

УДК 614.843

ildar.hafizov@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ БЕНЗИНА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ  
РАЗНОГО ДИАМЕТРА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ****THE STUDY OF GASOLINE COMBUSTION IN THE VERTICAL CHANNELS  
WITH DIFFERENT DIAMETERS AT DIFFERENT TEMPERATURES**

*Хафизов Ф.Ш., доктор технических наук, профессор,  
Каримов Р.Р.,*

*Хафизов И.Ф., доктор технических наук, профессор,  
Султанов Р.М., доктор химических наук, профессор,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет, Уфа*

*Khafizov F.Sh., Karimov R.R., Khafizov I.F., Sultanov R.M.,  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa*

Учитывая высокую опасность при возникновении пожаров на нефтеперерабатывающем производстве необходимо иметь эффективные пожаротехнические средства для их ликвидации. В связи с этим разработка и совершенствование существующих способов борьбы с пожарами нефтепродуктов видится основной задачей в обеспечении пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли промышленности.

Перспективой в решении данной задачи является изучение физико-химических свойств горения горючих жидкостей, а также поиск экономически выгодных, пассивных способов тушения, базирующихся на эффекте затухания пламени.

*Ключевые слова:* вспышка, вертикальный канал, этиловый спирт.

Given the high risk of fires in the oil refining industry, it is necessary to have effective fire-fighting equipment to eliminate them. In this regard, the development and improvement of existing methods of fire control of petroleum products is seen as the main task in ensuring fire safety of oil and gas industry.

The prospect in solving this problem is to study the physical and chemical properties of combustion of flammable liquids, as well as the search for cost-effective, passive methods of extinguishing, based on the effect of flame damping.

*Keywords:* flash, vertical channel, ethyl alcohol.

Бензины – легковоспламеняющиеся бесцветные или слегка желтые (при отсутствии специальных добавок) жидкости [1].

Автомобильный бензин высокого качества. Содержит антидетонационные присадки. Самая распространенная марка бензина в крупных городах РФ и Украины. Бензин производят этилированный с содержанием свинца не более 0,15 г/л и неэтилированный с содержанием свинца не более 0,013 г/л. Содержание серы – не более 0,05 % [2]. Плотность - не более

0,77 г/см<sup>3</sup>-923. Октановое число по моторному методу – 83, а по исследовательскому методу – 92 [3].

Бензин Аи-92 применяется как топливо для карбюраторных и инжекторных двигателей, при производстве парафина, чистке тканей (растворяет жиры), как горючий материал, как растворитель.

Бензины имеют высокую летучесть и температуры вспышки 27 °С, застывания – ниже -60 °С [4].

В таблице 1 представлены результаты исследования горения бензина в

вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 9 мм.

Таблица 1  
Результаты исследования горения бензина в вертикальном канале  
диаметром 17 мм с сужением 9 мм

Уровень жидкости $H_{ж}$ , см	Высота пламени, см			
	25 °С	35 °С	45 °С	55 °С
0	1,5	1,9	2,2	2,5
1	1,2	1,5	1,8	2,2
2	0,9	1	1,2	1,8
3	0	0	0	0

На рисунке 1 представлена графическая зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением в канале 9 мм, при разных начальных температурах.

