

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 536.46

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-207-214

Оригинальная статья /Original Paper

**Исследование процессов горения жидкого топлива в электростатическом поле**

**Р.В. Муканов, Ю.А. Аляутдинова, С.П. Стрелков**

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,  
414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 18, Россия

**Резюме. Цель.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований по воздействию высокопотенциального электростатического поля на горение жидкого топлива. **Метод.** Экспериментальные исследования проводились на разработанной лабораторной установке, позволяющей обеспечить горение жидкого топлива в высокопотенциальном электростатическом поле с возможностью изменения полярности. Смена полярности подаваемого напряжения на электродную систему экспериментальной установки приводила к повышению скорости горения топлива в первом случае, и к его затуханию, во втором. **Результат.** Проведены исследования, доказывающие влияние электростатического поля на скорость горения и снижения содержания вредных компонентов, (сажи и монооксида углерода) в продувках сгорания топлива. На основании полученных значений скорости горения топлива от подаваемого напряжения были построены графические зависимости, на которых выделены области линейного и нелинейного изменения параметров горения. **Вывод.** Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания новых высокоэффективных горелочных устройств для котельных установок, работающих на жидком топливе. Эффект снижения скорости горения может быть использован для создания устройств противопожарной безопасности, блокирующих распространение пламени во время пожара.

**Ключевые слова:** котельные установки, дизельное топливо, высокопотенциальное электростатическое поле, электродная система, высоковольтный блок питания

**Для цитирования:** Р.В. Муканов, Ю.А. Аляутдинова, С.П. Стрелков. Исследование процессов горения жидкого топлива в электростатическом поле. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):207-214. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-207-214

**Investigation of liquid fuel combustion processes in an electrostatic field**

**R.V. Mukanov, Yu.A. Alyautdinova, S.P. Strelkov**

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,  
18 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia

**Abstract. Objective.** The article presents the results of experimental studies on the effect of a high-potential electrostatic field on the combustion of liquid fuel. **Method.** Experimental studies were carried out on the developed laboratory installation, which makes it possible to ensure the combustion of liquid fuel in a high-potential electrostatic field with the possibility of changing the polarity. The change in the polarity of the applied voltage to the electrode system of the experimental setup led to an increase in the fuel burning rate in the first case, and to its attenuation in the second. **Result.** In this paper, studies have been carried out proving the effect of an electrostatic field on the burning rate and reducing the content of harmful components (soot and carbon monoxide) in fuel combustion purges. Based on the values of the fuel burning rate obtained as a result of the experiments, graphic dependences were constructed on the applied voltage, on which the areas of linear and non-linear changes in the combustion parameters were identified. **Conclusion.** The results of the research carried out can be used to create new highly efficient burners for liquid fuel boilers. The effect of reducing the burning rate can be used to

create fire safety devices that block the spread of flame during a fire.

**Key words:** boiler plants, diesel fuel, high-potential electrostatic field, electrode system, high-voltage power supply

**For citation:** R.V. Mukanov, Yu.A. Alyautdinova, S.P. Strelkov. Investigation of liquid fuel combustion processes in an electrostatic field. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(1):207-214. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-207-214

**Введение.** На современных крупных ТЭС из жидких видов топлива в основном применяется мазут, который является остаточным продуктом переработки сырой нефти, но на небольших котельных для получения тепла и электричества используется печное топливо, получаемое из дизельных фракций вторичной перегонки нефти, что делает его неплохой заменой углю и мазуту.

Популярность печного (дизельного) топлива выросла благодаря массовому использованию дизельных двигателей внутреннего сгорания в автомобильной отрасли, а также благодаря появлению большого выбора бытовых котлов для отопительных систем [1].

Котельные установки, особенно малой мощности, на жидком топливе в настоящее время довольно популярны как в России, так и за рубежом, особенно в тех регионах, где не была проведена газификация. Это обусловлено тем, что жидкое топливо, можно использовать практически при любых условиях климата, его легко транспортировать и хранить. Кроме того, такие котельные могут работать не только на мазуте, отработанном масле и дизельном топливе, но и на газообразном топливе, при замене распылительных форсуночных устройств [2-4].

