

УДК 620.263

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.70.73.002

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПО ПОВЕРХНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

*Дударева В.И.<sup>1</sup>; Чувашова Д.А.<sup>1</sup>; Онучина О.А.<sup>1</sup>; Захаренко А.А.<sup>1</sup>;  
Шубин А.А.<sup>1,2</sup>, канд. хим. наук, доцент*

<sup>1</sup>*Сибирский Федеральный Университет*

<sup>2</sup>*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

**Аннотация.** Линейная скорость распространения пламени по поверхности легковоспламеняющихся жидкостей является одним из наиболее важных показателей пожароопасности. В работе экспериментально определены  $v_L$  для водных растворов ацетона, 1-пропанола и 2-пропанола. Показано, что с уменьшением концентрации ЛВЖ в растворе снижается исследуемый показатель. Также установлена прямая корреляция между измеренными величинами  $v_L$  ацетона, 1-пропанола и 2-пропанола и их температурами воспламенения.

**Ключевые слова:** ацетон, 1-пропанол, 2-пропанол, линейная скорость распространения пламени, легковоспламеняющиеся жидкости.

## INVESTIGATION OF THE LINEAR VELOCITY OF FLAME PROPAGATION OVER THE SURFACE OF SOME FLAMMABLE LIQUIDS

*Dudareva V.I.<sup>1</sup>; Chuvashova D.A.<sup>1</sup>; Onuchina O.A.<sup>1</sup>; Zakharenko A.A.<sup>1</sup>;  
Shubin A.A.<sup>1,2</sup>; Ph.D. of Chemical Sciences, Docent*

<sup>1</sup>*Siberian Federal University*

<sup>2</sup>*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

**Abstract.** The linear velocity of flame propagation over the surface of highly flammable liquids is one of the most important indicators of fire hazard. In this paper,  $v_L$  was experimentally determined for aqueous solutions of acetone, 1-propanol, and 2-propanol. It is shown that with a decrease in the concentration of HFL in the solution, the  $v_L$  decreases. A direct correlation was also established between the measured values of  $v_L$  of acetone, 1-propanol and 2-propanol and their ignition temperatures.

**Key words:** acetone, 1- propanol, 2- propanol, linear velocity of flame propagation, highly inflammable liquids.

Обеспечение пожарной безопасности в процессах транспортировки, переработки и хранения легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) является одной из приоритетных задач государственной противопожарной службы (ГПС). Для обеспечения пожарной безопасности необходимо учитывать основные закономерности горения, а также факторы, оказывающие влияние на распространения пламени по поверхности горючего вещества. Процесс горения

сопровождается реакцией окисления, выделением тепла, света с образованием турбулентного или ламинарного режима диффузионного горения. Процесс горения характеризуется различными показателями, одним из которых является линейная скорость распространения пламени.

Линейная скорость распространения пламени ( $v_{л}$ ) по поверхности легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) является качественной характеристикой горючего вещества и параметром, который может определять развитие пожара. Экспериментальный показатель скорости зависит от многих факторов, из которых основными являются: природа горючего вещества, его концентрация и температура окружающей среды. Перечисленные характеристики могут как уменьшить, так и увеличить  $v_{л}$ . ЛВЖ наиболее опасны при пожаре, так как обладают высокой скоростью распространения пламени по поверхности. Подобный показатель пожароопасности веществ может учитываться в разрабатываемых системах контроля и управления пожарной безопасностью на предприятиях [1].

Исходя из вышесказанного, поставлена следующая цель: изучение зависимости линейной скорости распространения пламени по поверхности ЛВЖ от концентрации на примере 1-пропанола, 2-пропанола и ацетона.

Для исследования использованы следующие вещества и их водные растворы: ацетон, технически чистый, ГОСТ 2768-84 [2] (100, 90 80 и 70%); 1-пропанол, химически чистый, ТУ 2632-106-44493179-07 [3], АО «Экос-1» (100, 95 и 90%) и 2-пропанол, ТУ 6-09-712-76 [4] (100 и 90%). Для приготовления растворов использовалась дистиллированная вода ГОСТ 6709-72 [5]. Рассматриваемые в работе индивидуальные вещества (ацетон, 1-пропанол и 2-пропанол) характеризуются одинаковой протяженностью углеводородного скелета, но при этом они отличаются видом кислородосодержащей функциональной группы и ее позиции. Для точности эксперимента с каждым раствором было проведено 3 измерения и рассчитаны средние значения скорости для каждой концентрации смеси.