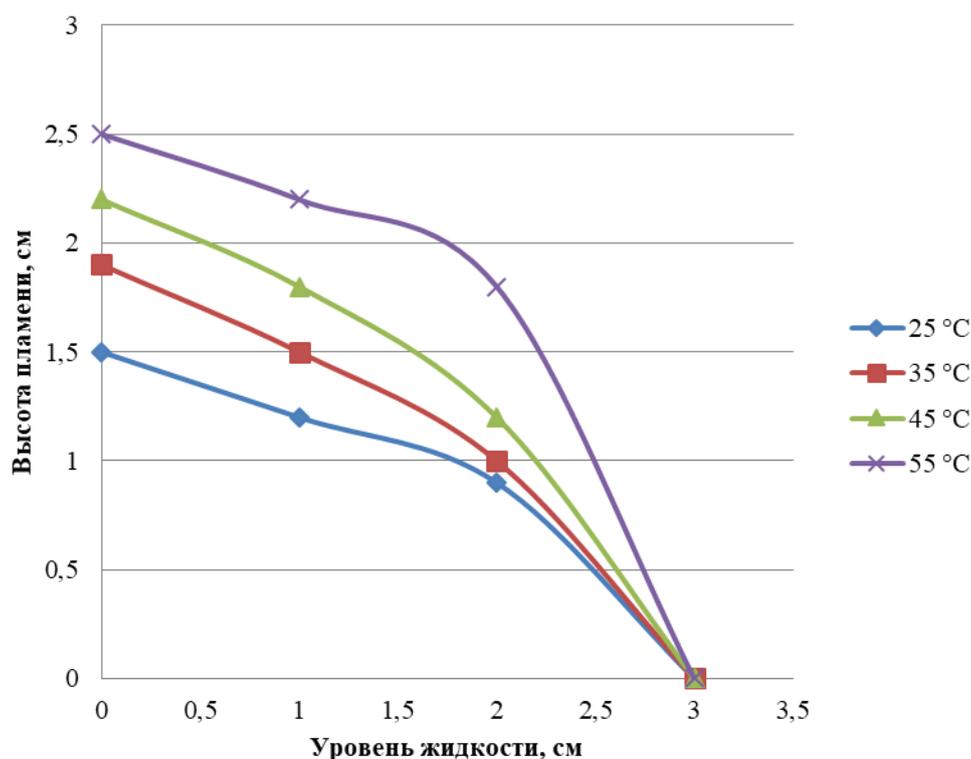


Рисунок 1. Зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением 9 мм

Для отбора значений, необходимых для обработки результатов ме-

тодом регрессии был применен метод Монте-Карло (рисунок 2).

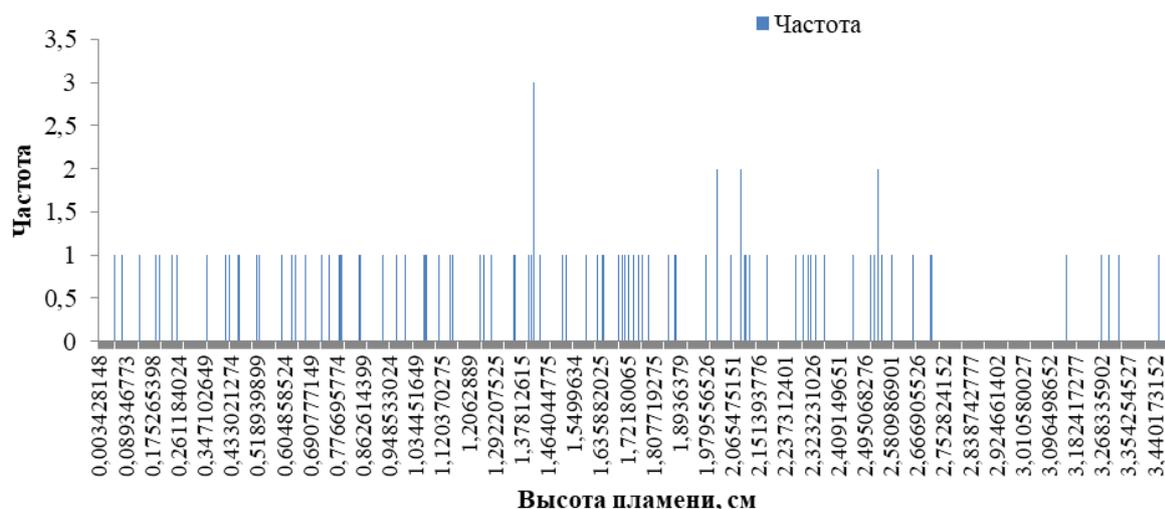


Рисунок 2. Применение метода Монте-Карло

С помощью метода Монте-Карло получены необходимые значения для проведения регрессии, в результате которой определен вид зависимости.

