

УДК 614.841

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ ДИЭЛЕКТРИКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ  
НА ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

**ELECTRICAL SOLUTION OF THE DIELECTRIC  
AND ITS INFLUENCE ON FLAME EMISSION  
WITH ELECTROMAGNETIC FIELD**

**Пермяков А.В., Султанов Р.М., Хафизов Ф.Ш., Хафизов И.Ф.,  
Сакеян Л.А.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**A.V. Permyakov, R.M. Sultanov, F.Sh. Khafizov, I.F. Khafizov,  
L.A. Sakeyan**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation**

**e-mail: senya2512@yandex.ru**

**Аннотация.** Проведены исследования о влиянии электрического пробоя диэлектрика на тушение пламени электрическим полем высокого напряжения. В ходе исследований при возникновении электрического пробоя воздуха эффективность тушения снижалась до нуля. Данный эффект происходит за счет падения электрической напряженности между электродами. Электрический пробой в диэлектриках при тушении пламени обусловлен нахождением некоторого количества ионов и электронов, которые под действием электрического поля перемещаются к аноду. Установлено, что наибольшее влияние на исход экспериментальных исследований по тушению пожара электромагнитным полем оказывает электрическая прочность материала. Поэтому, увеличивая значения

электрической прочности материала (диэлектрика), можно исключить вероятность возникновения электрического пробоя.

Если в качестве диэлектриков на электродах использовать стекло и электротехнический фарфор, то границы исследования процесса тушения пламени электрическим полем высокой напряженности расширяются. Исследования показали, что электрический пробой отрицательно влияет на тушение пламени электрическим полем высокой напряженности. На вероятность возникновения электрического пробоя влияют такие параметры, как: расстояние между электродами (при уменьшении расстояния вероятность пробоя возрастает), атмосферное давление, влажность воздуха (при снижении влажности воздуха вероятность возникновения электрического пробоя снижается), электрическая прочность материала (при увеличении прочности материала вероятность пробоя снижается) и напряжение на электродах (при увеличении напряжения увеличивается вероятность пробоя).

В ходе проведения исследований установлено, что увеличение электрической прочности электродов позволит проводить исследования с напряжением до 20000 кВ без возникновения электрического пробоя.

**Abstract.** Studies have been carried out on the effect of an electric breakdown of a dielectric on flame suppression by an electric field of high voltage. In the course of research in the event of electric breakdown of air, the quenching efficiency was reduced to zero. This effect occurs due to the drop in electrical tension between the electrodes. The electrical breakdown in dielectrics when extinguishing a flame is due to the presence of a certain number of ions and electrons, which under the action of the electric field move to the anode. It is established that the electrical strength of the material exerts the greatest influence on the outcome of experimental studies on extinguishing a fire by an electromagnetic field. Therefore, increasing the values of the electrical strength of the material (dielectric), it is possible to exclude the possibility of electrical breakdown.

If glass and electrotechnical porcelain are used as dielectrics on electrodes, the boundaries of the investigation flame process by an electric field of high tension will expand. Studies have shown that an electric breakdown has a negative effect on flame suppression by an electric field of high tension. The probability of electrical breakdown is influenced by such parameters as: the distance between the electrodes (the probability of breakdown increases with decreasing distance), atmospheric pressure, air humidity (the probability of electric breakdown decreases with decreasing air humidity), the strength of the material (with an increase in the strength of the material, the probability of breakdown decreases ) and voltage at the electrodes (with increasing voltage, the probability of breakdown increases).

In the course of the research it was established that an increase in the electrical strength of the electrodes will allow to conduct studies with a voltage of up to 20,000 kV without the occurrence of electrical breakdown.

**Ключевые слова:** электрический пробой, диэлектрик, пламя, пожар, способ тушения пожара, электромагнитное поле

**Key words:** electrical breakdown, dielectric, flame, fire, fire extinguishing method, electromagnetic field

В ходе изучения влияния электрического поля на тушение пламени установлен факт электрического пробоя воздуха между двумя электродами [1, 2].

