

О. В. БЕЗЗАПОННАЯ, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: bezzaponnay@mail.ru)

А. Ю. АКУЛОВ, канд. техн. наук, начальник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

О. А. МОКРОУСОВА, д-р пед. наук, начальник кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математики и информатики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Н. В. ХАБИБУЛЛИНА, канд. с.-х. наук, научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Л. О. ЖИВОТИНСКАЯ, старший научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 614.835:66.061

ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ БИНАРНЫХ СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ НА НЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ

Исследованы смешанные бинарные растворители на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов. В качестве второго компонента бинарных растворителей исследованы полярные органические жидкости (уксусная кислота, гептанол, нитробензол) и неполярные (триэтанолламин), а также 5 %-ный раствор ПАВ (додецилсульфат натрия). Показано, что наибольший эффект повышения температуры вспышки достигается при использовании уксусной кислоты и гептилового спирта: для бутилового и пропилового спиртов в первом случае он составляет 18,6 и 21,3 % соответственно, что обусловлено полярностью молекул и способностью образовывать межмолекулярные водородные связи с молекулами пропанола и бутанола.

Ключевые слова: смешанные растворители; легковоспламеняющиеся жидкости; температура вспышки; пожарная опасность; межмолекулярные водородные связи.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34

Большинство растворителей, применяемых в различных отраслях промышленности, являются легковоспламеняющимися жидкостями. В связи с этим проблема обеспечения пожарной безопасности на предприятиях, использующих растворители, остается актуальной, несмотря на разрабатываемые профилактические мероприятия по ее снижению.

По целому ряду причин в некоторых отраслях промышленности применяют не чистые (индивидуальные) растворители, а их смеси. При разработке смесей растворителей преследуются следующие цели: создание оптимальных условий процесса пленкообразования, реализация гидрофильно-гидрофобного баланса для возможности удаления как гидрофильных, так и гидрофобных загрязнений, корректировка вязкости, экономичность и др. [1]. Высокая пожарная опасность растворителей — это еще одна важная причина, по которой целесообразно использовать именно смешанные растворители с целью снижения их пожарной опасности.

Показатели пожарной опасности связаны как между собой, так и с другими физико-химическими свойствами. На показатели пожарной опасности в первую очередь влияет химический состав растворителя. Зная зависимость показателей пожарной опасности от химического состава, можно прогнозировать пожароопасные свойства растворителей, а также разрабатывать новые составы, которые характеризовались бы меньшей пожарной опасностью.

Показатели пожарной опасности коррелируют с теплотой испарения растворителя, которая, в свою очередь, при невысоких температурах зависит от степени ассоциации молекул растворителя, а следовательно, от его химической природы. Образование ассоциатов между компонентами растворителя способствует повышению энергии связей молекул в целом и удержанию их в конденсированном состоянии, что обусловлено наличием в молекулах растворителей гидроксильных групп, способствующих образованию водородных связей. Нами проведен анализ

влияния водородных связей на снижение температуры вспышки смешанных бинарных растворителей.

Как правило, энергия межмолекулярных водородных связей имеет невысокие значения (порядка 4–25 кДж/моль), что составляет примерно 1–5 % от величины энергии ковалентных химических связей, однако в совокупности они вносят большой вклад в общую энергию связей образующихся ассоциатов. Способность к образованию межмолекулярных водородных связей определяется полярностью молекул, т. е. электрическим моментом диполя. Полярность молекулы тем выше, чем больше абсолютная величина заряда и длина диполя. Чем выше полярность молекул, тем больше их склонность к образованию межмолекулярных связей и, следовательно, тем выше будет температура кипения, а значит, и температуры вспышки и воспламенения. Например, температуры кипения у альдегидов и кетонов выше, чем у углеводородов-аналогов (близких к ним по молекулярной массе), поскольку карбонильные соединения более полярны и диполь-дипольное притяжение между их молекулами сильнее.