Для полученных данных система уравнений имеет вид:

$$4a + 6b = 2,293;$$

$$6a + 14b = 1,964.$$

Из первого уравнения:

$$5b = -1,475;$$

$$b = -0,295.$$

Из второго уравнения:

$$4a = 4,062;$$

$$a = 1,0156.$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:  $b = -0,295$ ,  $a = 1,0156$ . Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = e^{1,0155651} e^{-0,295x} = 2,76092e^{-0,295x}.$$

В таблице 2 представлены результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 7 мм.

Таблица 2  
Результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 7 мм

Уровень жидкости $H_{ж}$ , см	Высота пламени, см			
	25 °C	35 °C	45 °C	55 °C
0	1,5	2	2,2	2,5
1	1,3	1,8	1,7	1,9
2	0,9	1,3	1,4	1,4
3	0	0	0	0

На рисунке 3 представлена графическая зависимость высоты пламени от уровня жидкости при бензина в верти-

кальном канале диаметром 17 мм с местным сужением в канале 7 мм, при разных начальных температурах.

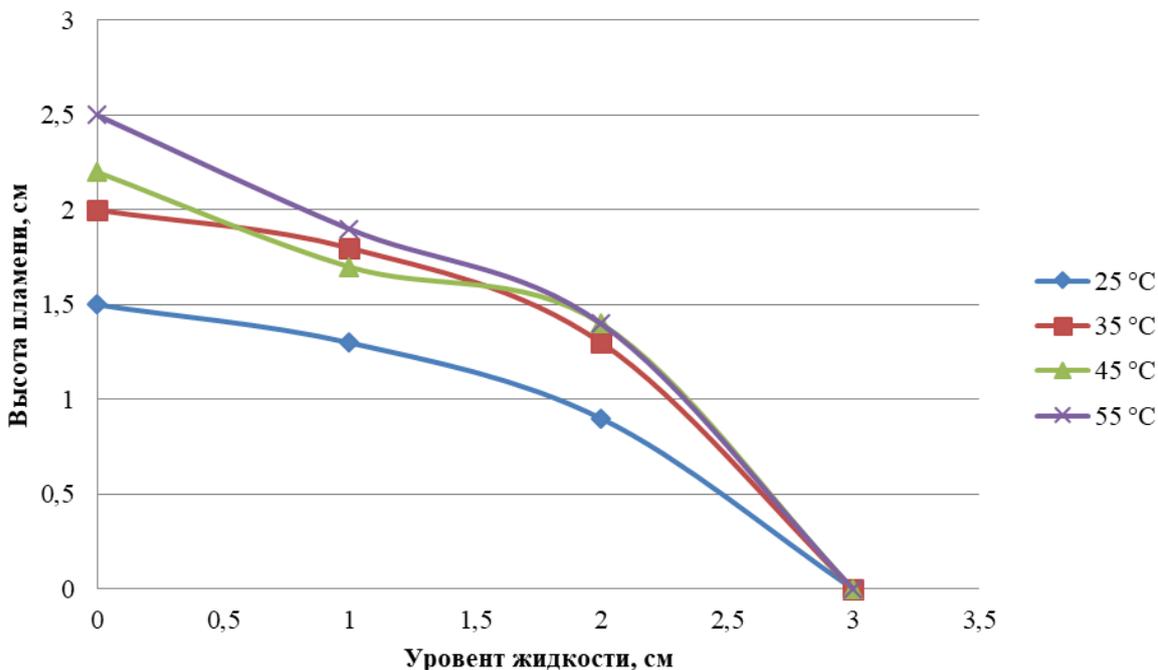


Рисунок 3. Зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением 7 мм

Для отбора значений, необходимых для обработки результатов ме-

тодом регрессии был применен метод Монте-Карло (рисунок 4).