При проведении экспериментов используется стенд (ЛС-1) для определения линейной скорости распространения пламени ЛВЖ [6]. (рис.1)

Установка состоит из нескольких модулей: резервуар с охлаждающей жидкостью для отвода тепла; желоб для исследуемой жидкости; планка с датчиками пламени; плата с контроллером и дисплеем; откидная крышка.

Основной частью установки является желоб (рис. 1, 2), сделанный из алюминиевого профиля размером 25x30x1300 мм, который наполняется исследуемой жидкостью объемом 250 см<sup>3</sup>. Для охлаждения и поддержания температуры испытуемых растворов, применяется резервуар (рис. 1, 1), наполненный холодной проточной водой. Для ликвидации горения используется откидная крышка (рис. 1, 5), ограничивающая доступ кислорода в зону пламенного горения над поверхностью жидкости.

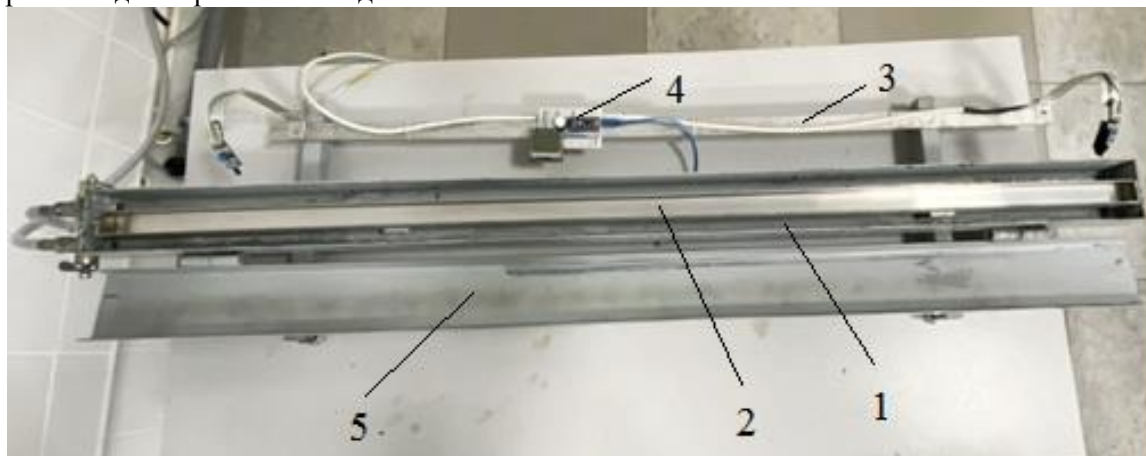


Рис. 1. Лабораторный стенд для определения линейной скорости распространения пламени ЛВЖ (пояснения по тексту)

Контроль времени прохождения пламени, заданного расстояния (1050 мм), обеспечивает комплект датчиков КУ-026. Управление сенсорами осуществлялось посредством микроконтроллера на базе Arduino. Индикация времени прохождения и результат расчета скорости движения фронта пламени отображаются на экране (рис 1, 4). Система имеет возможность работы в автоматическом режиме, что увеличивает точность проводимых исследований.

В табл.1-3 представлены результаты измерения линейной скорости распространения пламени по поверхности рассматриваемых растворов.

В ходе реализации опытов с водными растворами ацетона было принято решение о нецелесообразности проведения измерений для растворов с концентрацией ниже 70%, поскольку, согласно [7], ниже данного значения концентрации распространение пламени не происходит.

**Таблица 1. Результаты измерений  $V_{л}$  для водных растворов ацетона**

Ацетон		
Концентрация, %	Скорость ( $v_{л}$ ), м/с	Средняя скорость, м/с
100	1,29	1,280±0,006
	1,28	
	1,28	
90	1,26	1,27±0,01
	1,27	
	1,28	
80	1,24	1,250±0,015
	1,25	
	1,27	
70	1,22	1,240±0,015
	1,25	
	1,24	

На основании анализа результатов, представленных в табл.1 можно отметить закономерное уменьшение скорости  $v_{л}$  при снижении содержания ацетона в водных растворах.

В дальнейших экспериментах были использованы следующие жидкости: 1-пропанол и 2-пропанол. В ходе проведения опытов был достигнут предел по концентрации растворов, при котором наблюдается очень низкое значение скорости распространения пламени или его отсутствие. Минимальная концентрация растворов, для которых была определена скорость  $v_{л}$ : для пропанол-1 составила 85%, тогда как для пропанол - 2 – 90%.