В работах [2, 3] рассматривалась зависимость температуры воспламенения различных классов органических соединений от количества атомов углерода в цепи. Рассмотрим влияние химической природы органических веществ на температуру их вспышки. Для анализа изменения температур вспышки в гомологических рядах различных классов органических веществ использованы справочные данные [4, 5]. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Температура вспышки так же, как и температура воспламенения [2], повышается при увеличении количества атомов углерода в цепи (выполняется правило углеродной цепи). Повышение температур вспышки и воспламенения наблюдается в такой последовательности: предельные углеводороды → кетоны → альдегиды → спирты → карбоновые кислоты, что можно объяснить увеличением длины ди-

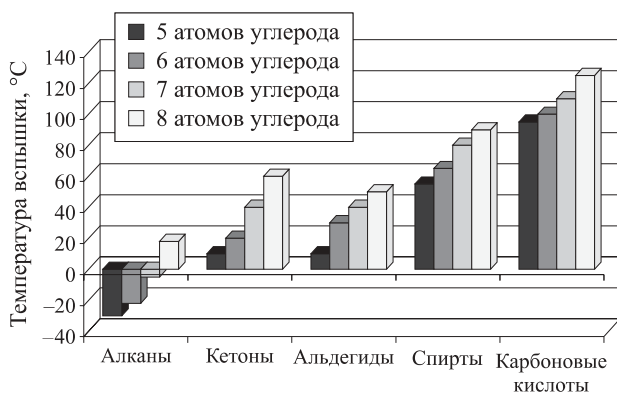


Рис. 1. Диаграмма изменения температуры вспышки жидкостей различных классов органических соединений в зависимости от количества атомов углерода в цепи

поля и, как следствие, дипольного момента молекул. Это приводит к усилению межмолекулярных водородных связей, удерживающих молекулы в жидком состоянии и способствующих повышению теплоты испарения, температуры кипения, а также температур вспышки и воспламенения органических жидкостей.

Таким образом, самыми высокими температурами вспышки характеризуются предельные спирты и одноосновные карбоновые кислоты. Это вызвано образованием межмолекулярных водородных связей между положительно заряженным водородом гидроксильной группы одной молекулы и отрицательно заряженным кислородом другой молекулы, что повышает энергию связи молекул в целом и способствует их удержанию в жидком состоянии [2]. Полученный результат привел к предположению, что введение добавок спирта или карбоновой кислоты к растворителям, способным образовывать с ними межмолекулярные водородные связи, должно вызывать повышение температуры вспышки. Для подтверждения данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования с использованием прибора “Закрытый тигель” (ТВЗ) в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89.

В ходе исследований бинарный смешанный растворитель наливали в тигель прибора ТВЗ до кольцевой метки (60 мл), закрывали крышкой и устанавливали термометр для определения температуры жидкости. Испытуемую жидкость нагревали в тигле со скоростью 1–2 °C/мин при непрерывном перемешивании. Испытания на вспышку проводили с шагом 1 °C. За температуру вспышки принимали минимальную температуру испытуемой жидкости, при которой происходила вспышка ее паров. Эксперимент проводили 3 раза и определяли среднее значение температуры вспышки.

Анализ справочных данных [4, 5] показал, что среди органических соединений карбоновые кислоты и спирты наиболее склонны к образованию межмолекулярных водородных связей. Поэтому в качестве второго компонента смешанных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов использовали уксусную кислоту с температурой вспышки $t_{всп} = 40$ °C, гептиловый спирт с $t_{всп} = 74$ °C и нитробензол с $t_{всп} = 88$ °C. Последний отличается высоким дипольным моментом и способностью образовывать межмолекулярные водородные связи с полярными органическими соединениями за счет смещения электронной плотности и повышения значения отрицательного заряда на атоме кислорода. Были проведены также исследования добавок 5 %-ного раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) (додецилсульфата натрия), мицеллы которого способны образовывать ассоциаты с молекулами растворителя. В качестве контрольных образцов использовали

дистиллированную воду. Для сравнения эффекта повышения температуры вспышки при введении полярных и неполярных органических жидкостей исследовали триэтаноламин, который характеризуется высокой температурой вспышки ($t_{всп} = 179\text{ }^{\circ}\text{C}$), но является неполярной жидкостью.