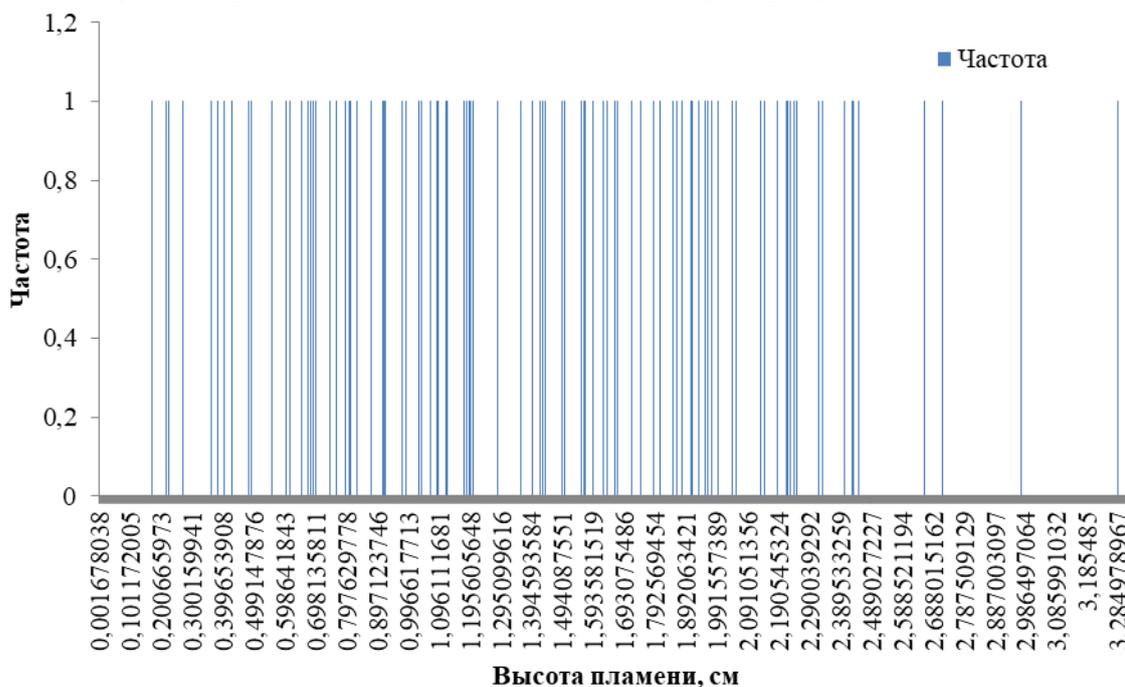


Рисунок 4. Применение метода Монте-Карло

С помощью метода Монте-Карло получены необходимые значения для проведения регрессии, в результате которой определен вид зависимости.

Для полученных данных система уравнений имеет вид:

$$4a + 6b = 1,895;$$

$$6a + 14b = 1,315.$$

Из первого уравнения:

$$5b = -1,527;$$

$$b = -0,3054.$$

Из второго уравнения:

$$4a = 3,727;$$

$$a = 0,9318.$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:  $b = -0,3054$ ,  $a = 0,9318$ .

Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = e^{0,93179228} e^{-0,3054x} = 2,53906 e^{-0,3054x}.$$

В таблице 3 представлены результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 11 мм.

Таблица 3  
Результаты исследования горения АИ-92 в вертикальном канале  
диаметром 17 мм с сужением 11 мм

Уровень жидкости $H_{ж}$ , см	Высота пламени, см			
	25 °С	35 °С	45 °С	55 °С
0	3,0	4,0	4,0	3,0
1	3,2	3,2	3,0	3,0
2	3,5	3,0	2,3	2,5
3	4,5	3,0	2,0	3,0
4	5,5	4,5	4,5	4,0
5	0	5,5	0	0
6	0	0	0	0

На рисунке 5 представлена графическая зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в

вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением в канале 11 мм, при разных начальных температурах.