Однако жидкое топливо кроме несомненных достоинств обладает и рядом существенных недостатков. Для обеспечения полноты сгорания жидкого топлива его необходимо распылять в топку с минимальными параметрами дисперсности (диаметр капель распыла) [4-8], обеспечив близкие к идеальному смесеобразование с окислителем.

Если эти условия не соблюдаются, то в дымовых газах кроме продуктов полного сгорания - углекислого газа и паров воды, будут присутствовать также продукты неполного сгорания, такие как монооксид углерода CO, метан CH<sub>4</sub>. Следует иметь в виду, что в продуктах сгорания имеются и токсичные компоненты. К ним кроме CO относятся углеводороды, окислы азота, альдегиды, сернистый газ, при работе котельной установки на сернистом топливе [1].

**Постановка задачи.** Повышение качества и интенсификации процессов горения является актуальной задачей, и её решение позволит повысить полноту сгорания органического жидкого топлива и позволит снизить токсичность, повысив экологичность уходящих дымовых газов. В настоящее время традиционные способы управления процессами горения, а именно регулирование подачи топлива и окислителя, становятся всё менее эффективны, ими сложно добиться высокого качества процесса горения топлива. Несовершенство этих процессов влияет на неполноту сгорания топлива и высокую токсичность выбросов дымовых газов в атмосферу котельных, работающих на органическом жидком топливе.

В научно-технической литературе встречаются упоминания о проведении экспериментальных исследований по влиянию на процесс горения топлива, электрических полей разной интенсивности, подведенных к зоне горения [9-13]. Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что воздействие на факел горения электростатических и магнитных полей приводит к изменению характера горения органического топлива, и на основе этого эффекта возможно создание локальных устройств управления и контроля процессами горения. Опубликованные в этом направлении работы хоть и подтверждают наличие воздействия полей на процесс горения, однако в них нет четкого обоснования результатов экспериментальных исследований, встречаются и противоречивые результаты похожих экспериментов, проведенных разными авторами.

Влияние электрического поля на пламя связано с наличием в последнем положительно и отрицательно заряженных частиц, электронов, ионов [14]. С помощью много-

численных экспериментов установлено, что в пламени присутствует разделение зарядов, а именно: отрицательный заряд находится внизу в предпламенной зоне, а положительный в верхней, в его более яркой части факела. Вероятно, это обусловлено наличием носителей заряженных частиц - ионов, радикалов [16-18]. Наличие свойств электропроводности пламени приводит к изменению формы факела, характера горения при размещении его в непосредственной близости от электромагнитных полей [18].

Также заметное влияние на факел пламени оказывает направление электрического поля, приложенного извне, при этом выделяют два основных направления заряда: вертикальное и горизонтальное. В данном экспериментальном исследовании используется вертикальное направление заряда с разной полярностью, когда два электрода расположены один над другим соосно в вертикальной плоскости. [19-20].

**Методы исследования.** Для исследования процессов горения печного (дизельного) топлива в высоковольтном электростатическом поле была разработана экспериментальная установка (рис.1). Экспериментальная установка состоит из корпуса 1 выполненного из металлического профиля, нижнего 2 и верхнего 4 электродов, представляющих собой диски диаметром 100 мм выполненных из листового алюминия, толщиной 2 мм, кюветы 3 для загрузки топлива, которое будет сжигаться в ходе проведения эксперимента. Высокопотенциальное электростатическое поле создается при помощи высоковольтного блока питания 5, который с помощью экранированных кабелей присоединялся к верхнему и нижнему электродам.

Полярность присоединения высоковольтных проводов зависела от условий эксперимента, в первом случае нижний электрод установки присоединён к положительному электроду, во втором к отрицательному.

