

РЕЙТИНГ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

С.Г. Алексеев, кандидат химических наук, доцент.

Уральский институт ГПС МЧС России.

А.В. Пищальников.

Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю.

А.В. Калач, доктор химических наук, доцент.

Воронежский институт ГПС МЧС России

Для 47 легковоспламеняющихся жидкостей рассчитаны критерии взрывоопасности для всех возможных расчетных температур в помещениях, в которых они обращаются. Показано, что прогнозы взрывоопасности легковоспламеняющихся жидкостей по критериям удельных безопасных объемов помещений ΔV_1 и ΔV_2 , а также по комплексному показателю взрывоопасности паровоздушной смеси P дают различные прогнозы. Составлен рейтинг десяти наиболее опасных легковоспламеняющихся жидкостей. С помощью критерия ΔV_1 выявлен скрытый недостаток уравнения (А.1) в СП 12.13130.2009.

Ключевые слова: критерий, взрывоопасность, легковоспламеняющиеся жидкости, расчет

RATING OF EXPLOSION HAZARD OF FLAMMABLE LIQUIDS

S.G. Alexeev. Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.V. Pishchalnikov. Testing fire laboratory for the Perm region.

A.V. Kalach. Voronezh institute of State fire service of EMERCOM of Russia

47 for flammable liquids calculated explosion criteria for all possible design temperatures in the rooms in which flammable liquids are turning. It is shown that the predictions of explosion of flammable liquids on criteria specific safe space volume ΔV_1 and ΔV_2 as well as a complex metric explosive vapor-air mixture P give different predictions. The rating of the 10 most dangerous flammable liquids. Using the criterion ΔV_1 revealed latent defect equation (A.1) in SP 12.13130.2009.

Keywords: index, flammable liquid, explosion safety, calculation

При проектировании новых или реконструкции старых зданий, сооружений, строений и помещений производственного и складского назначения класса Ф5, на которых обращаются легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), возникает потребность в проверке на их отнесение к взрывоопасной категории [1]. В случае применения нескольких видов ЛВЖ возникает проблема в выборе наиболее неблагоприятного расчетного варианта аварии, и как следствие из этого определение наиболее взрывоопасной ЛВЖ. В предыдущих исследованиях авторов показано, что выбор наиболее взрывоопасной ЛВЖ далеко не простая задача. Для ее решения использован прием определения удельных безопасных объемов помещения ΔV [2, 3]. Недавно предложен комплексный показатель взрывоопасности паровоздушной смеси P для определения наиболее опасного компонента в смесевой композиции ЛВЖ [4]. В связи с этим проведение сравнительного анализа этих критериев для определения наиболее взрывоопасной ЛВЖ является актуальной задачей.

Под удельным безопасным объемом помещения ΔV понимается минимальный объем помещения, отнесенный к аварийному разливу 1 л ЛВЖ и при котором создается избыточное давление взрыва паровоздушной смеси равное 5 кПа.

Источником происхождения показателей Π и ΔV является один и тот же нормативный документ – СП 12.13130.2009 [1]. Для определения комплексного показателя взрывоопасности паровоздушной смеси Π предложена формула (1) [4], 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 Π , тем выше взрывоопасность паров ЛВЖ [4].

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

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; $\rho_{в}$ – 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, временем и условиями испарения, а также геометрией помещения. В связи с этим возникает практический вопрос, допустимы ли данные допущения или нет.

Уравнения для определения удельных безопасных объемов помещений (2) и (3) выведены из формул Сводов правил [1] для расчета избыточного давления взрыва (А.1) и (А.2) [2, 3]. По аналогии с рекомендациями Сводов правил [1] для индивидуальных ЛВЖ с известной брутто-формулой рекомендовано уравнение (2), а для ЛВЖ сложного состава – уравнение (3):

$$\left\{ \Delta P = (P_{max} - P_o) \frac{100mZ}{V_{св} \rho_{п} C_{ст} K_n} \quad (A.1) \right\} \Rightarrow 5 = (P_{max} - P_o) \frac{100m \times 0,3}{\Delta V_1 \times 0,8 \times \rho_{п} C_{ст} \times 3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta V_1 = (P_{max} - P_o) \frac{2,5m}{\rho_{п} C_{ст}} ; \quad (2)$$

$$\left\{ \Delta P = \frac{m \Delta H_{гор} P_o Z}{V_{св} \rho_{в} C_p T_o K_n} \quad (A.4) \right\} \Rightarrow 5 = \frac{m \Delta H_{гор} P_o \times 0,3}{\Delta V_2 \times 0,8 \times \rho_{в} C_p T_o \times 3} \Rightarrow \Delta V_2 = \frac{m \Delta H_{гор} P}{40 \times \rho_{в} C_p T} , \quad (3)$$

где P_{max} – максимальное давление взрыва, кПа; $\rho_{п}$ – 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 разлива ЛВЖ должна быть меньше площади помещения.