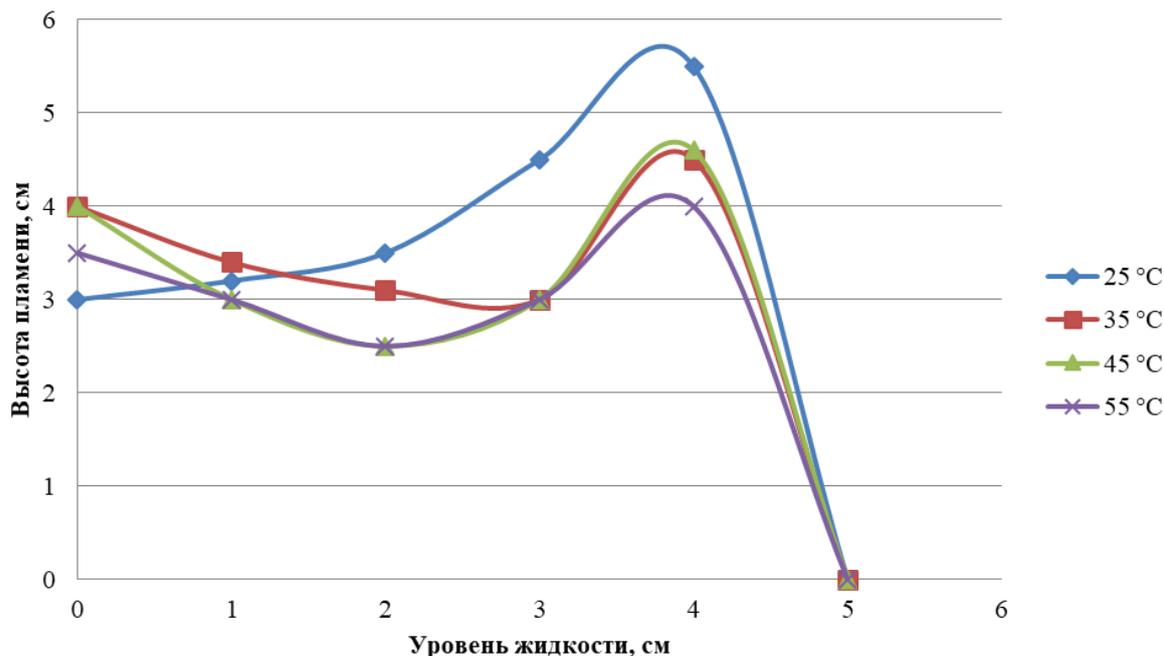


Рисунок 5. Зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением 11 мм

Для отбора значений, необходимых для обработки результатов ме-

тодом регрессии, был применен метод Монте-Карло (рисунок 6).

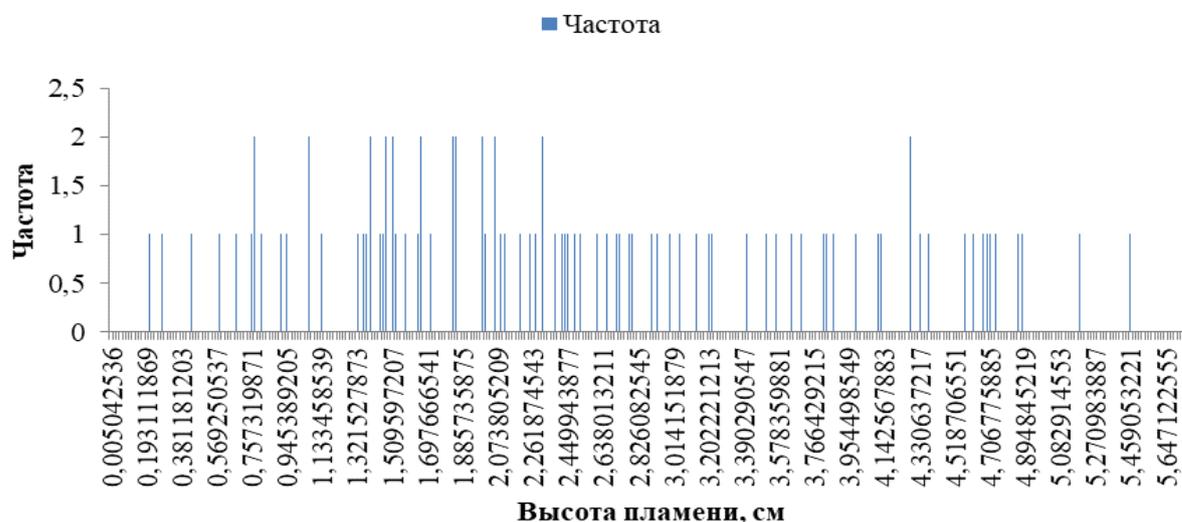


Рисунок 6. Применение метода Монте-Карло

С помощью метода Монте-Карло получены необходимые значения для проведения регрессии, в результате которой определен вид зависимости.