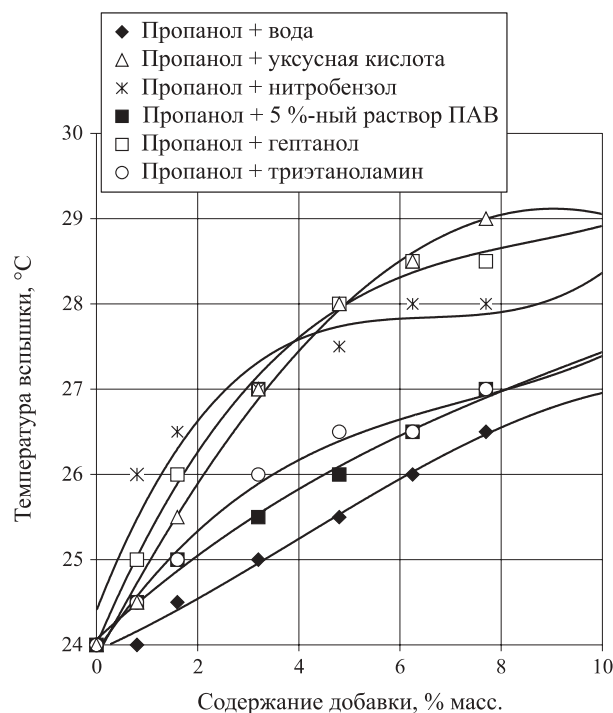


Рис. 2. Зависимость температуры вспышки смешанного растворителя на основе *n*-пропилового спирта от содержания добавки веществ различной химической природы

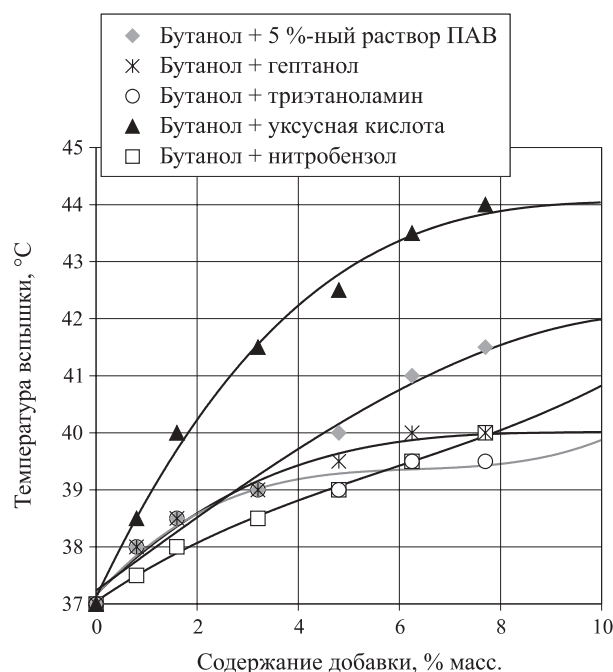


Рис. 3. Зависимость температуры вспышки смешанного растворителя на основе *n*-бутилового спирта от содержания добавки веществ различной химической природы

Результаты исследований температуры вспышки смешанных бинарных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов представлены на рис. 2 и 3.

Полученные экспериментальные зависимости удовлетворительно описываются полиномиальными кривыми 3-го порядка (достоверность аппроксимации $R^2 > 0,98$).

Для объяснения эффекта повышения температуры вспышки при содержании второго компонента растворителя (уксусной кислоты, гептанола, нитробензола, триэтаноламина) провели расчет температур вспышки $t_{всп}^{см}$ ($^{\circ}\text{C}$) для бинарных смесей растворителей по формуле

$$t_{всп}^{см} = \frac{A t_A + B t_B - f(t_A - t_B)}{100},$$

где B — концентрация компонентов смеси, % масс.;

A — то же, с более высокой температурой вспышки, % масс.;

t_A, t_B — температуры вспышки компонентов смеси, $^{\circ}\text{C}$;

f — коэффициент, зависящий от состава смеси и определяемый по таблице.