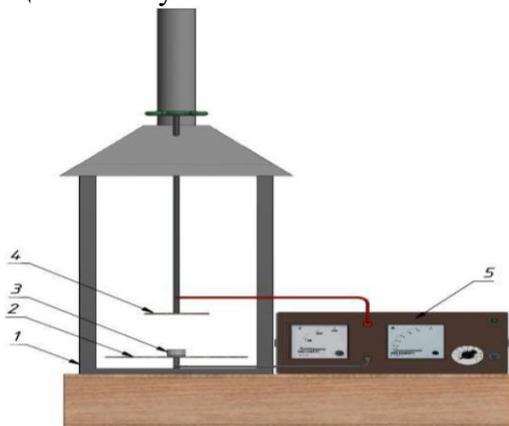


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 -корпус установки; 2 -нижний электрод; 3 -кювета с топливом; 4 -верхний электрод; 5 -высоковольтный источник напряжения

Fig. 1. Experimental setup: 1 - installation body; 2 - lower electrode; 3 - cuvette with fuel; 4 - top electrode; 5 - high-voltage voltage source

**Обсуждение результатов.** В качестве исследуемого жидкого топлива использовалось летнее дизельное топливо марки Лукойл. Испытуемое топливо набиралось в небольшую металлическую кювету 3 цилиндрической формы, которая помещалась между двумя дисками – электродами 2 и 4, расположенных параллельно друг другу. Кювета ( $S=0,0025\text{м}^2$ ) с топливом предварительно взвешивалась на лабораторных весах, затем помещалась в центр нижнего диска, затем топливо поджигалось переносным запальником. После минуты горения пламя гасилось и кювета помещалась на весы для повторного взвешивания. Далее опыт повторялся, а на электроды подавалось напряжение 1000 вольт с лабораторной установки, с последующим увеличением напряжения шагом в 1000 В. На основе полученных данных вычислялась скорость горения топлива в высоковольтном статическом поле по формуле: [7-8].

$$v_{\text{с.м.}} = \frac{m}{t \cdot S}, \quad \text{г/с} \cdot \text{м}^2 \quad (1)$$

где  $m$  - масса сгоревшего топлива г;  $t$  - время горения топлива с;  $S$  - площадь поверхности горения  $m^2$ .

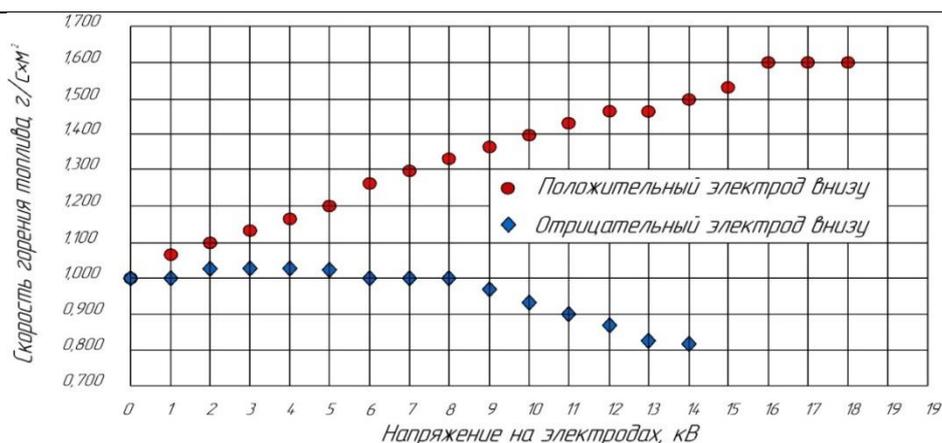
Следует отметить, что в ходе эксперимента обнаружена очень плохая воспламеняемость дизельного топлива при комнатной температуре, а именно процесс горения не наблюдался при поджигании топлива запальником. В связи с этим было принято решение о предварительном подогреве топлива, для этих целей использовалась бытовая миниэлектроплитка. В ходе опытов было проверено несколько значений температур подогреваемого топлива, и в результате установлена наиболее подходящая для нормального горения дизельного топлива температура в  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . Все дальнейшие опыты проводились с предварительным разогревом топлива до данной температуры. Опыты при одном и том же значении напряжения проводились не менее трех раз, и в таблицу заносились данные среднего значения скорости горения. Далее ход эксперимента изменялся и нижний электрод присоединялся к отрицательному источнику питания. Результаты экспериментов горения дизельного топлива при изменении полярности приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Зависимость скорости горения топлива в единицу времени от величины подаваемого напряжения, при нижнем расположении положительного и отрицательного электродов**