Исходные данные для сравнительных расчетов показателей взрывоопасности ЛВЖ

Объектом исследования явились 47 ЛВЖ, приведенные в Пособии по применению НПБ 105-95 [5]. Используются литературные данные [5–7] по физико-химическим и пожаровзрывоопасным свойствам исследуемых ЛВЖ. Давление насыщенных паров ЛВЖ рассчитано с помощью уравнения Антуана, константы для которого заимствованы из работ [5–9]. Для в-бутилацетата, гексанола, гидразина, дивинилового эфира, диэтиламина, изопентана, 4-метилпиридина давление насыщенных паров вычислено с помощью программного обеспечения базы данных DIPPR 801 [10]. В соответствии с п. А.1.1 Сводов правил время испарения ЛВЖ принято равным времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Скорость воздушного потока v принята равной 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 о том, что в качестве расчетной температуры принимается максимально возможная температура воздуха в данном помещении с учетом климатической зоны (абсолютная максимальная температура воздуха в нашей стране колеблется от 22 до 45 °С [11]), в крайнем случае, допускается принимать ее равной 61 °С [1]. Таким образом, используемый диапазон температур перекрывает все возможные расчетные температуры в помещениях, в которых обращаются ЛВЖ.

Данные по температуре вспышки, теплоте сгорания и максимальному давлению взрыва исследуемых ЛВЖ приведены в табл. 1.

Сравнительный анализ показателей взрывоопасности ЛВЖ

Результаты расчетов представлены в табл. 1, анализ которой показывает, что прогнозы взрывоопасности ЛВЖ по критериям ΔV_1 , ΔV_2 и П дают различные прогнозы. Расхождение значений показателей ΔV_1 и ΔV_2 для исследуемых ЛВЖ обусловлено несовершенством и несогласованностью между собой формул (А.1) и (А.4) Сводов правил. Значение 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 (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 указывает на скрытый недостаток уравнения (А.1). В этом случае критерий ΔV_2 по своей природе имеет преимущество над показателем ΔV_1 .

Таблица 1. 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
Амилацетат (43; 29,879; 735)	$\frac{3,2}{0,19}/\frac{4,9}{0,19}$	$\frac{6,0}{0,35}/\frac{8,9}{0,35}$	$\frac{10,7}{0,61}/\frac{15,5}{0,61}$	$\frac{18,5}{1,01}/\frac{25,8}{1,01}$	$\frac{30,7}{1,63}/\frac{41,6}{1,63}$	$\frac{49,3}{2,54}/\frac{64,8}{2,54}$
Амилен (-18; 45,017; 900 ²)	$\frac{162,8}{26,68}/\frac{203,0}{26,68}$	$\frac{168,4}{38,23}/\frac{203,0}{38,23}$	$\frac{173,9}{53,35}/\frac{203,0}{53,35}$	$\frac{179,5}{72,70}/\frac{203,0}{72,70}$	$\frac{185,1}{96,97}/\frac{203,0}{96,97}$	$\frac{190,6}{126,88}/\frac{203,0}{126,88}$

Растворитель ($t_{\text{всп}}$, °C; $\Delta H_{\text{гор}}$, 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
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
1,2-Дихлорэтан (9; 10,873; 900 ¹)	<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 ¹)	<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 ¹)	<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 ¹)	<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

Растворитель ($t_{всп}$, °С; $\Delta H_{гор}$, МДж/кг; P_{max} , кПа)	$\frac{\Delta V_1/\Delta V_2}{\Pi \times 10^{-3}}$					
	20 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С
Нонан (31; 44,684; 900 ¹)	<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 ¹)	<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 ¹)	<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>62,5/69,8</u> 2,74
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>167,3/178,9</u> 7,02
Пропанол (23; 34,405; 900 ¹)	<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
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; 900 ¹)	<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: ¹ – принято согласно п. А2.1 Сводов правил; ² – диметилформамид;
³ – метилэтилкетон; ⁴ – тетрагидрофуран

Наблюдаемая разница в прогнозах показателей ΔV_2 и Π указывает на недопустимость допущений, принятых при выводе формулы для критерия Π . 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 по методу определения избыточного давления взрыва индивидуальных горючих газов и паров ЛВЖ.

В табл. 2 показан рейтинг десяти наиболее взрывоопасных ЛВЖ по критериям ΔV_1 , ΔV_2 и Π .

