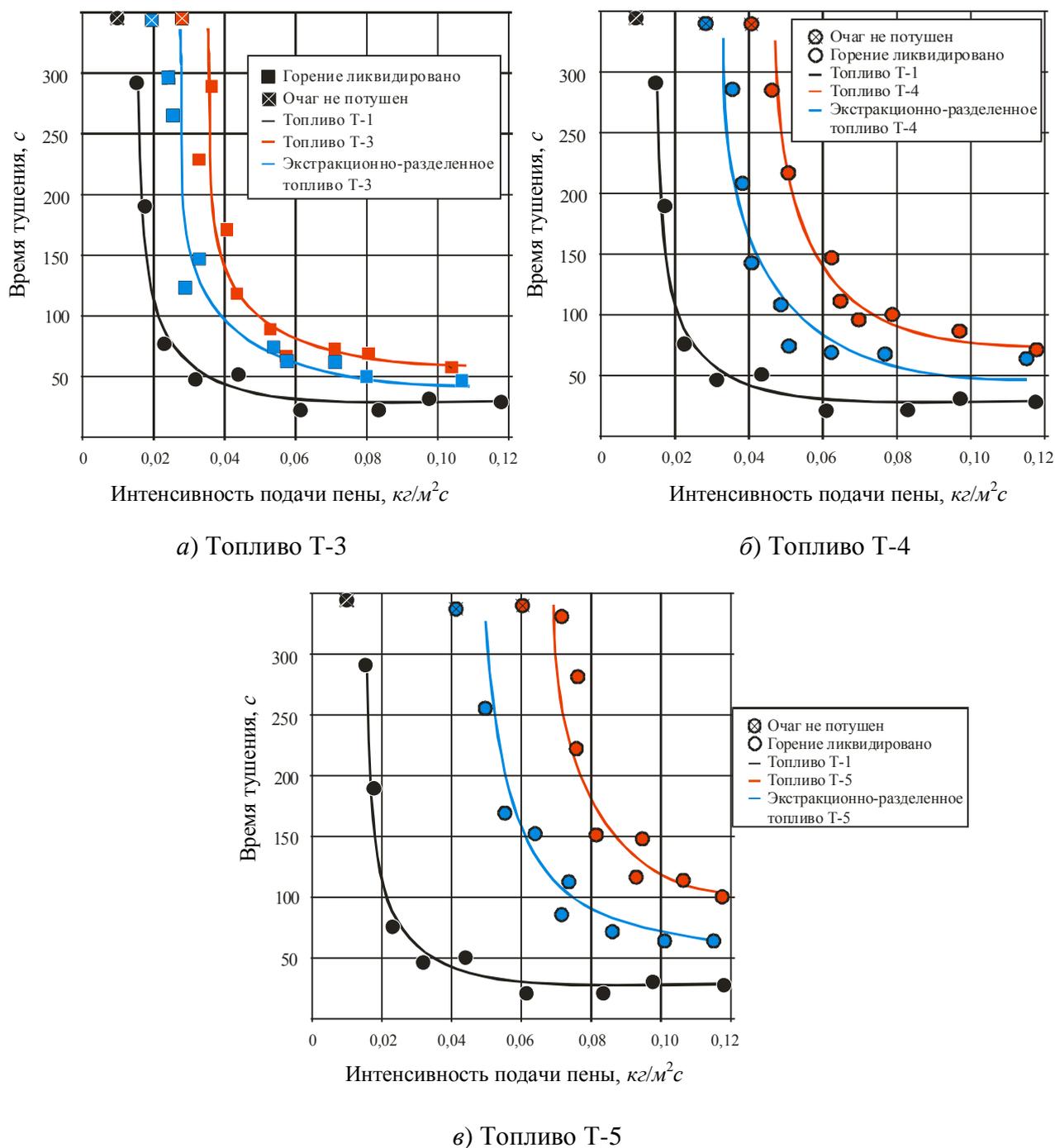


Рис. 3. Зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены средней кратности на поверхность топлива

Как видно из представленных графиков, во всех случаях перед тушением экстракции спирта водой кривая зависимости времени тушения смещается в сторону меньших интенсивностей. Для топлива Т-3, экстракционно-разделённого объёмом воды, составляющим 3,5 % от исходного объёма топлива, снижение составляет 32 % (критическая интенсивность равна $0,021 \text{ кг/м}^2\text{с}$). Для топлива Т-4, экстракционно-разделённого объёмом воды, составляющим 7,5 % от исходного объёма, снижение составляет на 28 % (критическая интенсивность равна $0,031 \text{ кг/м}^2\text{с}$), а для топлива Т-5, экстракционно-разделённого объёмом воды, составляющим 7,5 % от исходного объёма топлива, снижение составляет 32 % (критическая интенсивность равна $0,045 \text{ кг/м}^2\text{с}$).

Смещение кривых в сторону уменьшения интенсивности подачи пены объясняется тем, что при проведении предварительной экстракции водой происходит осаждение спирта и снижение его концентрации в топливе. Это объясняется тем, что вода в данном случае является экстрагентом, который практически не смешивается с углеводородной частью топлива. Однако вода прекрасно растворяет в себе изопропиловый спирт, содержащийся в модельном топливе, образуя двухфазную систему. При этом, часть спирта переходит в новый растворитель, тем самым понижая концентрацию.

Таким образом, по результатам проведённых авторами экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Тушение спиртосодержащих топлив затрудняется при увеличении доли спирта в топливе, так как повышаются критическая интенсивность подачи пены и время тушения.

2. Для обеспечения надёжности ликвидации горения спиртосодержащих топлив пеной на основе пенообразователей типа АFFF необходимо увеличивать интенсивность подачи пены, принятую для тушения углеводородных горючих жидкостей, на величину от 25 до 50 %.