**Таблица 2. Результаты измерений  $v_{л}$  для водных растворов 1-пропанола**

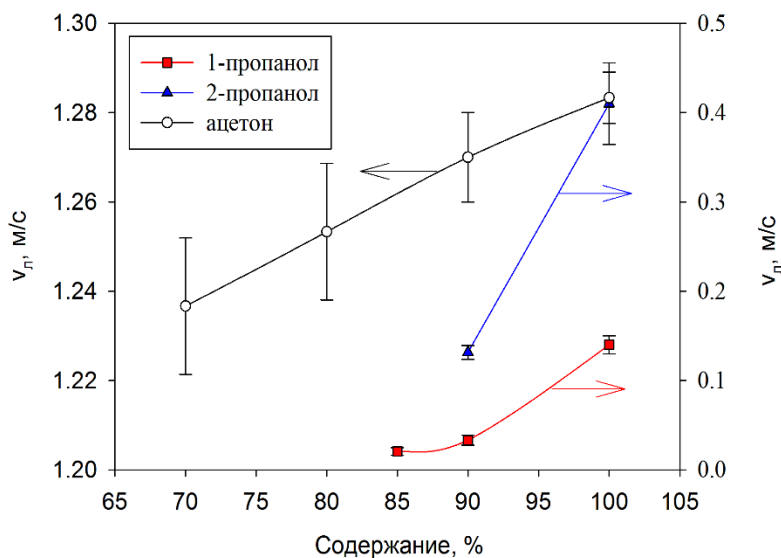
1-пропанол		
Концентрация, %	Скорость ( $v_{л}$ ), м/с	Средняя скорость, м/с
100	0,13	0,14±0,01
	0,14	
	0,15	
90	0,027	0,033±0,006
	0,035	
	0,038	
85	0,016	0,021±0,004
	0,022	
	0,024	

**Таблица 3. Результаты измерений  $v_{л}$  для водных растворов 2-пропанола**

2-пропанол		
Концентрация, %	Скорость	Средняя скорость
100	0,42	0,41±0,05
	0,36	
	0,45	
90	0,128	0,130±0,008
	0,124	
	0,133	

Как и для ацетона, так и для 1-пропанола и 2-пропанола наблюдается снижение линейной скорости распространения пламени по поверхности горючей жидкости при уменьшении концентрации водного раствора (табл. 2-3).

На рис. 2 представлено сопоставление результатов, из которого следует, что зависимости  $v_{л}$  от концентрации растворов, рассматриваемых ЛВЖ, проявляют симбатность. При этом уменьшение концентрации горючего вещества в водном растворе приводит к снижению скорости  $v_{л}$ . Можно отметить, что наблюдаемый результат соответствует общим теоретическим представлениям. Действительно, снижение концентрации ЛВЖ в растворе сопровождается уменьшением давления его паров над раствором, что в конечном счете приводит к падению значения линейной скорости распространения пламени по поверхности горючей жидкости.



*Рис. 2. Сопоставление  $v_{л}$  исследуемых жидкостей*

Поскольку скорость  $v_{л}$  зависит как от природы горючей жидкости, так и от концентрации ее паров над поверхностью жидкой фазы, то представляет интерес сопоставить значение линейной скорости распространения пламени по поверхности рассматриваемых ЛВЖ с такими параметрами как: температура воспламенения паров ( $T_{восп}$ ) и давление насыщенного пара ( $p_n$ ).

На рис. 3 представлено соотношение  $v_{л}$  к  $p_n$ . Значения давления насыщенного пара рассчитаны по уравнению Антуана в соответствии со справочными данными [7,8].