Таблица 2. Рейтинг взрывоопасности ЛВЖ

№	По критерию ΔV_1					
	20 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С
1	Изопентан	Изопентан	Изопентан	Бензол	Бензол	Бензол
2	Амилен	Амилен	Амилен	Циклогексан	Циклогексан	Циклогексан
3	Гексан	Гексан	Гексан	Изопентан	Изопентан	Изопентан
4	Диэтиламин	Диэтиламин	Диэтиламин	ТГФ	ТГФ	ТГФ
5	Пентан	Пентан	Пентан	Амилен	Амилен	Амилен
6	МЭК	ТГФ	ТГФ	Гексан	Гептан	Гептан
7	Ацетальдегид	МЭК	МЭК	Гептан	Гексан	Гексан
8	Диэтиловый эфир	Циклогексан	Циклогексан	Диэтиламин	Диэтиламин	Октан
9	Сероуглерод	Бензол	Бензол	Пентан	Метилпропилкетон	Метилпропилкетон
10	ТГФ	Ацетальдегид	Ацетальдегид	2,2,4-Триметилпентан	Пентан	Диэтиламин
№	По критерию ΔV_2					
	20 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С
1	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан
2	Гексан	Гексан	Гексан	Бензол	Бензол	Толуол
3	Амилен	Амилен	Амилен	Циклогексан	Циклогексан	Бензол
4	Изопентан	ТГФ	ТГФ	ТГФ	ТГФ	Циклогексан
5	МЭК	Изопентан	Изопентан	2,2,4-Триметилпентан	Гептан	ТГФ
6	Дивиниловый эфир	МЭК	МЭК	Гептан	2,2,4-Триметилпентан	Гептан
7	Ацетон	Дивиниловый эфир	Дивиниловый эфир	Гексан	Гексан	2,2,4-Триметилпентан
8	Диэтиламин	Ацетон	Ацетон	Амилен	Амилен	Гексан
9	Диэтиловый эфир	Диэтиламин	Диэтиламин	Изопентан	Изопентан	Амилен
10	Ацетальдегид	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир	МЭК	Метилпропилкетон	Изопентан
№	По критерию П					
	20 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С
1	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан	Пентан
2	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир	Диэтиловый эфир
3	Изопентан	Изопентан	Изопентан	Изопентан	МЭК	МЭК
4	Амилен	Амилен	Амилен	МЭК	Изопентан	Изопентан
5	МЭК	МЭК	МЭК	Амилен	Амилен	Гептан
6	Дивиниловый эфир	Дивиниловый эфир	Дивиниловый эфир	Гептан	Гептан	Амилен
7	Ацетальдегид	Ацетальдегид	Ацетальдегид	Дивиниловый эфир	Дивиниловый эфир	Дивиниловый эфир
8	Гептан	Гептан	Гептан	Ацетальдегид	Ацетальдегид	Ацетальдегид
9	Гексан	Гексан	Гексан	Гексан	Гексан	Гексан
10	Диэтиламин	Диэтиламин	Диэтиламин	Диэтиламин	Диэтиламин	Диэтиламин

Из табл. 2 отчетливо видно, что температура окружающей среды оказывает влияние на рейтинг взрывоопасности ЛВЖ.

Полученные результаты могут быть использованы проектными организациями в их практической деятельности и в уточнении обобщенного критерия химической и пожарной безопасности органических растворителей [11–13].

Литература

1. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. О взрывопожароопасности водочной продукции / С.Г. Алексеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 18. № 2. С. 20–23.
3. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 1. С. 57–60.
4. Земский Г.Т., Зуйков В.А. Особенности категорирования помещений с наличием жидких смесевых композиций // Пожарная безопасность. 2012. № 1. С. 49–66.
5. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности при рассмотрении проектно-нормативной документации: пособ. по применению НПБ 105-95 // Сборник НСИС ПБ. 2012. № 2 (48).
6. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. в 2-х ч. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 1. 713 с.
7. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. в 2-х ч. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 2. 774 с.
8. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки / А. Вайсберг [и др.]. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. 520 с.
9. Smallwood I.M. Handbook of Organic Solvent Properties. N.Y.: Halsted Press, 1996. 303 p.
10. Chemical Database DIPPR 801. URL: <http://www.aiche.org/dippr> (дата обращения: 11.09.2013).
11. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожарная безопасность. 2005. № 6. С. 81–85.
12. Информационно-аналитическая система в оценке технико-эксплуатационных свойств жидких сред / О.Б. Рудаков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 4. С. 22–27.
13. Информационно-экспертная система в анализе пожарной опасности жидкостей / Н.В. Бердникова [и др.] // Вестн. Воронежского гос. техн. ун-та. 2011. Т. 7. № 8. С. 206–208.