3. Пенное пожаротушение спиртосодержащего топлива с предварительным осаждением спирта водой позволяет ликвидировать горение при условии увеличения интенсивности подачи пены, принятой для тушения углеводородных горючих жидкостей, на величину от 10 до 15 %.

4. Предварительная экстракция водой спиртосодержащих топлив позволяет при одинаковой интенсивности подачи пены быстрее ликвидировать горение.

Литература

1. *Ryderman Anders*. Testing of foam as a fire extinguishing medium for polar solvent and petroleum fires // Fou-Brand. 1981-1982. Pp. 12-16.
2. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применения. М.: Знак, 2000. 464 с.
3. Кучер В.М., Меркулов В.А., Жуков В.В. О скорости разрушения пены полярными жидкостями // Средства и способы пожаротушения: сб. тр. М.: ВНИИПО. 1979. С. 126.
4. Шароварников С.А., Корольченко А.Я., Крымов А.М. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров со смесевыми топливами // Пожарная безопасность: сб. тезисов докл. науч.-практ. конф. М.: МИПБ МВД России, 1996. С. 167-170.
5. Корольченко А.Я., Шароварников С.А. Тушение смесевых топлив фторсодержащими пенообразователями // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 1996. № 8-9. С. 14-17.
6. Воевода С.С., Макаров С.А., Молчанов В.П., Бастриков Д.Л., Крутов М.А. Тушение пожаров моторного топлива европейского стандарта низкократной пеной // Пожаровзрывобезопасность. 2011. № 4. С. 49-53.
7. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: Калан, 2002. 448 с.
8. Битуев Б.Ж., Воевода С.С., Шароварников А.Ф., Макаров С.А., Сергеев В.И. О влиянии жёсткости воды на эффективность тушения пожаров смесевых топлив // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (45). 2012. <http://academygps.ru/ttb>.
9. Воевода С.С., Макаров С.А., Маркеев А.В. Эффективность тушения спиртосодержащих углеводородных топлив в зависимости от жёсткости воды // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 1. С. 82-86.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 9 августа 2017 г.

S.A. Makarov, M.I. Sautiev, A.N. Feshchenko, D.H. Zhanataev, I.A. Apanasenko
DEFINITION OF THE MAIN PARAMETERS
FOR FOAM EXTINGUISHING OF EXTRACTIVELY
SEPARATED ALCOHOL-CONTAINING MOTOR FUELS

It presents the results of pilot tests on extinguishing model fuels with different volumetric ratio of hydrocarbon and alcohol parts with foam of the average multiplicity. As part of the hydrocarbon n-heptane and isooctane was used, as alcohol part isopropyl alcohol is used. Extinguishing was carried out by applying foam of the average multiplicity obtained on the basis of the foaming agent of the AFFF to the surface of the combustible liquid. The basis of the tests was the bench technique of clause 5.5 of GOST R 50588-2012. A comparison of the main parameters of extinguishing alcohol fuels before and after the extraction of alcohol with water. Extraction of alcohol-containing fuels was carried out by feeding water to the surface of a combustible liquid. It is established that the preliminary extraction of alcohol-containing fuels with water allows quicker elimination of combustion with the same intensity of foam supply.

Key words: foam extinguishing, alcohol-containing motor fuel, extraction, foam of the average multiplicity.

References

1. Ryderman Anders. Testing of foam as a fire extinguishing medium for polar solvent and petroleum fires. Fou-Brand, 1981-1982, pp. 12-16.
2. Sharovarnikov A.F. *Protivopozharnye peny. Sostav, svoistva, primeneniia* [Fire-fighting foam. The composition, properties, application]. Moscow, Znak Publ., 2000. 464 p.
3. Kucher V.M., Merkulov V.A., Zhukov V.V. *O skorosti razrusheniia peny poliarnymi zhidkostiami* [On the rate of foam destruction by polar liquids] // *Sredstva i sposoby pozharotusheniia: sb. tr.* [Means and methods of fire fighting: Proceed. of conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1979, p. 126.
4. Sharovarnikov S.A., Korolchenko A.Ia., Krymov A.M. *Obespechenie pozharnoi bezopasnosti rezervuarov so smesevymi toplivami* [Provision of fire safety of tanks with mixed fuels]. *Pozharnaia bezopasnost: sb. tezisov dokl. nauch.-prakt. konf.* [Fire Safety: Proceed. of scientific and technical conference]. Moscow, Moscow Fire Safety Institute of Internal Affairs of Russia Publ., 1996, pp. 167-170.
5. Korolchenko A.Ia., Sharovarnikov S.A. *Tushenie smesevykh topliv ftorsoderzhashchimi penoobrazovateliami* [Extinguishing mixed fuels with fluorine-containing foaming agents]. *Transport i khranenie nefteproduktov*, 1996, no 8-9, pp. 14-17.
6. Voevoda S.S., Makarov C.A., Molchanov V.P., Bastrikov D.L., Krutov M.A. Extinction of fires of motor fuel european standard by law expansion foam. *Pozharovzryvbezopasnost*. 2011, no 4, pp. 49-53 (in Russ.).
7. Sharovarnikov A.F., Molchanov V.P., Voevoda S.S., Sharovarnikov S.A. *Tushenie pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002, 448 p.
8. Bituev B.Gh., Voevoda S.S., Sharovarnikov V.P., Makarov S.A., Sergeev V.I. About influence of water hardness on efficiency extinguishing a fuel mixtures. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, vol. 5 (45), 2012, <http://academygps.ru/ttb>. (in Russ.).
9. Voevoda S., Makarov S., Markeev A. Quenching efficiency of alcohol-containing hydrocarbon fuel depending on water hardness. *Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia*, 2009, no 1, pp. 82-86 (in Russ.).