Для полученных данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} 7a + 21b &= 5,598; \\ 21a + 91b &= 11,772. \end{aligned}$$

Из первого уравнения:

$$28b = -5,023;$$

$$b = -0,1794.$$

Из второго уравнения:

$$7a = 9,366;$$

$$a = 1,338.$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:  $b = -0,1794$ ,  $a = 1,338$

Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = e^{1,33795932} e^{-0,1794x} = 3,81126e^{-0,1794x}.$$

В таблице 4 представлены результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 13 мм.

Таблица 4  
Результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 13 мм

Уровень жидкости $H_{ж}$ , см	Высота пламени, см			
	25 °С	35 °С	45 °С	55 °С
0	4,0	4,4	4,6	5
1	3,0	3,5	3,7	3,6
2	5,0	3,0	3,0	2,5
3	3,5	3,3	3,4	3,5
4	0	0	0	0

На рисунке 7 представлена графическая зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в

вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением в канале 13 мм, при разных начальных температурах.

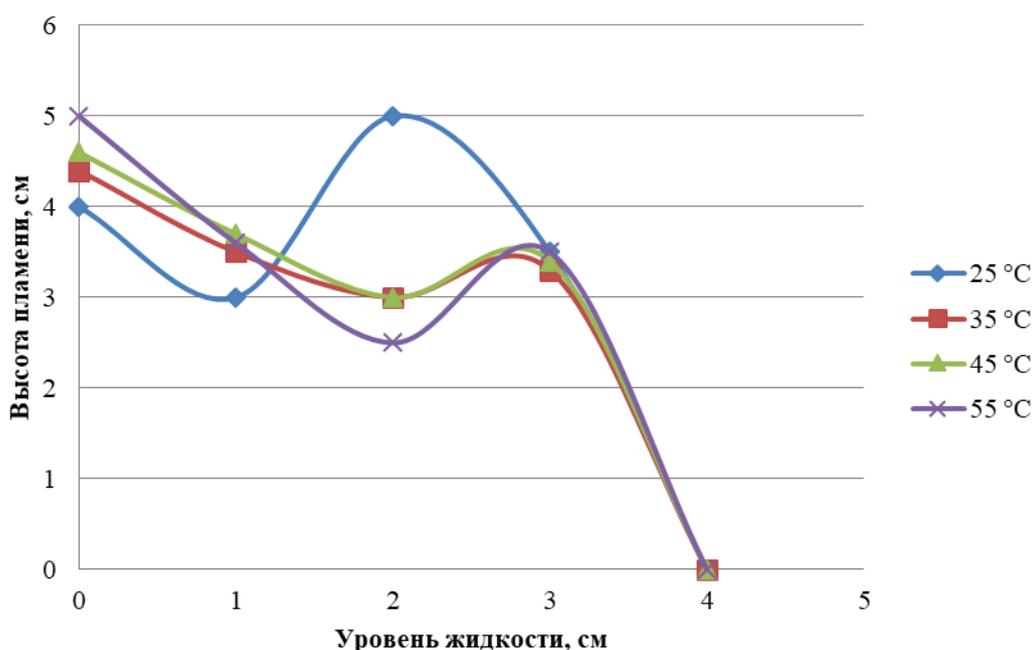


Рисунок 7. Зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением 13 мм

Для отбора значений, необходимых для обработки результатов ме-

тодом регрессии, был применен метод Монте-Карло (рисунок 8).