Во время электрического пробоя эффект тушения пламени полностью отсутствует. Это объясняется тем, что при возникновении электрического пробоя напряженность поля, распределенная по всему объему межэлектродного пространства, сосредотачивается в одной области, при этом электрический разряд – в остальной области межэлектродного пространства, напряженность снижается до величины, недостаточной для тушения пламени (рисунок 1).

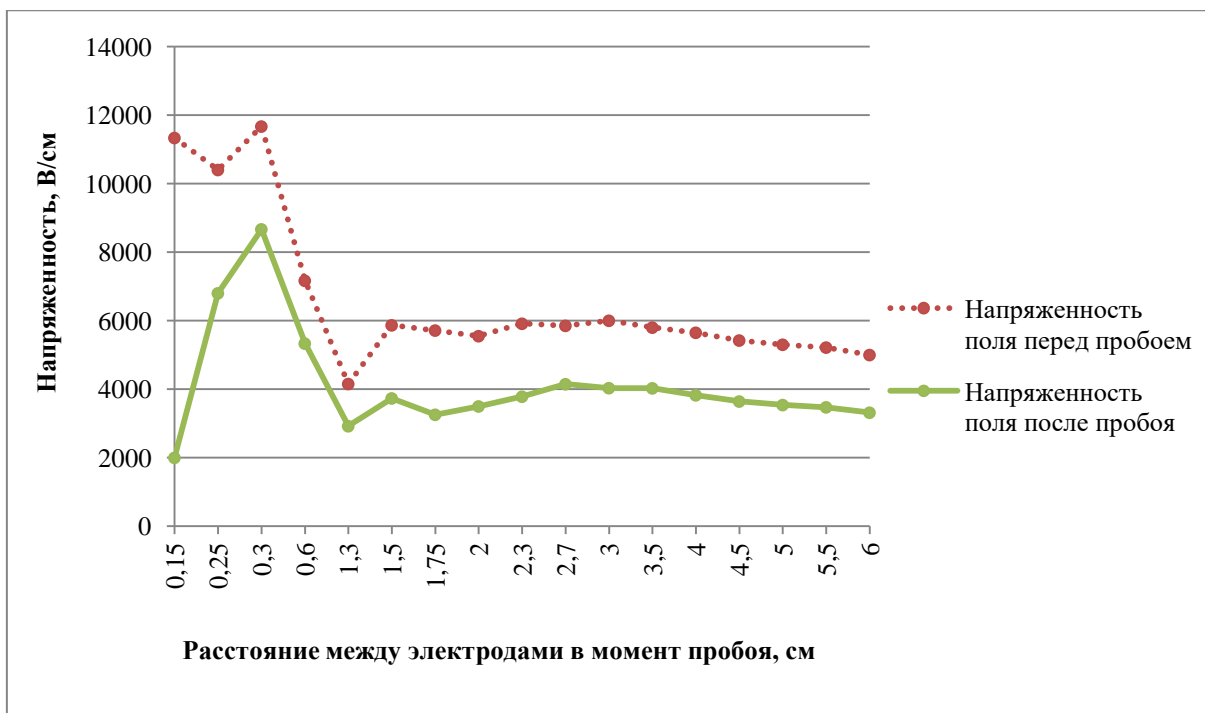


Рисунок 1. График зависимостей напряженностей электрического поля от расстояния между электродами

В соответствии с таблицей 1 среднее значение падения напряженности во время пробоя составляет 38,4 % от первоначального, а среднее значение разницы напряженностей во время тушения и перед пробоем составляет 22 %.

В среднем разница между напряженностями пробоя и тушения составила 1500-1700 В/см. Электрический пробой возникал при напряженности электрического поля свыше 10 кВ/см (напряжение в 10 кВ между электродами на расстоянии 1 см друг от друга).

Поскольку полученные данные свидетельствуют о возникновении электрического пробоя при величине напряжения в 10 кВ, необходимо проанализировать влияние:

- факторов окружающей среды;
- параметров проведения экспериментов.

