

Плаксицкий А. Б., канд. физ.-мат. наук,
Калач А. В., д-р хим. наук, доц.,
Исаев А. А., аспирант

Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России

ИНФОРМАЦИОННО-ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

rab13@mail.ru

В работе приведены результаты исследований анализа пожарной опасности легковоспламеняющихся жидкостей, установлена зависимость между параметрами предложена методология определения уровня пожарной опасности и эксплуатационных свойств растворителей.

Ключевые слова: Легковоспламеняющиеся жидкости, информационно-экспертная система.

Любая информационная система (ИС) есть совокупность технического, программного и организационного обеспечения, а также персонала, предназначенная для того, чтобы своевременно обеспечивать надлежащих людей надлежащей информацией. ИС должна включать в себя базы данных (БД), систему управления базами данных (СУБД) и прикладные программы для решения задач в конкретной предметной области.

По характеру обработки данных ИС делятся на информационно-справочные, или информационно-поисковые (ИПС), в которых нет сложных алгоритмов обработки данных, а целью ИС является поиск и выдача информации в удобном виде; ИПС обработки данных, или решающие ИПС, в которых данные подвергаются обработке по сложным алгоритмам. К таким системам в первую очередь относят автоматизированные системы управления и системы поддержки принятия решений (СППР).

Большое внимание уделяется обеспечению пожарной безопасности различных объектов, использующих легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), а так же их смеси: на химических производствах, в цеховых и других лабораториях. Как показано в работах [1-3], температура вспышки таких смесей является величиной неаддитивной и для рабочих составов, содержащих небольшое количество воды, или небольшое количество менее пожаровзрывоопасного модификатора, она лимитируется концентрацией наиболее летучего ЛВЖ.

Целью работы является создание информационно-экспертной системы для анализа пожарной опасности жидкостей.

Для количественной оценки характеристик общей безопасности и технического качества жидкостей используется обобщенный критерий, который рассчитывается по формуле:

$$R_E = \sum_{i=1}^m a_i (x_i^s / x_i^w) \quad (1)$$

где R_E – значение критерия для s -го варианта (объекта, процесса, решения), a_i – коэффициент веса для i -го показателя, x_i^s – величина i -го показателя для s -го варианта объекта, x_i^w – нормирующее значение для i -го показателя (свойства гипотетического объекта, имеющего оптимальное значение i -го показателя), m – количество показателей. В качестве нормирующего значения для i -го параметра x_i^w в уравнении (1) на основе экспертного заключения берут оптимальные значения параметров, характерные для некоторых объектов из анализируемой выборки. Применение обобщенных критериев, полученных из выражений типа (1), позволяет с помощью типового программного обеспечения проводить выборку объектов из БД и количественно их сопоставлять при заданных нормирующих значениях параметров и весовых коэффициентах.

Второй алгоритм рейтинга растворителей основан на применении обобщенных целевых функций. Их применение возможно, если известны функциональные зависимости «свойство – вариант (объект, процесс)»:

$$F_{об} = \sum_{k=1}^S \alpha_k \frac{F_k}{F_k^{норм}} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где F_k – k -ая целевая функция, $F_k^{норм}$ – нормирующее значение k -ой целевой функции, S – число составляющих целевых функций, α_k – коэффициент веса k -ой целевой функции. При этом перед составляющими целевой функции, которые максимизируются, ставится знак плюс, перед минимизируемыми – минус. Из (2) следует, что для формирования обобщенной целевой функции необходимо знать α_k и $F_k^{норм}$. Значения $F_k^{норм} = F_k^{\max}$, если имеют дело с максимизацией k -ой составляющей целевой функции, а при ее минимизации $F_k^{норм} = F_k^{\min}$. Весовые коэффициенты определяются экспертным путем, согласованность экспертных оценок устанавли-

вается по коэффициентам конкордации или вариабельности.

Для составления рейтинга растворителей необходимо знать давление насыщенных паров, интенсивность испарения растворителя, избыточное давление взрыва для паров ЛВЖ.

Для определения интенсивности испарения растворителя (W) необходимо знание давлений их насыщенных паров при заданной температуре. Значения $P_{\text{нас}}$ можно рассчитать по уравнению Антуана:

$$\lg P_i^{\text{нас}} = \frac{A}{B + T} - C, \quad (3)$$

где A , B и C – константы [1]

Интенсивность испарения (W) и массы жидкости, перешедшей в паровую фазу, (m) для всех сольвентов определяется следующими соотношениями

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{M} \cdot P_i^{\text{нас}}, \quad (4)$$

$$\frac{m}{V} = WF T, \quad (5)$$

где M – молекулярная масса растворителя, η – коэффициент, учитывающий скорость и температуру воздушного потока над поверхностью испарения, $\eta = 1,6$

Избыточное давление взрыва для паров ЛВЖ по формулам:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (6)$$

$$\Delta P = \frac{m \Delta H_{\text{гор}} P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} C_{\text{п}} T_0} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (7)$$

где P_{max} – максимальное P взрыва стехиометрической паровоздушной смеси в замкнутом объеме; P_0 – начальное давление, кПа; m – масса паров ЛВЖ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг; Z – коэффициент участия горючего во взрыве; V – свободный объем помещения, м³; ρ – плотность пара при расчетной температуре; C – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.); K – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения, получим, что при испарении 1 кг ацетонитрила или гексана в помещении с $S=20$ м² при возникновении аварийной ситуации может создаваться избыточное давление >5 кПа, что позволяет отнести такие помещения к категории пожаровзрывоопасных, для понижения категории помещения до пожароопасного целесообразно увеличить площадь помещения до 40 м² при высоте 3 м. Как показали исследования зависимости $T_{\text{ВСП}}$ водно-органических смесей от объемной доли воды (φ_1) температура вспышки описывается полиномом 3-й степени (рис. 1): $T_{\text{ВСП}} = a\varphi_1^3 + b\varphi_1^2 + c\varphi_1 + d$, где коэффициент d равен

$T_{\text{ВСП}}$ модификатора. Для менее летучих и менее горючих модификаторов, чем ТГФ, наблюдается тенденция образования S -образных зависимостей: заметный рост $T_{\text{ВСП}}$ с увеличением доли воды до 0,2, слабый рост до 0,4 (40%) и последующее резкое возрастание при $\varphi_1 > 0,4$. Как показали исследования влияния состава бинарных органических смесей из гексана и активных модификаторов на $T_{\text{ВСП}}$ в открытом тигле. Эти смеси, с содержанием гексана $\varphi_1 > 0,5$, применяются в нормально-фазовой

хроматографии и жидкостной экстракции гидрофобных соединений. Найдено, что зависимость $T_{\text{ВСП}}$ от состава этих смесей также адекватно описывается полиномом третьей степени (рис. 2), где φ_1 – объемная доля гексана. Найдено, что смеси по пожарной опасности при концентрации гексана $\varphi_1 > 0,5$ близки к чистому гексану. Только для системы гексан–ТГФ зависимость $T_{\text{ВСП}} = f(\varphi_1)$ проходит через максимум ($T_{\text{ВСП}} = -15$ °С) в области близкой эквиобъемному составу $\varphi_1 = 0,4-0,5$. Для смеси гексан – ТГФ в этой области характерно явление азеотропии, когда состав жидкой и парообразной фазы одинаков и смесь кипит при температуре, ниже $T_{\text{кип}}$ чистых компонентов (63 °С), а значит парциальное давление паров обоих растворителей соизмеримо и достаточно высоко.

Между поверхностным натяжением и $T_{\text{ВСП}}$ смешанных сольвентов установлена значимая линейная корреляция ($R > 0,80$) (рис. 3), т.е. наблюдается тренд, чем выше поверхностное натяжение, тем выше $T_{\text{ВСП}}$. Между $T_{\text{кип}}$ и $T_{\text{ВСП}}$, между поверхностным натяжением и $T_{\text{ВСП}}$ смешанных сольвентов значимых корреляций не обнаружили, можно говорить лишь о тенденции: чем больше натяжение, тем выше $T_{\text{кип}}$. Для индивидуальных растворителей значимая корреляция как $T_{\text{ВСП}}$ от поверхностного натяжения ($R = 0,75$), так и между $T_{\text{кип}}$ и $T_{\text{ВСП}}$ ($R = 0,87$) есть (рис. 4). Это говорит о том, что в смешанных растворителях неаддитивно изменяются свойства от состава, а на границе раздела фаз «жидкость – воздух» может наблюдаться градиент концентраций, т.е. более поверхностно активные вещества концентрируются на межфазной границе. Таким образом, $T_{\text{ВСП}}$ вспышки лимитируется, прежде всего, наличием и концентрацией в сольвенте наиболее пожароопасного компонента.

Проведенные исследования позволили предложить методологию определения уровня пожарной опасности и эксплуатационных свойств растворителей. Так, достаточно высокая температура кипения ЛВЖ позволяет предотвратить образование паровых пузырей, мешающих работе техники, изменение состава смеси

из-за испарения низкокипящего компонента а так же образование токсичных паров и пожаро-взрывоопасных воздушных смесей. Достаточно

высокая температура вспышки, а так же высокая температура самовоспламенения позволяют говорить о безопасном использовании и т.д.

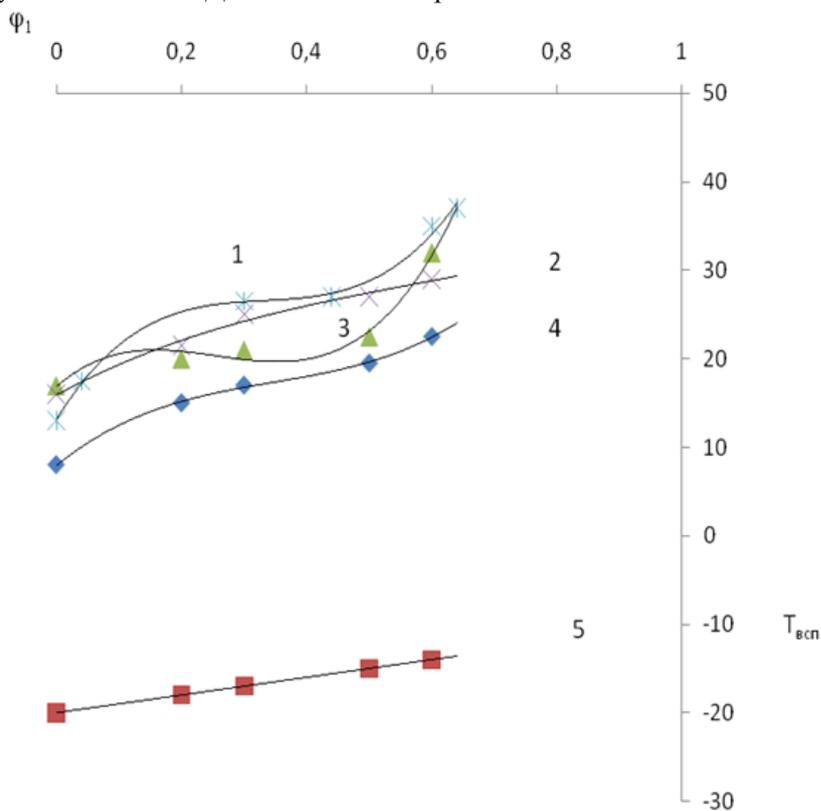


Рис. 1. Зависимость $T_{всп}$ смесей «органический растворитель – вода» от объемной доли воды: 1 – этанол; 2 – изопропанол; диоксан; 4 – ацетонитрил; 5 – ТГФ

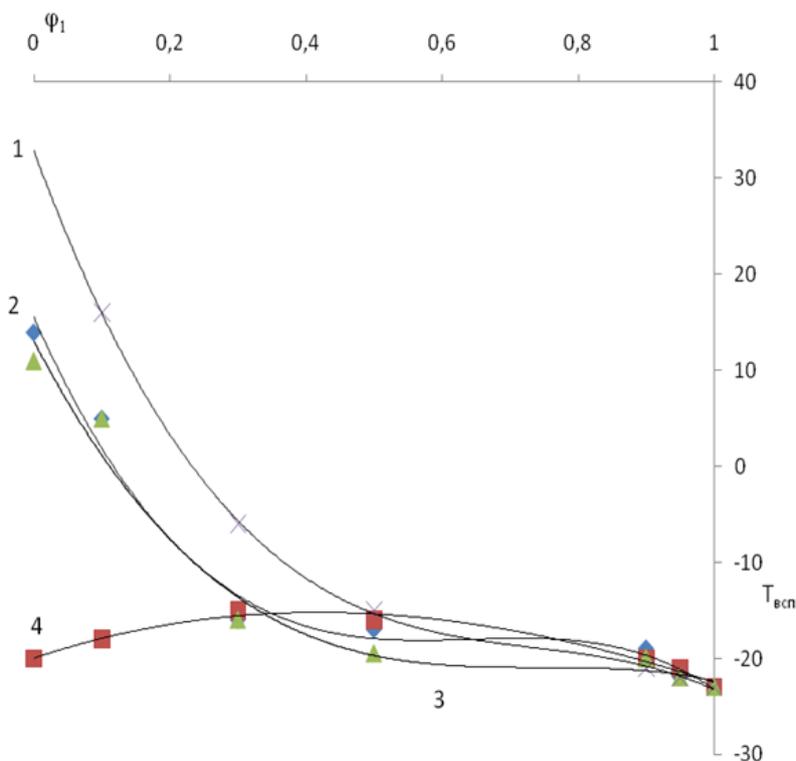


Рис. 2. Зависимость $T_{всп}$ смесей «органический растворитель – гексан» от объемной доли гексана: 1 – хлороформ; 2 – изопропанол; 3 – диоксан; 4 – ТГФ

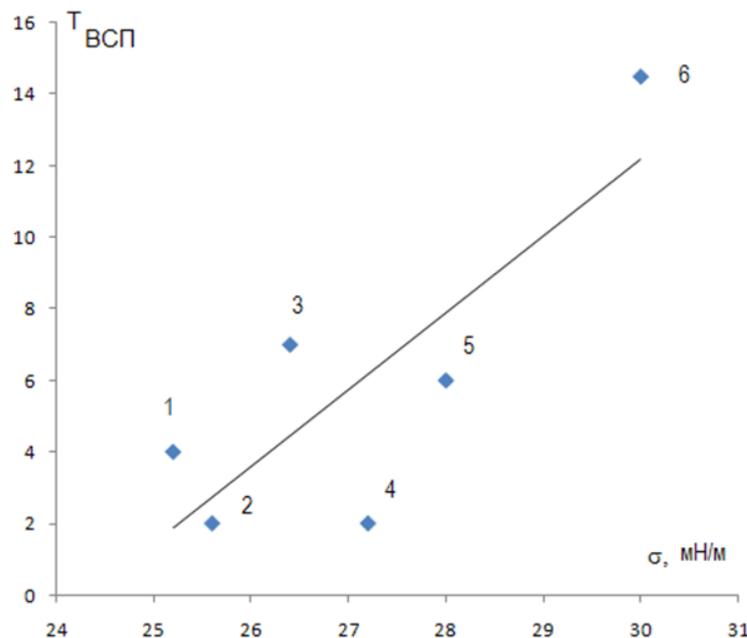


Рис.3. Зависимость $T_{\text{ВСП}}$ ($^{\circ}\text{C}$) от поверхностного натяжения (σ) в открытом тигле:
 1 - Растворитель Р-4; 2 - Разжижитель Р-5; 3 - Растворитель 645; 4 - Растворитель Р – 10; 5 - Разбавитель РДВ;
 6 - Растворитель РС-1

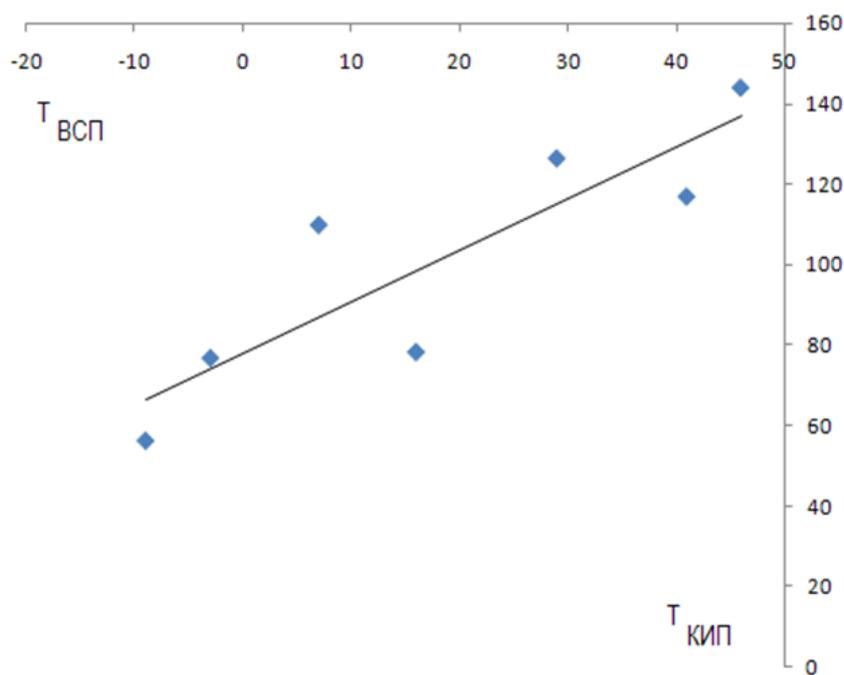


Рис. 4. Зависимость $T_{\text{ВСП}}$ от $T_{\text{КИП}}$ индивидуальных растворителей

Разрабатываемая ИЭС может быть полезна в рейтинговой оценке пожаровзрывоопасности технических жидкостей, растворителей, разжижителей, применяемых в бытовой химии, на химических производствах, в цеховых и других лабораториях, в оценке категорийности помещений по пожаровзрывобезопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О взрывопожароопасности водочной продукции/ С. Г. Алексеев, Н. М. Барбин, А. С.

Авдеев, А. В. Пищальников // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18, № 2. – С. 20-23.

2. О пожароопасности водных растворов этанола/ С. Г. Алексеев, А. В. Пищальников, И. А. Левковец, Н. М. Барбин // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 5. – С. 31-33.

3. Рудаков О. Б. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их водных растворов / О. Б. Рудаков, А. В. Калач, Н. В. Бердникова // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 1. – С. 31-32.