В ходе анализа полученных экспериментальных и расчетных значений температур вспышки смешанных растворителей было отмечено существенное отклонение от аддитивности. Это свидетельствует о том, что повышение температуры вспышки происходит не только за счет введения второго компонента с высокой температурой вспышки. Объяснением этого отклонения, по мнению авторов, служит прежде всего образование между молекулами основного компонента растворителя (*n*-пропилового или *n*-бутилового спирта) и молекулами второго компонента межмолекулярных водородных связей, способствующих структурированию образующихся ассоциатов. Возникновение дополнительных меж-

Значение коэффициента f в зависимости от процентного состава смеси

A , % масс.	B , % масс.	f	A , % масс.	B , % масс.	f
0	100	0,0	55	45	27,6
5	95	3,3	60	40	29,0
10	90	6,5	65	35	30,0
15	85	9,2	70	30	30,3
20	80	11,9	75	25	30,4
25	75	14,5	80	20	29,2
30	70	17,0	85	15	26,0
35	65	19,4	90	10	20,0
40	60	21,7	95	5	12,0
45	55	23,9	100	—	0,0
50	50	25,9			

молекулярных связей способствует удержанию молекул в конденсированном состоянии и повышению температуры вспышки. Результаты анализа согласуются с выводами авторов [6–10], полученными при исследованиях зависимости температуры вспышки от состава, в частности для неидеальных растворов. В работе [10] отмечается влияние на температуру вспышки энтальпии смешения бинарных растворов.

Использование расчетных данных позволяет оценить эффект повышения температуры вспышки за счет разбавления (смешения), а расчетных и экспериментальных данных — за счет образования межмолекулярных связей. Таким образом, сравнение расчетных значений температур вспышки и экспериментальных данных дает возможность оценить эффект повышения температуры вспышки только за счет образования межмолекулярных водородных связей. В наибольшей степени этот эффект выражен при использовании в качестве второго компонента растворителя уксусной кислоты, так как карбоновые кислоты отличаются высоким дипольным моментом, т. е. являются полярными жидкостями, склонными образовывать межмолекулярные водородные связи. Использование смешанных растворителей на основе пропанола с содержанием уксусной кислоты в количестве 8,0 % масс. дает повышение температуры вспышки пропанола на 21,3 %, что позволяет снизить пожарную опасность растворителя. Введение добавок гептанола приводит к тому, что эффект повышения температуры вспышки проявляется в меньшей степени, чем в опыте с уксусной кислотой, что хорошо согласуется с выводами, полученными при анализе литературных и справочных данных. Анализ экспериментальных зависимостей показал, что введение добавок нитробензола приводит к меньшему эффекту повышения температуры вспышки, чем в опыте с уксусной кислотой. Эффект от введения 8 % масс. нитробензола для пропанола составил 16,7 %, для бутанола — 9,5 %, а эффект за счет образования межмолекулярных связей — соответственно 9,5 и 5,8 %. В случае с пропанолом высокий эффект повышения температуры вспышки достигался при введении гептанола и нитробензола (18,8 и 16,7 % соответственно).

Сравнение кривых зависимости температуры вспышки от содержания добавки для ПАВ и дистиллированной воды показало, что эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола вызван в основном разбавлением водой. По-видимому, образование межмолекулярных связей между молекулами ПАВ и основного компонента растворителя большой роли в повышении температуры вспышки не играет.

Диаграммы эффекта повышения температуры вспышки от введения уксусной кислоты к бутанолу

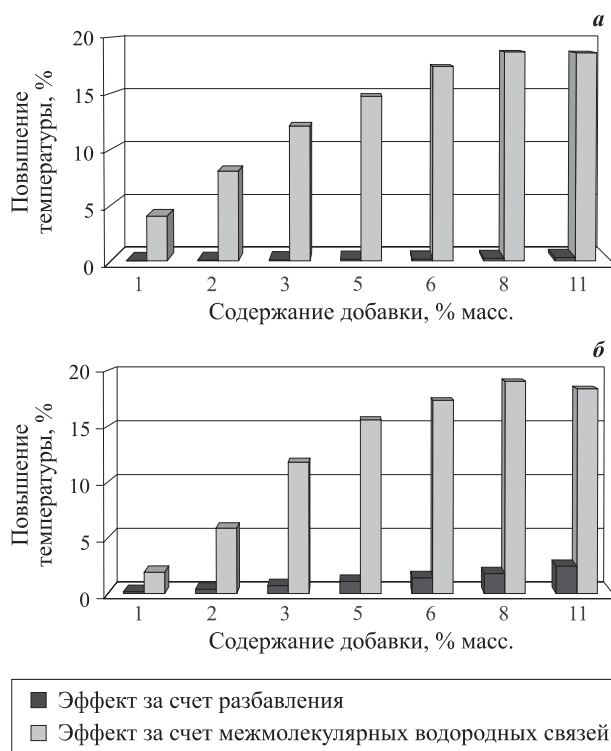


Рис. 4. Эффект повышения температуры вспышки от содержания добавки уксусной кислоты в *n*-бутиловом (а) и *n*-пропиловом (б) спиртах

и пропанолу (рис. 4) позволили оценить оптимальное содержание второго компонента в смешанных растворителях.