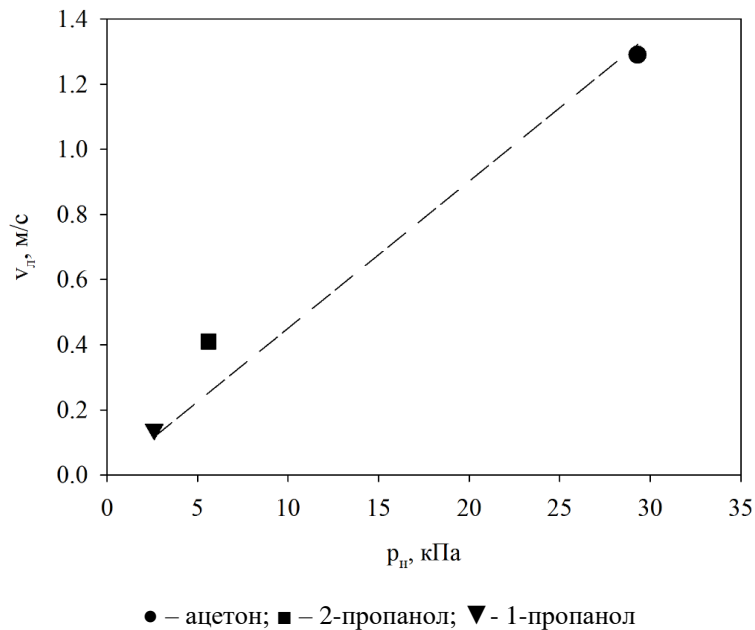


Рис. 3. Сопоставление  $v_{л}$  к  $p_{л}$ , исследуемых жидкостей

На рис. 4 представлена соотношение  $v_{л}$  к  $T_{восп}$ . Значение температур воспламенения, рассматриваемых ЛВЖ, взяты из [7,8].

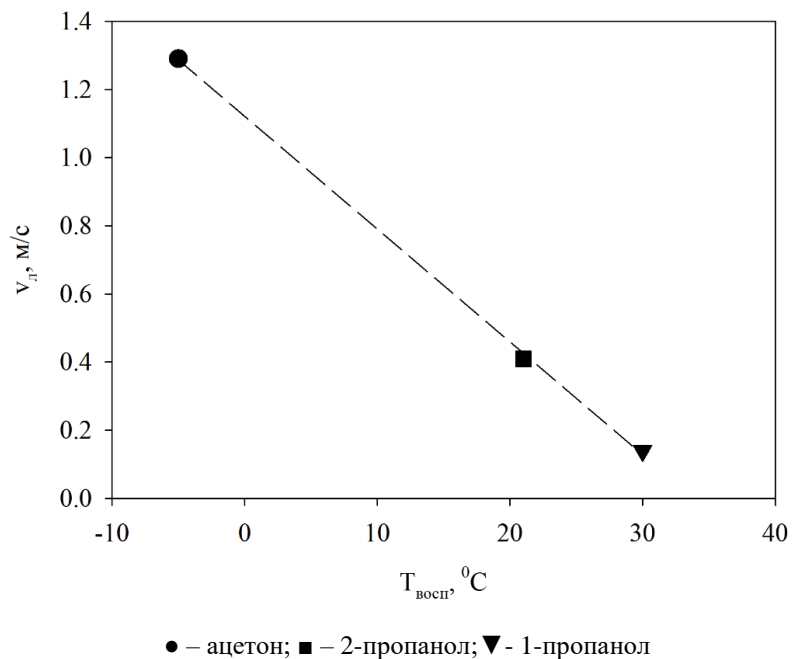


Рис. 4. Сопоставление  $v_{л}$  к  $T_{восп}$ , исследуемых жидкостей

На рис.3 и рис.4 наблюдается хорошая корреляция между величинами  $v_{л}$  и выбранными параметрами. Однако для графика сопоставления  $v_{л}$  к  $T_{восп}$  отмечается наилучшая линейная корреляция ( $r^2=0,999$ ). Исходя из этого, можно сделать вывод, что линейная скорость распространения пламени по поверхности ЛВЖ напрямую коррелирует с температурой воспламенения ее паров.

На основании экспериментального измерения линейной скорости распространения пламени по поверхности исследуемых жидкостей было показано, что значения  $v_{л}$  уменьшаются

в следующем порядке: ацетон, 2-пропанол, 1-пропанол. При этом с уменьшением концентрации растворов значение исследуемой скорости уменьшается независимо от рассматриваемой жидкости. Данный результат соответствует общим теоретическим представлениям.

Кроме этого было показано, что  $v_{л}$  рассматриваемых ЛВЖ напрямую коррелирует с их температурами воспламенения паров.

### Литература

1. Mashev, S. N. An algorithm for determining the state of a non-stationary dynamic system for assessing fire safety control in an enterprise by the method of integrated indicators / S. N. Mashev, A. N. Minkin, D. A. Edimichev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, Russia, 31 июля 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 42014. – DOI 10.1088/1757-899X/919/4/042014.
2. ГОСТ 2768-84 Ацетон технический. Технические условия. – Введ. 01.07.1985. – Москва: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2001. – 15с.
3. ТУ 2632-106-44493179-07 Пропанол химически чистый. Технические условия. – Москва: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2005. – 15с.
4. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия. – Введ. 01.01.1974. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2007. – 12с.
5. Яржомбек П.Г. Стенд для исследования линейной скорости распространения пламени ЛВЖ // Материалы XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 6 апреля – 16 мая 2020. С. 1842-1844.
6. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч.1. – 713с.
7. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч.2. – 774с.