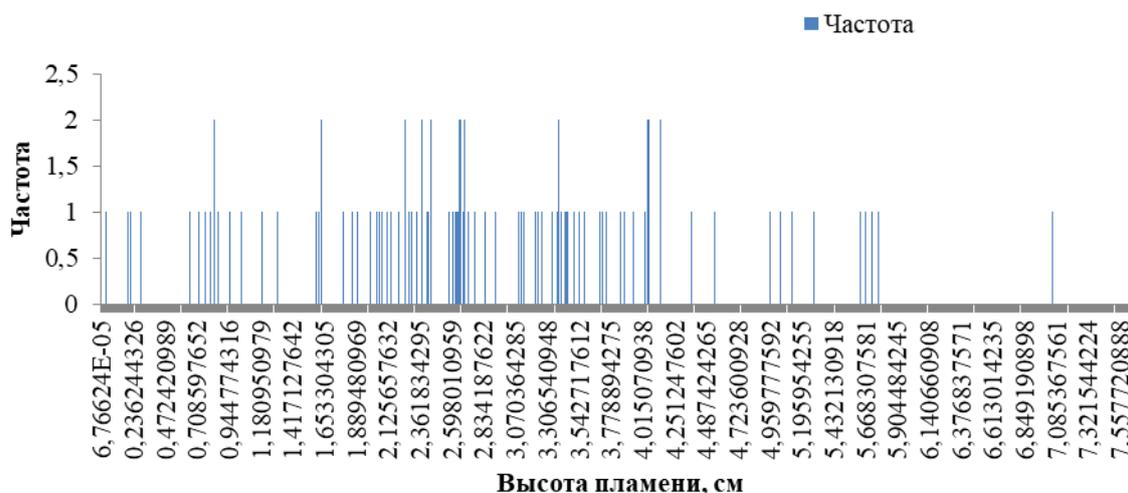


Рисунок 8. Применение метода Монте-Карло

С помощью метода Монте-Карло получены необходимые значения для проведения регрессии, в результате которой определен вид зависимости.

Для полученных данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} 5a + 10b &= 5,059; \\ 10a + 30b &= 6,872. \end{aligned}$$

Из первого уравнения:

$$10b = -3,247;$$

$$b = -0,3247.$$

Из второго уравнения:

$$\begin{aligned} 5a &= 8,306; \\ a &= 1,6613. \end{aligned}$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:  $b = -0,3247$ ,  $a = 1,6613$ . Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = e^{1,66129441} e^{-0,3247x} = 5,26612e^{-0,3247x}.$$

Таблица 5  
Результаты исследования горения бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с сужением 15 мм

Уровень жидкости Нж, см	Высота пламени, см			
	25 °С	35 °С	45 °С	55 °С
0	4,0	4,0	4,5	4,0
1	3,0	3,5	3,5	3,2
2	2,5	2,5	3	2,5
3	3,5	3,5	3,5	3,5
4	4,0	4,2	4,5	2,5
5	0	0	0	0

На рисунке 9 представлена графическая зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина

в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением в канале 15 мм, при разных начальных температурах.

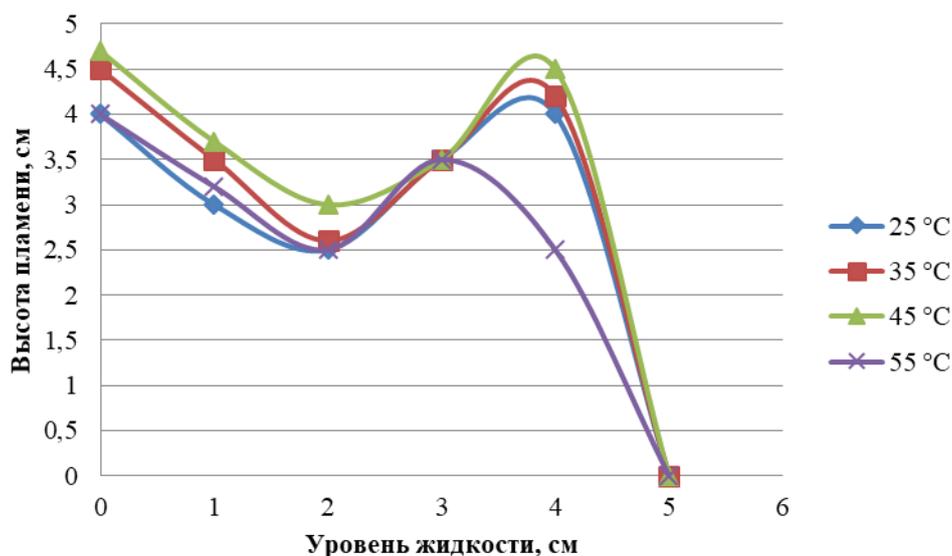


Рисунок 9. Зависимость высоты пламени от уровня жидкости при горении бензина в вертикальном канале диаметром 17 мм с местным сужением 15 мм

Для отбора значений, необходимых для обработки результатов ме-

тодом регрессии был применен метод Монте-Карло (рисунок 10).