Анализ диаграмм на рис. 4 показал, что оптимальное содержание уксусной кислоты в смешанных растворителях на основе пропилового и бутилового спиртов составляет 8 % масс. При дальнейшем повышении содержания добавки температура вспышки смешанных растворителей растет практически только за счет разбавления смеси. Установлено, что оптимальное содержание добавки гептанола и нитробензола составляет 6 % масс.

Для подтверждения гипотезы влияния образования межмолекулярных водородных связей между полярными жидкостями смешанных растворителей были проведены исследования температуры вспышки смешанных растворителей, в которых в качестве второго компонента использовали неполярную жидкость — триэтанолмин. Анализ полученных результатов показал, что расчетные значения температур вспышки смешанного растворителя с добавками триэтанолмина оказались даже выше экспериментальных. Это свидетельствует об отсутствии межмолекулярных водородных связей в силу малой полярности молекул триэтанолмина, а также влияния стерического фактора (расположения молекул в пространстве и их геометрии). Поскольку молекула триэтанолмина является объемной, образование межмолекулярных связей весьма затруднительно. Эффект повышения

температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола при введении 8 % масс. триэтанол-амина составил 12,5 %, а на основе бутанола — 6,8 %, при этом эффект повышения температуры вспышки за счет образования межмолекулярных связей отсутствовал.

Сравнение экспериментальных кривых, полученных при введении 5 %-ного раствора ПАВ (додецил-сульфата натрия) и дистиллированной воды, показало, что эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе бутанола с добавкой 8 %-ного раствора ПАВ за счет образования межмолекулярных водородных связей составил 5,4 %, а на основе пропанола — 2,1 % по сравнению с общим эффектом — 12,2 и 12,5 % соответственно. Это свидетельствует о незначительной роли межмолекулярных водородных связей в снижении пожарной опасности растворителя.

Выводы

В результате экспериментальных исследований определены температуры вспышки смешанных би-

нарных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов. В качестве второго компонента исследованы полярные (уксусная кислота, гептанол, нитробензол) и неполярные (триэтанол-амин) жидкости, а также 5 %-ный раствор ПАВ (додецил-сульфат натрия).

Экспериментально подтверждена гипотеза о влиянии на температуру вспышки образования межмолекулярных водородных связей между молекулами основного компонента растворителя и молекулами второго компонента. Установлено, что оптимальное содержание второго компонента смешанного растворителя составляет 8 % масс. Наибольший эффект повышения температуры вспышки смешанных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов обнаружен при использовании в качестве второго компонента растворителя уксусной кислоты. В связи с этим уксусную кислоту можно рекомендовать для использования в качестве добавки к *n*-бутиловому и *n*-пропиловому спиртам с целью повышения температуры вспышки растворителя (на 18,6 и 21,3 % соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уразаев В. И. Растворители // Технологии в электронной промышленности. — 2006. — № 2. — С. 14–19.
2. Беззапонная О. В. Влияние образования межмолекулярных водородных связей в бинарных растворителях на температуру их воспламенения // Техносферная безопасность. — 2014. — № 1(2). — С. 2–6. URL : <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (дата обращения: 04.04.2015).
3. Беззапонная О. В. Исследование влияния межмолекулярных водородных связей в бинарных растворителях на температуру их воспламенения // Техносферная безопасность. — 2015. — № 1(6). — С. 9–13. URL : <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (дата обращения: 04.04.2015).
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1 — 713 с.
5. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. Ч. 2. — 774 с.
6. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions // Journal of Hazardous Materials. — 2003. — Vol. 101, No. 2. — P. 83–106. DOI: 10.1016/S0304-3894(03)00168-7.
7. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // Journal of Physical and Chemical Reference Data. — 2006. — Vol. 35, No. 1. — P. 9–14. DOI: 10.1063/1.1928236.
8. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behavior for binary mixtures // Process Safety and Environmental Protection. — 2006. — Vol. 84, No. 1. — P. 1–9. DOI: 10.1205/psep.05041.
9. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior // Journal of Hazardous Materials. — 2007. — Vol. 140, No. 1–2. — P. 155–164. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.050.
10. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Исследование температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей с положительным и отрицательным отклонениями от закона Рауля // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 25–29.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2015 г.