**Table 1. Dependence of the fuel burning rate per unit time on the value of the supplied voltage, with the lower location of the positive and negative electrodes**

№ п/п	Напряжение на электродах U, В Electrode voltage	Скорость горения при нижнем расположении положительного элект- рода, $v_{г.т.}$ , г/см $\times$ м <sup>2</sup> Burning rate at the lower location of the positive electrode	Скорость горения при нижнем расположении отрицательного элект- рода, $v_{г.т.}$ , г/см $\times$ м <sup>2</sup> Burning rate at the lower location of the negative electrode
1.	0	1.000	1.000
2.	1000	1.067	1.000
3.	2000	1.100	1.033
4.	3000	1.133	1.033
5.	4000	1.167	1.033
6.	5000	1.200	1.000
7.	6000	1.267	1.000
8.	7000	1.300	1.000
9.	8000	1.333	0.967
10.	9000	1.367	0.933
11.	10000	1.400	0.900
12.	11000	1.433	0.867
13.	12000	1.467	0.833
14.	13000	1.467	0.833
15.	14000	1.500	-
16.	15000	1.533	-
17.	16000	1.600	-
18.	17000	1.600	-
19.	18000	1.600	-

В результате из полученных данных были построены графические зависимости скорости горения топлива в единицу времени от величины подаваемого напряжения (рис. 2). Точки с красной заливкой, соответствуют экспериментам, когда внизу находился положительный электрод, с синей заливкой, экспериментам - с нижним расположением отрицательного электрода. Анализируя полученные графики горения топлива при различных значениях напряжения можно заметить, что при подключении нижнего диска (электрода), с расположенной на нём кювете, к положительному контакту высоковольтного блока питания, скорость горения топлива при повышении напряжения увеличивается.



**Рис. 2. График зависимости скорости горения топлива в единицу времени от величины подаваемого напряжения, при нижнем расположении положительного электрода**  
**Fig. 2. Graph of the dependence of the fuel burning rate per unit time on the magnitude of the applied voltage, with the lower location of the positive electrode**

На рис. 2 видно, что скорость горения плавно увеличивается вплоть до 16–17 кВ, далее изменения скорости горения практически не наблюдалось, а учитывая ограниченные возможности лабораторного высоковольтного блока питания, эксперименты при напряжении более 18 кВ нами, не проводились. Следует отметить, что график носит ярко выраженный линейный характер.

При реализации второй части эксперимента, (снизу отрицательный электрод) наблюдалась совсем другая картина, в начале эксперимента пламя слабо реагировало на электрическое поле, вплоть до 7–8 кВ, затем наблюдается сильное изменение характера горения, пламя факела начинает прижиматься всё сильнее к нижнему электроду, при этом скорость горения падала. При увеличении напряжения более 15 кВ, пламя угасало настолько, что его становится практически не видно в кювете с топливом, а дальнейшее повышение напряжения приводило к затуханию пламени.

При проведении экспериментов проводилась фотофиксация характера горения топлива (рис. 3–4). Если проанализировать полученные фотоснимки хода эксперимента (рис. 3) то при расположении положительного электрода снизу, можно заметить разницу в размере факела в зависимости от подаваемого напряжения.