Таблица 1. Зависимость напряжений пробоя от межэлектродного расстояния

Напряжение пробоя, кВ	Напряжение после пробоя, кВ	Расстояние между электродами, см
1,7	0,3	0,15
2,6	1,7	0,25
3,5	2,6	0,3
4,3	3,2	0,6
5,4	3,8	1,3
8,8	5,6	1,5
10,0	5,7	1,75
11,1	7,0	2,0
13,6	8,7	2,3
15,8	11,2	2,7
18,0	12,1	3,0
20,3	14,1	3,5
22,6	15,3	4,0
24,4	16,4	4,5
26,5	17,7	5,0
28,7	19,1	5,5
30,0	19,9	6,0

Основным внешним фактором окружающей среды, который влияет на величину электрического пробоя, является влажность воздуха. По справочным данным электрическая прочность для влажного воздуха составляет 1 кВ/см, а электрическая прочность сухого – 20 кВ/см. При проведении экспериментов влажность воздуха составила 50 %, что соответствует электрической прочности воздуха ~10 кВ/см.

На рисунке 2 приведена зависимость напряжения пробоя от влажности воздуха. Из графика (рисунок 2) видно, что величина напряжения пробоя имеет обратную зависимость от влажности окружающего воздуха. Следовательно, если снижать влажность воздуха, то минимальное напряжение, при котором возможен пробой, увеличится. Экспериментальные лабораторные исследования для изучения электрического пробоя проводятся с целью проведения дальнейших испытаний в полевых условиях. Так как изменение влажности

окружающего воздуха в полевых условиях является трудоемким и неоптимальным, следует рассмотреть влияние параметров проведения экспериментов на величину напряжения пробоя.

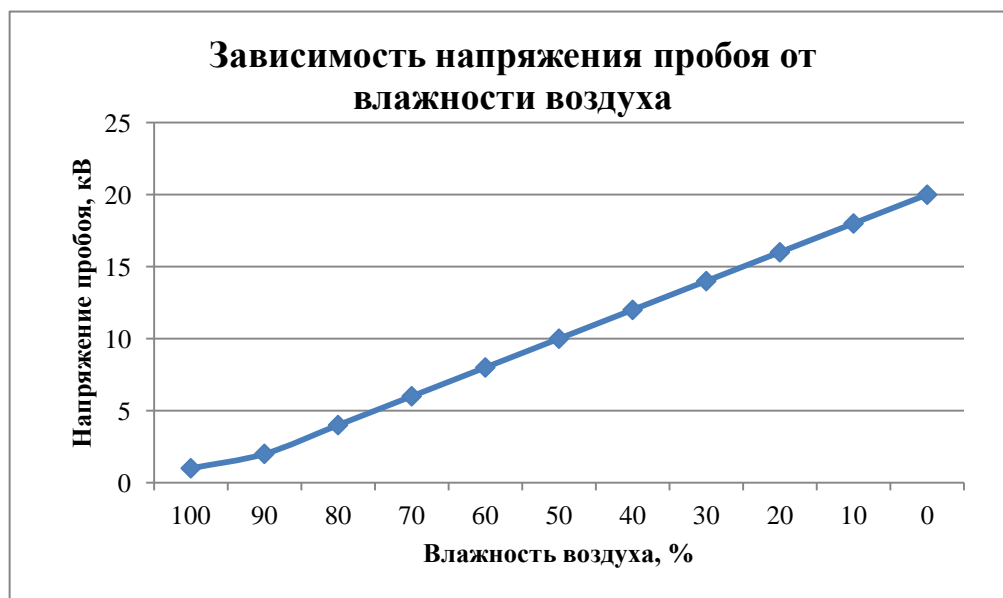


Рисунок 2. Зависимость напряжения пробоя от влажности воздуха

На величину электрического пробоя влияют следующие факторы:

- расстояние между электродами;
- давление [3] (рисунок 3);
- электрическая прочность материала (воздух) [4];
- напряжение на электродах [5].

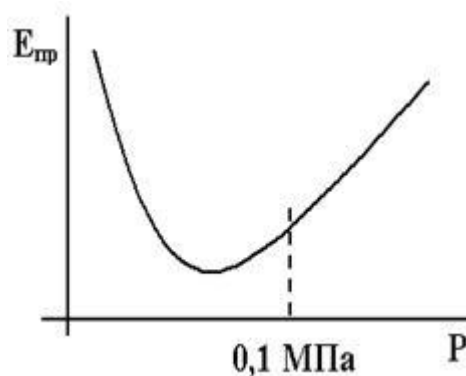


Рисунок 3. Зависимость электрической прочности газа от давления

Исходя из вышеприведенных факторов, для того, чтобы снизить вероятность электрического пробоя, необходимо изменить значения:

- увеличить расстояние между электродами;
- увеличить атмосферное давление;
- увеличить электрическую прочность материала;
- понизить напряжение на электродах.

Из всех приведенных факторов наибольшее влияние на исход экспериментальных исследований по тушению пожара электромагнитным полем оказывает электрическая прочность материала. Поэтому, увеличивая значения электрической прочности материала (диэлектрика), можно исключить вероятность возникновения электрического пробоя.

Электрическая прочность диэлектрика между электродами в среднем составляет 6589 В/см (для влажного воздуха) [2].

В качестве диэлектрика для электродов предлагается использовать стеклянное покрытие, электрическая прочность которого равна 250000 В/см, а также электротехнический фарфор с электрической прочностью 200000 В/см [6, 7], что позволит увеличить границу напряжения пробоя для стеклянного диэлектрика в 125 раз (в отношении сухого воздуха) (рисунок 4), а для электротехнического фарфора – в 100 раз (рисунок 5).

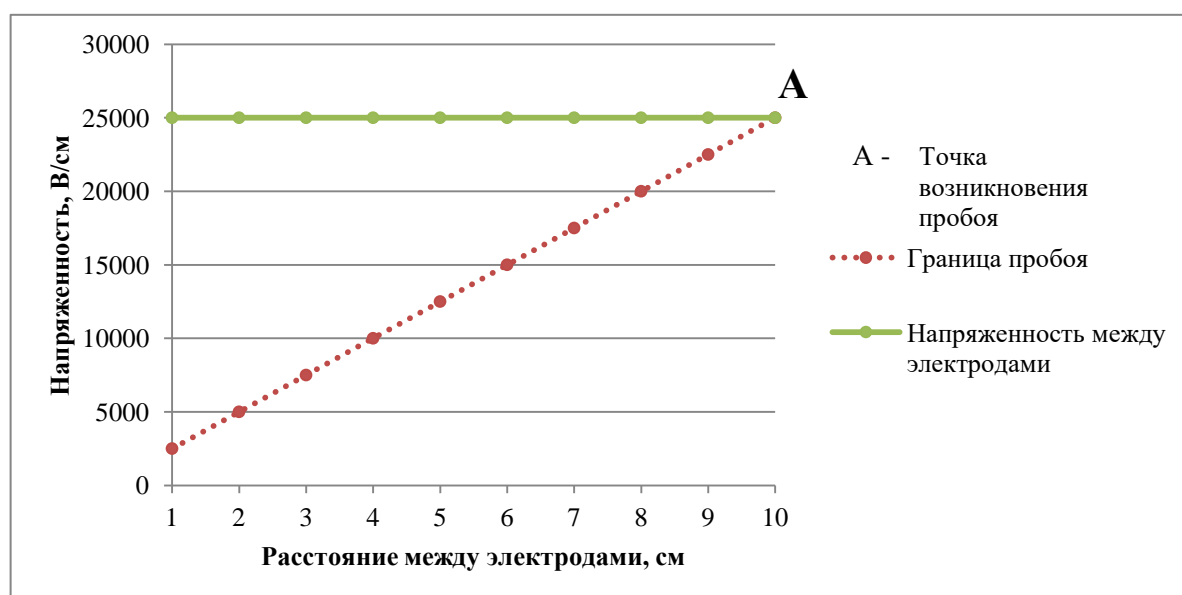


Рисунок 4. График зависимости напряженности электрического поля от расстояния между электродами при использовании стеклянного покрытия