Для цитирования: Беззапонная О. В., Акулов А. Ю., Мокроусова О. А., Кайбичев И. А., Хабиллина Н. В., Животинская Л. О. Температура вспышки бинарных смешанных растворителей и влияние на нее образования межмолекулярных водородных связей // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 28–34. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34.

FLASH POINT OF BINARY MIXED SOLVENTS AND EFFECT ON ITS FORMATION INTERMOLECULAR HYDROGEN BONDS

BEZZAPONNAYA O. V., Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Senior Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: bezzaponnay@mail.ru)

AKULOV A. Yu., Candidate of Technical Sciences, Head of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

MOKROUSOVA O. A., Doctor of Pedagogical Sciences, Head of Fire Safety in Construction Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

KAYBICHEV I. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Mathematics and Informatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

KHABIBULLINA N. V., Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ZHIVOTINSKAYA L. O., Senior Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

Binary mixed solvents based on propanol-1 and butanol-1 alcohols were investigated. As a second component of binary solvent polar organic liquids (acetic acid, heptanol, nitrobenzene) and nonpolar (triethanolamine) and 5 % solution of surfactant (sodium dodecyl sulphate) were investigated.

The optimum content of the second component in the mixed solvent was 8 %. The greatest effect in increasing the flash point is achieved using acetic acid and heptyl alcohol. When using acetic acid, the temperature raising effect flashes propyl and butyl alcohol was 18,6 and 21,3 %, respectively. This is due to the polarity of the molecules and the ability to form intermolecular hydrogen bonds with the molecules of propanol and butanol.

Addition of a 5 % solution of sodium dodecylsulfate resulted in increase of point flash butanol-1 and propanol-1 on 12,2 and 12,5 %. Analysis of experiments with triethanolamine was proved the influence of intermolecular hydrogen bonds on the flash point for polar liquids. The use of mixed solvents allows to reduce fire danger.

Keywords: mixed solvents; flammable liquids; flash points; fire danger; intermolecular hydrogen bonds.

REFERENCES

1. Urazaev V. I. Rastvoriteli [Solvents]. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti — Technology in the Electronics Industry*, 2006, no. 2, pp. 14–19.
2. Bezzaponnaya O. V. Vliyaniye obrazovaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey na temperaturu ikh vosplameneniya [Influence of formation of intermolecular hydrogen bonds in binary solvents on temperatures of ignition] *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2014, vol. 1(2), pp. 2–6. Available at: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Accessed 4 April 2015).
3. Bezzaponnaya O. V. Issledovaniye vliyaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey na temperaturu ikh vosplameneniya [Research of the influence of intermolecular hydrogen bonds in binary solvents on temperature of their ignition]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2015, vol. 1(6), pp. 9–13. Available at: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Accessed 4 April 2015).
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
5. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 2, 774 p.

6. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, vol. 101, no. 2, pp. 83–106. DOI: 10.1016/S0304-3894(03)00168-7.
7. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2006, vol. 35, no. 1, pp. 9–14. DOI: 10.1063/1.1928236.
8. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behavior for binary mixtures. *Process Safety and Environmental Protection*, 2006, vol. 84, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1205/psep.05041.
9. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 140, no. 1–2, pp. 155–164. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.050.
10. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. *Issledovaniye temperatury vspyshki binarnykh nevodnykh smesey zhidkostey s polozhitelnyy i otritsatelnyy otkloneniyami ot zakona Raulya* [Flash point study of binary nonaqueous mixtures of liquids with positive and negative deviations from the Raoult's law]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 25–29.

For citation: Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu., Mokrousova O. A., Kaybichev I. A., Khabibullina N. V., Zhivotinskaya L. O. Temperatura vspyshki binarnykh smeshannykh rastvoriteley i vliyaniye na neye obrazovaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey [Flash point of binary mixed solvents and effect on its formation intermolecular hydrogen bonds]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 28–34. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

Л. П. Пилюгин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на этих производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

121352, г. Москва, а/я 43;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru