СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

С. Г. Алексеев,^{1,2} Н. М. Барбин,^{2,3} А. В. Пищальников,¹ А. В. Калач,⁴ Е. В. Калач⁴

¹Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург

²Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург

⁴Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС России, Воронеж

Поступила в редакцию 26.07.2013 г.

Аннотация. При категорировании помещений класса Ф5, в которых обращаются несколько легковоспламеняющихся жидкостей, возникает потребность в выборе наиболее взрывоопасной жидкости. Одним из способов решения этой задачи является применение критериев взрывоопасности легковоспламеняющихся жидкостей. Для этой цели наиболее подходят комплексный показатель взрывоопасности и удельный безопасный объем. В связи с этим сравнительный анализ этих показателей на допустимость их практического применения является актуальной задачей. В качестве объектов исследования взяты 47 легковоспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки от -52 до 60 °С. Показано, что применение удельного безопасного объема при категорировании помещений по взрывоопасности предпочтительнее, чем комплексного показателя взрывоопасности. Полученные результаты могут быть использованы проектными организациями в их практической деятельности.

Ключевые слова: критерий, взрывоопасность, легковоспламеняющаяся жидкость, максимальное давление взрыва, комплексный показатель взрывоопасности, удельный безопасный объем, низшая теплота сгорания.

Abstract. Need for a choice of the most explosive liquid is arisen at designing and an estimation fire and explosion safety of compartments of F5 class with different flammable liquids. One of solution ways for this problem is application of explosion hazard criteria of flammable liquids. The complex index of explosion hazard and specific safety volume have most approach for this aim. Therefore the comparative analysis of these indexes on an admissibility of their practical application is actual problem. 47 flammable fluids with flash point from -52 to 60 °C are taken in the capacity of subjects of investigation. It is shown that application of the specific safety volume is more preferable than the complex index of explosion hazard. The received results used by the design organizations in their practical activities.

Keywords: index, explosion hazard, flammable liquid, overpressure of explosion, complex index of explosion hazard, specific safety volume, low combustion heat.

Пункт А.1.1 Сводов правил [1] при категорировании помещений производственного и складского назначения класса Ф5 требует выбирать самый неблагоприятный вариант развития аварии. Это означает, что при обращении в помещении несколько легковоспламеняющихся жидкостей (далее ЛВЖ), возникает потребность в выборе наиболее опасной ЛВЖ. Ранее было показано,

что с помощью простого сравнения показателей взрывопожароопасности ЛВЖ сделать этот выбор практически невозможно [2, 3]. В ходе предварительного исследования [4] установлено, что различные полифункциональные критерии [5, 6], которые включают в себя не только взрывопожароопасные свойства, а также рейтинг взрывоопасности ОАО «Газпром» [7] малопригодны для решения данной задачи. В настоящее время в качестве перспективных показателей взрывоопасности ЛВЖ можно рассматривать комплексный

показатель взрывоопасности паровоздушной смеси (П) [8] и удельный безопасный объем помещения (ΔV) [2-4, 9, 10].

Источником создания показателей П и ΔV является один и тот же нормативный документ – СП 12.13130.2009 [1]. Для комплексного показателя взрывоопасности паровоздушной смеси П предложена формула (1) [8], которая получена путем комбинации уравнений (А.4), (А.12) и (А.13) из Сводов правил [1] и формального их упрощения. По мнению создателей этого критерия, чем больше П, тем выше взрывоопасность паров ЛВЖ [8].

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P = \frac{m \Delta H_{гор} P_o Z}{V_{св} \rho_p C_p T_o K_n} \quad (A.4) \\ m = W F_{и} \tau \quad (A.12) \\ W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_{нас} \quad (A.13) \end{array} \right\} \Rightarrow P = \sqrt{M} \times n \times P_{нас} \times \Delta H_{гор} \times 10^{-6}, \quad (1)$$

где m – масса горючих паров ЛВЖ/ГЖ; $\Delta H_{гор}$ – низшая теплота сгорания, Дж/кг; P_o – атмосферное давление, кПа; Z – коэффициент участия горючих газов и паров в горении; $V_{св}$ – свободный объем помещения, м³; ρ – плотность воздуха при расчетной температуре T_o , кг/м³; K_n – безразмерный коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения; W – интенсивность испарения ЛВЖ, кг/(м²×с); $F_{и}$ – площадь испарения, м²; τ – максимальное расчетное время свободного испарения, с; η – коэффициент, учитывающий скорость и температуру воздушного потока над поверхностью испарения; M – молекулярная масса, кг/кмоль; n – массовая доля компонента, для чистых растворителей $n = 1$; $P_{нас}$ – давление насыщенных паров ЛВЖ при начальной температуре T_o , кПа; 10^{-6} – коэффициент, переводящий теплоту сгорания из Дж/кг в МДж/кг.

Из множителей уравнения (1) видно, что в его основе лежит произведение интенсивности испарения на теплоту сгорания ЛВЖ с добавлением поправочного коэффициента, при этом авторы комплексного показателя взрывоопасности паровоздушной смеси пренебрегли влиянием площади, времени и условий испарения, а также геометрии помещения. В связи с этим возникает практический вопрос, допустимы ли данные допущения или нет.

Уравнения для определения удельных безопасных объемов помещений (2) и (3) [2-4, 9, 10] выведены из формул для расчета избыточного давления взрыва (А.1) и (А.2) и учета идеологии Сводов правил [1], согласно которой для отнесения помещения к категории взрывоопасного важно не само значение избыточного давления взрыва (ΔP), а

выполнение неравенства $\Delta P > 5$ кПа. По аналогии с пунктами А.2.1 и А.2.2 Сводов правил [1] для индивидуальных ЛВЖ с известной брутто-формулой рекомендовано уравнение (2), а для ЛВЖ сложного состава – уравнение (3).

$$\left\{ \Delta P = (P_{max} - P_o) \frac{100mZ}{V_{св} \rho_n C_{ст} K_n} \quad (A.1) \right\} \Rightarrow \Delta V_1 = (P_{max} - P_o) \frac{2,5m}{\rho_n C_{ст}}, \quad (2)$$

$$\left\{ (A.4) \right\} \Rightarrow \Delta V_2 = \frac{m \Delta H_{гор} P_o}{40 \times \rho_p C_p T_o}, \quad (3)$$

где P_{max} – максимальное давление взрыва, кПа; ρ_n – плотности паров ЛВЖ при расчетной температуре T_o , кг/м³; $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.); C_p – теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг×К); T_o – расчетная температура воздуха в помещении, К.

По физической сущности ΔV_1 и ΔV_2 являются универсальными результатами расчета по проверке отнесения помещений к категории А или Б, которые могут использоваться многократно и для любых количеств ЛВЖ и объемов помещений.

В качестве недостатка данного критерия взрывоопасности ЛВЖ можно отметить, что он привязан к условиям испарения, а также имеет ограничение – площадь свободного разлития ЛВЖ должна быть меньше площади помещения.

Таким образом, сравнительный анализ индексов П и ΔV на широком круге объектов и выявлении наиболее подходящего критерия для определения наиболее взрывоопасной ЛВЖ имеет не только теоретический, но практический интерес, связанный с решением задач по категорированию помещений.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

В качестве объектов исследования взяты 47 ЛВЖ, приведенные в Пособии [11] и литературные данные [11-13] по физико-химическим и пожаровзрывоопасным свойствам этих ЛВЖ. Давление насыщенных паров ЛВЖ рассчитано с помощью уравнения Антуана, константы для которого заимствованы из работ [11-15]. Для в-бутилацетата, гексанола, гидразина, дивинилового эфира, диэтиламина, изопентана, 4-метилпиридина давление насыщенных паров вычислено с помощью программного обеспечения базы данных DIPPR 801 [16]. В соответствии с п. А.1.1 Сводов правил время испарения ЛВЖ принято 3600 с [1], а скорость воздушного потока (v) – 0 м/с. Расчетный диапазон температур выбран от 20 до 70 С с шагом в 10°С. При его выборе учитывались требования п. А.2.1 Сводов правил [1] о том, что в

Сравнительный анализ критериев взрывоопасности легковоспламеняющихся жидкостей

качестве расчетной температуры принимается максимально возможная температура воздуха в данном помещении с учетом климатической зоны (абсолютная максимальная температура воздуха в нашей стране и на постсоветском пространстве колеблется от 22 до 45°C [17]). Таким образом, использу-

емый диапазон температур перекрывает все возможные расчетные температуры в помещениях на территории России и постсоветских республик.

Литературные данные по температуре вспышки, теплоте сгорания и максимальному давлению взрыва исследуемых ЛВЖ приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели взрывоопасности ЛВЖ

Растворитель ($t_{всп}$, °C; $\Delta H_{гор}$, МДж/кг; P_{max} , кПа)	$\frac{\Delta V_1/\Delta V_2}{\Pi \times 10^{-3}}$					
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
Амилацетат (43; 29,879; 735)	<u>3,2/4,9</u> 0,19	<u>6,0/8,9</u> 0,35	<u>10,7/15,5</u> 0,61	<u>18,5/25,8</u> 1,01	<u>30,7/41,6</u> 1,63	<u>49,3/64,8</u> 2,54
Амилен (-18; 45,017; 900 ²)	<u>162,8/203,0</u> 26,68	<u>168,4/203,0</u> 38,23	<u>173,9/203,0</u> 53,35	<u>179,5/203,0</u> 72,70	<u>185,1/203,0</u> 96,97	<u>190,6/203,0</u> 126,88
Ацетальдегид (-40; 27,071; 900 ¹)	<u>112,0/150,1</u> 18,09	<u>115,8/150,1</u> 26,10	<u>119,6/150,1</u> 36,64	<u>123,4/150,1</u> 50,21	<u>127,3/150,1</u> 67,33	<u>131,1/150,2</u> 88,53
Ацетон (-18; 31,360; 570)	<u>78,2/175,5</u> 5,87	<u>80,9/175,6</u> 9,02	<u>83,5/175,6</u> 13,43	<u>86,2/175,6</u> 19,47	<u>88,9/175,6</u> 27,52	<u>91,6/175,6</u> 38,03
Бензол (-11; 40,576; 880)	<u>71,3/91,5</u> 3,59	<u>117,1/145,4</u> 5,70	<u>185,4/222,8</u> 8,74	<u>215,5/251,0</u> 12,98	<u>222,2/251,0</u> 18,72	<u>228,9/251,0</u> 26,34
Бутилацетат (29; 28,280; 755)	<u>5,8/8,6</u> 2,53	<u>10,9/15,7</u> 4,61	<u>19,5/27,2</u> 8,74	<u>33,5/45,3</u> 13,32	<u>55,3/72,4</u> 21,32	<u>88,1/112,0</u> 32,96
в-Бутилацетат (19; 28,202; 900 ¹)	<u>14,3/17,4</u> 0,68	<u>25,5/30,0</u> 1,18	<u>43,7/49,8</u> 1,95	<u>72,1/79,6</u> 3,12	<u>115,1/123,4</u> 4,84	<u>167,7/174,5</u> 7,28
Бутанол (35; 36,805; 720)	<u>3,2/5,5</u> 0,21	<u>6,3/10,6</u> 0,41	<u>12,1/19,6</u> 0,77	<u>22,4/35,1</u> 1,38	<u>40,0/60,8</u> 2,39	<u>69,1/101,9</u> 4,00
Гексан (-23; 45,105; 850)	<u>160,8/209,1</u> 10,46	<u>166,3/209,1</u> 15,62	<u>171,8/209,1</u> 22,66	<u>177,3/209,1</u> 32,03	<u>182,8/209,1</u> 44,22	<u>188,3/209,1</u> 59,76
Гексанол (60; 39,587; 900 ¹)	<u>0,5/0,6</u> 0,03	<u>1,2/1,5</u> 0,06	<u>2,6/3,3</u> 0,13	<u>5,6/6,8</u> 0,27	<u>11,3/13,3</u> 0,52	<u>21,5/24,6</u> 0,96
Гептан (-4; 44,919; 843)	<u>39,8/53,8</u> 15,82	<u>67,8/88,5</u> 26,06	<u>111,0/140,2</u> 41,28	<u>175,3/214,6</u> 63,16	<u>183,1/217,5</u> 93,73	<u>188,6/217,5</u> 135,31
Гидразин (38; 14,440; 900 ¹)	<u>2,5/2,9</u> 0,12	<u>4,8/5,4</u> 0,21	<u>8,6/9,4</u> 0,37	<u>14,9/15,7</u> 0,62	<u>24,9/25,6</u> 1,00	<u>40,3/40,2</u> 1,58
Декан (47; 44,602; 900 ¹)	<u>1,8/2,2</u> 0,09	<u>3,6/4,3</u> 0,17	<u>6,8/7,8</u> 0,31	<u>12,2/13,6</u> 0,54	<u>21,2/23,0</u> 0,90	<u>35,6/37,4</u> 1,47
Дивиниловый эфир (-30; 32,610; 480)	<u>63,3/178,2</u> 20,11	<u>65,4/178,2</u> 29,37	<u>67,6/178,2</u> 41,67	<u>69,8/178,2</u> 57,63	<u>71,9/178,2</u> 77,90	<u>74,1/178,2</u> 103,17
ДМФА ² (53; 24,471 ⁷ ; 620)	<u>1,0/1,9</u> 0,57	<u>2,0/3,7</u> 1,08	<u>3,7/6,6</u> 1,94	<u>6,6/11,3</u> 3,34	<u>11,3/18,8</u> 5,52	<u>18,6/29,9</u> 8,80
1,4-Диоксан (11; 24,814 ⁷ ; 820)	<u>17,1/24,2</u> 0,95	<u>28,9/39,8</u> 1,56	<u>47,4/63,0</u> 2,47	<u>75,2/96,9</u> 3,80	<u>115,9/144,8</u> 5,68	<u>149,6/181,5</u> 8,29

Таблица 1 (Продолжение).

Показатели взрывоопасности ЛВЖ

Растворитель ($t_{всп}$, °С; $\Delta H_{гор}$, МДж/кг; P_{max} , кПа)	$\frac{\Delta V_1/\Delta V_2}{P \times 10^{-3}}$					
	20°С	30°С	40°С	50°С	60°С	70°С
1,2-Дихлорэтан (9; 10,873; 900 ^l)	<u>18,9/22,8</u> 0,90	<u>31,1/36,3</u> 1,43	<u>49,6/56,2</u> 2,20	<u>76,9/84,4</u> 3,31	<u>90,6/96,5</u> 4,85	<u>93,3/96,5</u> 6,93
Диэтиламин (-14; 34,876; 720)	<u>157,1/175,3</u> 7,54	<u>162,4/175,3</u> 11,55	<u>167,8/175,3</u> 17,15	<u>173,2/175,3</u> 24,77	<u>178,6/175,3</u> 34,87	<u>183,9/175,3</u> 47,98
Диэтиловый эфир (-41; 34,147; 720)	<u>107,7/172,5</u> 129,22	<u>111,3/172,5</u> 189,47	<u>115,0/172,5</u> 270,09	<u>118,7/172,5</u> 375,43	<u>122,4/172,5</u> 510,18	<u>126,1/172,5</u> 679,31
Изобутанол (28; 36,743; 745)	<u>5,9/9,7</u> 0,38	<u>11,6/18,6</u> 0,73	<u>21,9/33,9</u> 1,33	<u>39,5/59,4</u> 2,33	<u>68,9/100,4</u> 3,94	<u>116,0/164,2</u> 6,44
Изопентан (-52; 45,239; 900 ^l)	<u>163,9/198,4</u> 29,44	<u>169,5/198,4</u> 41,90	<u>175,1/198,4</u> 58,14	<u>180,7/198,4</u> 78,86	<u>186,3/198,5</u> 104,78	<u>191,9/198,5</u> 136,72
Кумол (37; 46,663; 900 ^l)	<u>4,1/5,7</u> 0,23	<u>7,9/10,7</u> 0,42	<u>14,5/19,0</u> 0,75	<u>25,4/32,2</u> 1,26	<u>42,6/52,5</u> 2,06	<u>69,1/82,6</u> 3,24
Изопропанол (14; 34,139; 634)	<u>14,9/29,7</u> 1,17	<u>28,2/54,3</u> 2,13	<u>51,0/94,9</u> 3,72	<u>88,3/159,4</u> 6,25	<u>108,4/189,6</u> 10,14	<u>111,6/189,6</u> 15,92
м-Ксилол (28; 52,829; 765)	<u>5,9/11,4</u> 0,45	<u>11,0/20,4</u> 0,80	<u>19,5/35,0</u> 1,37	<u>33,1/57,6</u> 2,26	<u>54,1/91,4</u> 3,58	<u>85,7/140,4</u> 5,51
о-Ксилол (31; 41,217; 764)	<u>4,8/7,2</u> 0,28	<u>8,9/12,9</u> 0,51	<u>15,9/22,3</u> 0,87	<u>27,1/36,8</u> 1,44	<u>44,5/58,7</u> 2,30	<u>70,9/90,8</u> 3,56
п-Ксилол (26; 41,207; 765)	<u>6,4/9,5</u> 0,28	<u>11,7/16,9</u> 0,66	<u>20,5/28,7</u> 1,13	<u>34,6/46,9</u> 1,84	<u>56,2/74,0</u> 2,90	<u>88,6/113,2</u> 4,44
Метанол (6; 23,839; 620)	<u>20,9/43,9</u> 1,72	<u>36,5/74,0</u> 2,90	<u>61,2/120,1</u> 4,71	<u>69,8/132,8</u> 11,31	<u>72,0/132,8</u> 7,41	<u>74,1/132,8</u> 16,80
Метилпропилкетон (6; 33,879; 900 ^l)	<u>26,5/32,6</u> 1,28	<u>44,5/53,0</u> 2,08	<u>72,3/83,4</u> 3,27	<u>114,1/127,6</u> 5,01	<u>175,5/190,3</u> 7,47	<u>184,3/194,0</u> 10,88
МЭК ³ (-6; 31,453; 900 ^l)	<u>148,2/179,2</u> 21,73	<u>153,2/179,2</u> 34,02	<u>158,3/179,2</u> 51,53	<u>163,4/179,3</u> 75,79	<u>168,4/179,3</u> 108,59	<u>173,5/179,3</u> 151,91
Нонан (31; 44,684; 900 ^l)	<u>4,7/5,8</u> 0,23	<u>9,1/10,8</u> 0,42	<u>16,6/19,1</u> 0,75	<u>29,1/32,5</u> 1,27	<u>49,0/53,0</u> 2,08	<u>79,6/83,5</u> 3,28
Октан (14; 44,787; 900 ^l)	<u>13,9/17,0</u> 0,67	<u>25,3/30,0</u> 1,18	<u>44,1/50,5</u> 1,98	<u>73,6/81,8</u> 3,21	<u>118,5/127,8</u> 5,01	<u>184,8/193,4</u> 7,59
Пентан (-44; 45,350; 850)	<u>154,1/1105,0</u> 163,44	<u>159,4/1068,6</u> 237,02	<u>164,6/1034,4</u> 334,49	<u>169,9/1002,4</u> 460,71	<u>175,2/972,3</u> 620,84	<u>180,5/943,9</u> 820,33
4-Метилпиридин (39; 36,702; 900 ^l)	<u>3,9/5,1</u> 0,20	<u>7,4/9,3</u> 0,37	<u>13,4/16,4</u> 0,64	<u>23,2/27,5</u> 1,30	<u>38,7/44,6</u> 1,75	<u>38,7/44,6</u> 1,75
Пиридин (20; 35,676; 950)	<u>12,5/15,7</u> 0,62	<u>23,0/27,8</u> 1,09	<u>40,1/47,0</u> 1,84	<u>67,0/76,1</u> 2,99	<u>107,7/118,6</u> 4,65	<u>107,7/118,6</u> 4,65
Пропанол (23; 34,405; 900 ^l)	<u>10,0/13,4</u> 0,53	<u>19,8/25,5</u> 1,00	<u>37,0/46,4</u> 1,82	<u>66,5/80,6</u> 3,16	<u>114,6/134,8</u> 5,29	<u>170,9/195,1</u> 8,54

Показатели взрывоопасности ЛВЖ

Растворитель ($t_{\text{всп}}, ^\circ\text{C}$; $\Delta H_{\text{гор}}, \text{МДж/кг}$; $P_{\text{max}}, \text{кПа}$)	$\frac{\Delta V_1/\Delta V_2}{P \times 10^{-3}}$					
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
Сероуглерод (-43; 14,020; 780)	<u>103,7/123,6</u> 4,85	<u>108,5/125,0</u> 7,08	<u>112,1/125,1</u> 10,07	<u>115,6/125,1</u> 13,97	<u>119,2/125,1</u> 18,98	<u>122,8/125,1</u> 25,29
Стирол (30; 43,888; 650)	<u>3,9/7,7</u> 0,30	<u>7,0/13,4</u> 0,53	<u>12,1/22,5</u> 0,88	<u>20,3/36,5</u> 1,43	<u>32,9/57,5</u> 2,25	<u>52,1/88,2</u> 3,46
ТГФ ⁴ (-20; 34,730; 900 ¹)	<u>97,2/129,9</u> 5,10	<u>156,0/201,5</u> 7,91	<u>174,8/218,6</u> 11,86	<u>180,4/218,6</u> 17,28	<u>186,0/218,6</u> 24,53	<u>191,6/218,6</u> 34,00
Толуол (7; 40,936; 634)	<u>15,1/28,3</u> 1,11	<u>26,4/47,6</u> 1,87	<u>44,0/77,1</u> 3,02	<u>70,9/120,3</u> 4,72	<u>110,5/181,8</u> 7,13	<u>157,4/251,3</u> 10,47
2,2,4-Триметилпентан (-4; 44,647; 790)	<u>44,2/62,6</u> 2,46	<u>73,9/101,2</u> 3,97	<u>118,9/157,6</u> 6,18	<u>169,2/217,4</u> 9,32	<u>174,4/217,4</u> 13,65	<u>179,7/217,4</u> 19,46
Уксусная кислота (40; 13,097; 9001)	<u>3,7/4,1</u> 0,16	<u>6,7/7,1</u> 0,28	<u>11,7/11,9</u> (0,47)	<u>19,6/19,3</u> 0,76	<u>31,8/30,4</u> 1,19	<u>50,2/46,5</u> 1,82
Хлорбензол (29; 27,315; 558)	<u>4,9/11,6</u> 0,45	<u>8,9/20,2</u> 0,79	<u>15,4/33,9</u> 1,33	<u>25,8/55,0</u> 2,16	<u>41,9/86,7</u> 3,40	<u>66,1/132,8</u> 5,21
Циклогексан (-17; 43,833; 860)	<u>82,5/105,9</u> 4,16	<u>134,0/166,3</u> 6,53	<u>199,6/239,9</u> 9,90	<u>206,0/239,9</u> 14,57	<u>212,4/239,9</u> 20,87	<u>218,8/239,9</u> 29,16
Этилацетат (-3; 23,587; 852,6)	<u>43,0/55,5</u> 2,18	<u>72,3/90,3</u> 3,54	<u>117,0/141,4</u> 5,55	<u>128,3/150,3</u> 8,40	<u>132,3/150,3</u> 12,35	<u>136,3/150,4</u> 17,68
Этилбензол (20; 41,323; 900 ¹)	<u>8,4/10,5</u> 0,41	<u>15,3/18,5</u> 0,72	<u>26,7/31,2</u> 1,22	<u>44,8/50,7</u> 1,99	<u>72,6/79,7</u> 3,13	<u>114,1/121,5</u> 4,77
Этанол (13; 30,562; 680)	<u>16,6/30,5</u> 1,20	<u>30,4/54,3</u> 2,13	<u>53,7/92,8</u> 3,64	<u>91,5/153,0</u> 6,00	<u>104,7/169,9</u> 9,59	<u>107,8/169,9</u> 14,88
Этилцеллозольв (40; 26,382; 900 ¹)	<u>2,6/3,2</u> 0,13	<u>4,9/6,0</u> 0,24	<u>9,0/10,7</u> 0,42	<u>16,1/18,5</u> 0,73	<u>27,7/30,9</u> 1,21	<u>46,2/50,0</u> 1,96

Примечания. ¹Принято согласно п. А.2.1 СП [1]. ²Диметилформамид. ³Метилэтилкетон. ⁴Тетрагидрофуран

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ЛВЖ.

Результаты расчетов представлены в таблице 1, анализ которой показывает, что прогнозы взрывоопасности ЛВЖ по критериям ΔV_1 , ΔV_2 и P дают различные прогнозы, но поскольку показатели ΔV_1 и ΔV_2 по своей сущности являются точными результатами расчета по методике СП 12.13130.2009, то им следует отдать предпочтение. Расхождение значений показателей ΔV_1 и ΔV_2 для исследуемых ЛВЖ обусловлено несовершенством и несогласованностью между собой формул (А.1) и (А.4), о чем уже отмечалось ранее [2-4, 10].

Из таблицы 1 видно, что значения ΔV_1 , как правило, меньше значения ΔV_2 за исключением гидразина при 70 °С и уксусной кислоты при температурах от 50 до 70 °С.

В случае полного испарения ЛВЖ показатель ΔV_1 с увеличением температуры окружающей среды продолжает расти (см. амилен, ацетальдегид, ацетон, бензол, гексан, гептан, дивиниловый эфир, 1,2-дихлорэтан, диэтиламин, диэтиловый эфир, изопентан, изопропанол, метанол, МЭК, сероуглерод, ТГФ, 2,2,4-триметилпентан, циклогексан, этилацетат и этанол), что противоречит физическому смыслу и указывает на скрытый недостаток уравнения (А.1). В этом случае критерий ΔV_2 по своей природе имеет преимуществом над

показателем ΔV_1 . Наблюдаемая разница в прогнозах показателей ΔV_2 и П указывает на недопустимость допущений принятых при выводе формулы для критерия П (см. введение). Наиболее оптимальным вариантом выхода из данной ситуации является принятие усредненного показателя ΔV , который определяется как $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$. Этот критерий учитывает как максимальное давление взрыва, так и теплоту сгорания ЛВЖ. Однако его практическое применение потребует внесения изменений в Своды правил [1] по методу определения избыточного давления взрыва индивидуальных горючих газов и паров ЛВЖ.

Применение нового критерия взрывоопасности ЛВЖ $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$ для категорирования помещений класса Ф5 можно продемонстрировать на примере складского помещения в городе Екатеринбурге объемом 500 м^3 , в котором хранятся 20 литровые бутылки с ацетоном, бензолом, этанолом и этилацетатом. В качестве расчетной аварийной ситуации выбрано падение и разбитие 20 литровой бутылки с ЛВЖ.

РЕШЕНИЕ

1. По СНиП СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» [17] находим, что значение рабочей температуры в районе города Екатеринбурга составляет $39 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. По данным таблицы 1 рассчитываем значения $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$ для ацетона, бензола, этанола и этилацетата при 30 и $40 \text{ }^\circ\text{C}$ и полученные результаты заносим в таблицу 2. Затем методом линейной корреляции находим значения $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$ при $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Из таблицы 2 видно, что наиболее опасной ЛВЖ для нашего случая является бензол.

Таблица 2.

Результаты расчета $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$.

Температура, $^\circ\text{C}$	Ацетон	Бензол	Этанол	Этилацетат
30	128,2	131,2	42,3	81,3
40	129,6	204,1	73,2	129,2
39	129,5	196,8	70,1	124,4

При разлитии 1 л бензола безопасный объем помещения равен $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$ и составляет $196,8 \text{ м}^3$. Следовательно, для 20 литров бензола безопасный объем помещения $V_{\text{без}} = 196,8 \times 20 = 3924 \text{ м}^3$, т.к. объем помещения (500 м^3) меньше $V_{\text{без}}$, то помещение склада согласно п. 5.1 Сводов правил [1] относится к категории А (повышенная взрывопожароопасность).

ВЫВОДЫ

1. Для 47 ЛВЖ рассчитаны критерии взрывоопасности для всех возможных расчетных температур в помещениях для территории России и постсоветского пространства.

2. Показано, что прогнозы взрывоопасности ЛВЖ по критериям удельных безопасных объемов помещений ΔV_1 и ΔV_2 , а также по комплексному показателю взрывоопасности паровоздушной смеси П дают различные прогнозы. Расхождение значений показателей ΔV_1 и ΔV_2 для исследуемых ЛВЖ обусловлено несовершенством и несогласованностью между собой формул для расчета избыточного давления взрыва из СП 12.13130.2009. Разница в прогнозах взрывоопасности ЛВЖ по показателям ΔV и П указывает на недопустимость принятых допущений, сделанных при выводе формулы для критерия П.

3. Наиболее оптимальным вариантом для оценки уровня взрывоопасности ЛВЖ является введение усредненного показателя $(\Delta V_1 + \Delta V_2)/2$, который учитывает как максимальное давление взрыва, так и теплоту сгорания ЛВЖ. Однако его введение потребует внесения в СП 12.13130.2009 изменения по определению избыточного давления взрыва горючих газов и ЛВЖ.

4. С помощью критерия ΔV_1 выявлен скрытый недостаток уравнения (А.1) в СП 12.13130.2009.

5. Полученные результаты могут быть использованы проектными организациями в их практической деятельности, в уточнении обобщенного критерия химической и пожарной безопасности органических растворителей [18-22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

2. Рудаков О.Б. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 57-60.

3. Алексеев С.Г. Пожарная безопасность исследовательских лабораторий, применяющих жидкостную экстракцию и хроматографию / С.Г. Алексеев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — Т. 12, Вып. 5. — С. 770-778.

4. Алексеев С.Г. Выбор наиболее опасной ЛВЖ при категорировании помещений / С.Г.

- Алексеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 19-24.
5. Щеглов П.П. Проблема безопасности при роспуске с сортировочных горок вагонов с легковоспламеняющимися жидкостями / П.П. Щеглов, В.И. Жолобов, Т.И. Ложникова // Вестник ВНИИЖТ. — 2005. — № 6. URL: <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-6/v6-2.htm> (дата обращения 07.09.2013).
6. Рудаков О.Б. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожарная безопасность. — 2005. — № 6. — С. 81–85.
7. СТО Газпром 2-1.1-321-2009. Перечень помещений, зданий и наружных установок с категориями по взрывопожарной и пожарной опасности для объектов транспортировки газа оао «Газпром». URL: <http://www.snti.ru/> (дата обращения 16.09.2013).
8. Земский Г.Т. Особенности категорирования помещений с наличием жидких смесевых композиций / Г.Т. Земский, В.А. Зуйков // Пожарная безопасность. — 2012. — № 1. — С. 49-66.
9. Алексеев С.Г. О взрывопожароопасности водочной продукции / С.Г. Алексеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20-23.
10. Алексеев С.Г. Сравнительный анализ методов СП12.13130.2009 и Карлссона-Квинтая / С.Г. Алексеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 34-39.
11. Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности при рассмотрении проектно-нормативной документации. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
12. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : Справочник: в 2-х ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. — М. : Асс. «Пожнаука», 2004. — Ч. 1. — 713 с.
13. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : Справочник: в 2-х ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. — М. : Асс. «Пожнаука», 2004. — Ч. 2. — 774 с.
14. Вайсберг А. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки / А. Вайсберг [и др.]. — М. : изд-во иностр. лит-ры, 1958. — 520 с.
15. Smallwood I.M. Handbook of Organic Solvent Properties / I.M. Smallwood. — N.Y. : Halsted Press, 1996. — 303 pp.
16. Chemical Database DIPPR 801. URL: <http://www.aiche.org/dippr>. (дата обращения 10.09.-11.09.2013).
17. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
18. Рудаков О.Б. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожарная безопасность. — 2005. — № 6. — С. 81-85.
19. Рудаков О.Б. Информационно-аналитическая система оценки технико-эксплуатационных свойств растворителей / О.Б. Рудаков [и др.] // Научный Вестник Воронежского гос. архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2013. — № 1. — С. 121-127.
20. Рудаков О.Б. Информационно-аналитическая система оценки технико-эксплуатационных свойств растворителей / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 22-27.
21. Бердникова Н.В. Информационно-экспертная система в анализе пожарной опасности жидкостей / Н.В. Бердникова [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2011. — Т. 7, — № 8. — С. 206-208.

Алексеев Сергей Геннадьевич — канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник научно-инженерного центра «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России; e-mail: 3608113@mail.ru)

Alexeev Sergey G. — Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCs, senior researcher of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, senior researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia; e-mail address: 3608113@mail.ru)

Пищальников Алексей Васильевич — аспирант научно-инженерного центра «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, начальник лаборатории, ФГБУ «Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Пермскому краю»; e-mail: rina04@rambler.ru

Барбин Николай Михайлович — д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральской государственного аграрного университета, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России; e-mail: NMBarbin@mail.ru

Калач Андрей Владимирович — д-р хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС России; e-mail: a_kalach@mail.ru

Калач Елена Владимировна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры физики Воронежского института ГПС МЧС России; e-mail: evkalach@gmail.com

Pishchalnikov Alexey V. — Postgraduate Student of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences; Head of Laboratory of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service “Testing Fire Laboratory for the Perm Region”; e-mail address: rina04@rambler.ru

Barbin Nikolay M. — Doctor of Technical Sciences, Head of Chemistry Department, Ural State Agrarian University, Senior Researcher, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia; e-mail: NMBarbin@mail.ru

Kalach Andrey V. — Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, vice-rector on scientific work of Voronezh State Fire Service Institute of Emercom of Russia; e-mail address: a_kalach@mail.ru

Kalach Elena V. — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer Department of Physics on Scientific Work of Voronezh State Fire Service Institute of Emercom of Russia; e-mail: evkalach@gmail.com