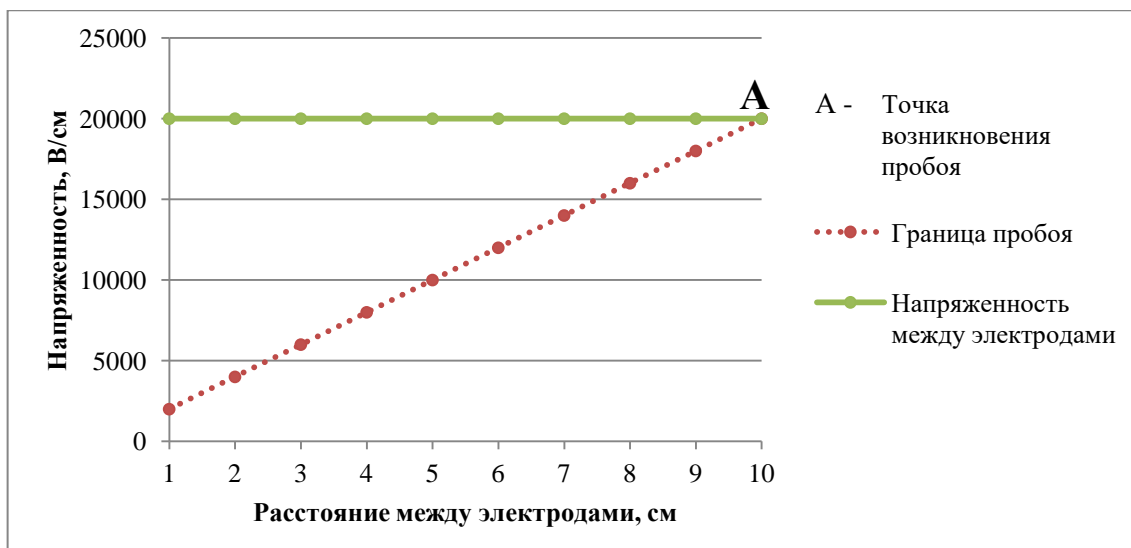


Рисунок 5. График зависимости напряженности электрического поля от расстояния между электродами при использовании электротехнического фарфора в качестве покрытия

На рисунке 6 представлен график зависимости напряженности электрического поля без использования покрытий диэлектриков, повышающих электрическую прочность.

Если в качестве диэлектриков на электродах использовать стекло и электротехнический фарфор, то безопасное напряжение, при котором невозможен электрический пробой, увеличится до 20000 кВ. Одновременно появится возможность для новых исследований электромагнитного способа тушения крупномасштабных пожаров.

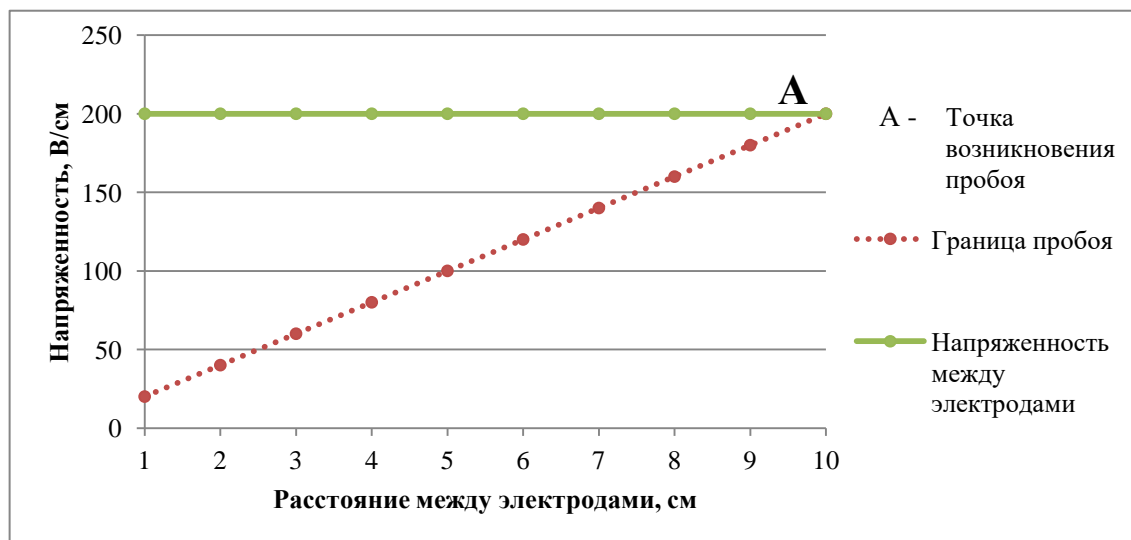


Рисунок 6. График зависимости напряженности электрического поля от расстояния между электродами без диэлектрического покрытия



## **Выводы**

Исследования показали, что электрический пробой отрицательно влияет на тушение пламени электромагнитным полем высокой напряженности.

На вероятность возникновения электрического пробоя влияют:

- расстояние между электродами;
- давление;
- электрическая прочность материала;
- напряжение на электродах.

Установлено, что увеличение электрической прочности электродов позволит проводить исследования с напряжением до 20000 кВ без возникновения электрического пробоя.

## **Список используемых источников**

1. Хафизов Ф.Ш., Хафизов И.Ф., Пермяков А.В., Краснов А.В. Исследование влияния электромагнитного поля высокой напряженности на пламя // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 105-110.

2. Хафизов Ф.Ш., Хафизов И.Ф., Пермяков А.В., Айткалеева Б.У. Ионный ветер как возможный способ тушения пожаров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 111-116.

3. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, 1985. С. 75-78.

4. Журавлева Л.В. Электроматериаловедение. М.: Академия, 2006. С. 37-39.

5. Алиев И.И. Электротехнические материалы и изделия. М.: ИП «Радио Софт», 2007. С. 124-125.

6. Солимар Л., Уолш Д. Электрические свойства материалов. М.: Мир, 1991. С. 64-67.

7. Малиновский А.Э. Роль заряженных частиц в процессах горения и взрыва. М: Наука, 1956. С. 88-90.

## References

1. Khafizov F.Sh., Khafizov I.F., Permyakov A.V., Krasnov A.V. Issledovanie vliyaniya elektromagnitnogo polya vysokoi napryazhennosti na plamya [Study of the Impact of High-Intensity Electromagnetic Field on Flame]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 105-110. [in Russian].

2. Khafizov F.Sh., Khafizov I.F., Permyakov A.V., Aitkaleeva B.U. Ionnyi veter kak vozmozhnyi sposob tusheniya pozharov [Ionic Wind as a Possible Way of Fire Fighting]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 111-116. [in Russian].

3. Bogoroditskii N.P. *Elektrotekhnicheskie materialy* [Electrotechnical Materials]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1985, pp. 75-78. [in Russian].

4. Zhuravleva L.V. *Elektromaterialovedenie* [Electrical Materials Science]. Moscow, Akademiya Publ., 2006, pp. 37-39. [in Russian].

5. Aliev I.I. *Elektrotekhnicheskie materialy i izdeliya* [Electrotechnical Materials and Products]. Moscow, Radio Soft Publ., 2007, pp. 124-125. [in Russian].

6. Solimar L., Uolsh D. *Elektricheskie svoistva materialov* [Electrical Properties of Materials]. Moscow, Mir Publ., 1991, pp. 64-67. [in Russian].

7. Malinovskii A.E. *Rol' zaryazhennykh chastits v protsessakh goreniya i vzryva* [The Role of Charged Particles in Combustion and Explosion Processes]. Moscow, Nauka Publ., 1956, pp. 88-90. [in Russian].

## Сведения об авторах

### About the authors

Пермяков А.В., аспирант, преподаватель кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

A.V. Permyakov, Post-graduate Student, Lecturer of Fire and Industrial Safety Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: senya2512@yandex.ru

Султанов Р.М., д-р хим. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

R.M. Sultanov, Doctor of Chemical Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: pkpb@mail.ru

Хафизов Ф.Ш., д-р техн. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

F.Sh. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: pkpb@mail.ru

Хафизов И.Ф., д-р техн. наук, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I.F. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: pkpb@mail.ru

Сакеян Л.А., магистрант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

L.A. Sakeyan, Undergraduate Student of Fire and Industrial Safety Department FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: pkrb@mail.ru