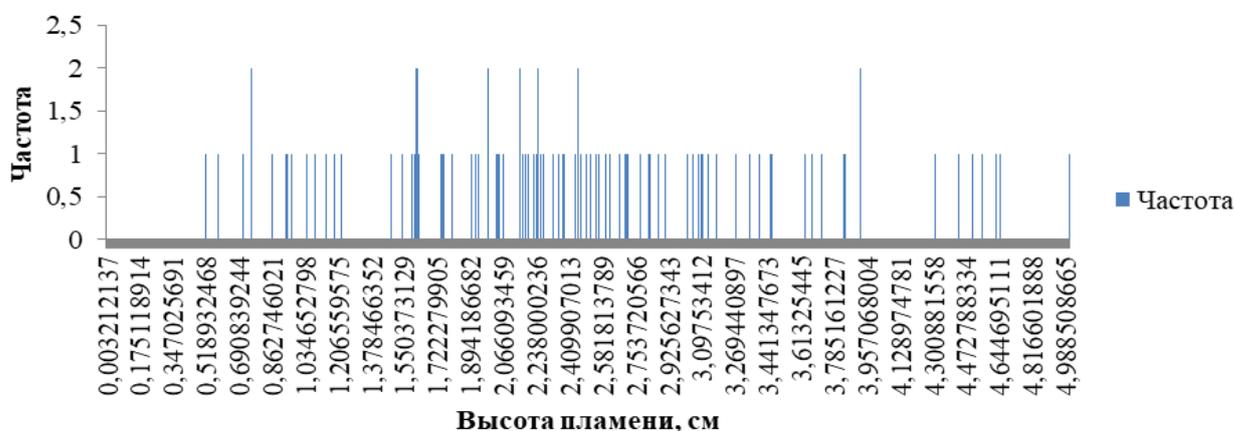


Рисунок 10. Применение метода Монте-Карло

С помощью метода Монте-Карло получены необходимые значения для проведения регрессии, в результате которой определен вид зависимости.

Для полученных данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} 6a + 15b &= 5,635; \\ 15a + 55b &= 10,419. \end{aligned}$$

Из первого уравнения:

$$\begin{aligned} 17,5b &= -3,668; \\ b &= -0,2096. \end{aligned}$$

Из второго уравнения:

$$\begin{aligned} 6a &= 8,779; \\ a &= 1,4631. \end{aligned}$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:  $b = -0,2096$ ,  $a = 1,4631$ .

Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = e^{1,46310157} e^{-0,2096x} = 4,31934e^{-0,2096x}.$$

#### Литература

1. Каримов Р.Р. О тушении горючей жидкости без участия человека и применения огнетушащих веществ / Ф.Ш. Хафизов, Е.А. Смирнова, И.Ф. Хафизов // Технологии техносферной безопасности. М., 2016 № 3 (67).
2. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1979, 386 с.
3. ГОСТ 12.1.044-89\*. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. Иванов Е.Н. Пожарная защита открытых технологических установок. Химия. М., 1975. 210 с.

#### References

1. Karimov R.R. O tushenii goryuchey zhidkosti bez uchastiya cheloveka i primeneniya oagnetushashchikh veshchestv / F.Sh. Khafizov. E.A. Smirnova. I.F. Khafizov // Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. M., 2016 № 3 (67).
2. Baratov A.N., Ivanov E.N. Pozharotusheniye na predpriyatiyakh khimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti. M.: Khimiya. 1979. 386 s.
3. GOST 12.1.044-89\*. Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya.
4. Ivanov E.N. Pozharnaya zashchita otkrytykh tekhnologicheskikh ustanovok. Khimiya. M., 1975. 210 s.