**Рис. 3. Положительный электрод внизу**  
**Fig. 3. Positive electrode down**

Например, в начальной стадии горения пламя небольшого размера и горит с незначительным изменением формы, при этом факел горения распределяется ближе к центру кюветы. При превышении напряжения 2кВ наблюдается небольшой рост факела пламени и фиксируется образования частиц сажи (неполного окисления углерода топлива)верху пламени. При 5кВ наблюдается расширение нижней зоны факела пламени у основания кюветы, которое увеличивает площадь горения, а, следовательно, происходит повышение температуры факела горения. При дальнейшем повышении напряжения размер факела продолжает расти. Наблюдения проводились до напряжения 18кВ, однако при горении топлива свыше 15кВ и далее, увеличение пламени и изменения характера горения не визуально не наблюдалось. При нижнем расположении отрицательного электрода (рис. 4),

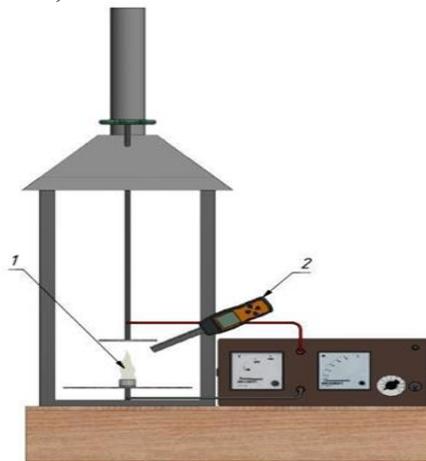
на фотографиях эксперимента, заметно, что интенсивность горения значительно снижается с повышением напряжения на электродах, и при напряжении более 15 кВ происходит его полное затухание.



**Рис. 4. Отрицательный электрод внизу**  
**Fig. 4 Negative electrode at the bottom**

В ходе экспериментом было обнаружено, что при горении свыше 10 кВ происходило заметное снижение количества выбросов продуктов сгорания в зоне горения (частицы сажи, неполного сгорания углерода в топливе). Это можно объяснить тем, что при электризации пространства в зоне горения за счет кулоновских сил взаимодействия происходит более качественное перемешивание горящего топлива с воздухом. Чтобы подтвердить это был произведен еще один эксперимент с оценкой качества сгорания топлива ручным газоанализатором «SMART SENSOR» модель AS8700A, который предназначен для замера уровня монооксида углерода в помещениях.

Схема лабораторной установки была дополнена газоанализатором 2 расположенным над кюветой с горящим топливом 1, так чтобы заборная трубка газоанализатора была выше зоны горения факела (рис. 5).



**Рис. 5. Экспериментальная установка с установленным газоанализатором:**  
**1 – кювета с горящим топливом; 2 – газоанализатор**  
**Fig. 5. Experimental setup with installed gas analyzer: 1 – cuvette with burning fuel;**  
**2 - gas analyzer**

Благодаря проведенным экспериментам было установлено, что при повышении подаваемого напряжения на электроды до 3 кВ происходило незначительное повышение содержания СО в продуктах сгорания, однако после 3 кВ содержание СО стало плавно уменьшаться, а в диапазоне от 8 кВ до 15 кВ интенсивность снижения СО в продуктах сгорания повысилась (рис. 6). После 16 кВ содержание СО в продуктах сгорания не изменялась. Измерение содержания СО в продуктах сгорания производилось в ppm (англ. «parts per million» - «частей на миллион») - единица измерения концентрации газов и других относительных величин, аналогична по смыслу промилле и проценту.

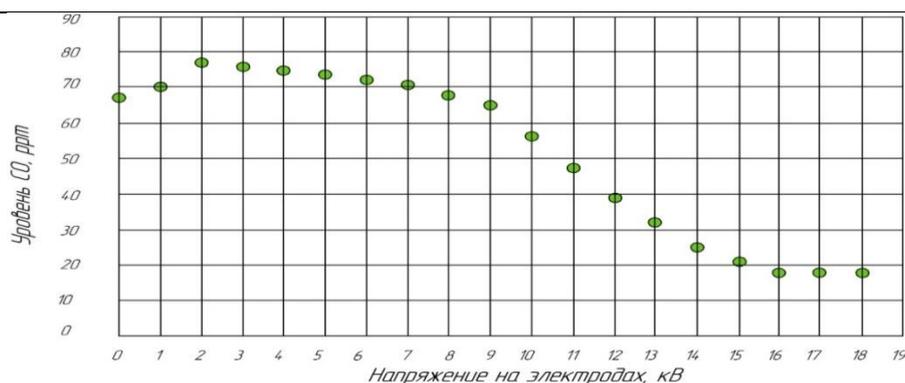


Рис. 6. Зависимость количества выделения CO от подаваемого напряжения

Fig. 6. The dependence of the amount of CO emission on the supplied voltage

**Вывод.** Высокопотенциальное электростатическое поле оказывает влияние на процесс горения органического жидкого топлива. Электростатическое поле при изменении полярности способно интенсифицировать, или снижать скорость горения жидкого топлива, с изменением характера и режима горения. Горение топлива в электростатическом поле способно повысить полноту сгорания жидкого топлива, с уменьшением в продуктах сгорания концентрации монооксида углерода (CO). На основе эффекта повышения скорости горения возможно создание высокоэффективных горелок для сжигания жидкого топлива. Эффект снижения скорости горения может быть использован для создания устройств противопожарной безопасности, блокирующих распространение пламени во время пожара.

**Благодарности.** Коллектив авторов выражает благодарность Астраханскому государственному архитектурно-строительному университету за предоставленное оборудование и лаборатории.

#### Библиографический список:

1. Г.Ф. Кнорре. Теория топочных процессов/ под редакцией Г.Ф. Кнорре, И.И. Палеева. М.; Л.: Энергия, 1966, 491стр.
2. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей Текст. / В. А. Бородин. -М.: Машиностроение, 1967.-208 с.
3. Д. Г. Пажи, А. А. Корягин, Э. Л. Ламм. Распыливающие устройства в химической технологии. М.: Химия, 1975. -199 с.
4. Экнадиосянц, О. К. Получение аэрозолей. Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л.Д. Розенберга. -М.: Наука, 1970. С. 337-395.
5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. -М.: Химия, 1984. 256 с.
6. Пажи, Д. Г. Распылители жидкостей. -М.: Химия, 1979.-216 с.
7. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. - 750 с.
8. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей Текст. / В. А. Бородин. - М.: Машиностроение, 1967.-208 с.
9. Френкель А.И. На заре физики. Л.: Наука,1970. 384 с.
10. Свинцов В. Я., Муканов Р. В. Разработка метода исследования физических характеристик жидкого топлива в высоковольтном электростатическом поле // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 26-28.
11. Свинцов В. Я., Муканов Р. В. Новый метод сжигания жидкого топлива в топочных устройствах котельных агрегатов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 21-23.
12. Свинцов В.Я., Шматова Е.Н., Хлыстунов М.С., Муканов Р.В. Электростатический способ диспергирования жидких топлив применительно к котельным установкам // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №1. С 255-258.
13. Свинцов В. Я. Влияние электрического поля на физические характеристики биосырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 1995. № 6. С. 14-15.
14. Суворов Д.В., Кочева М.А. Механизмы воздействия электромагнитной энергии на пламя // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 182-184.
15. Хафизов Ф.Ш., Пермьяков А.В., Хафизов И.Ф. Исследование влияния электромагнитного поля высокой напряженности на пламя // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2. С. 105-110.
16. Friedman AN, Stoliarov SI. Acoustic extinction of laminar line-flames. Fire Safety Journal. 2017;93:102–113. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.09.002.
17. Sher E, Pinhasi G, Pokryvailo A, Bar-On R. Extinction of pool flames by means of a DC electric field. Combustion and Flame. 1993;94(3):244–252.

18. Kim MK, Chung SH, Fujita O. Effect of AC electric fields on flame spread over electrical wire. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2011;33(1):1145–1151.
19. С.М. Решетников, И.А. Зырянов Влияние электростатического поля на макрокинетику горения алканов и керосина // Вестник КГТУ. 2011. №1. С. 120–128.
20. Митягин Ю.А., Мурзин В.Н., Ефимов Ю.А., Пищулин А.А., Пырков В.Н. Кинетика трансформации домена электрического поля в слабо связанных сверхрешетках в поперечном электрическом поле // Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38. № 11. С. 1353-1357.

#### References:

1. G.F. Knorre. Theory of furnace processes. G.F. Knorre, I.I. Paleev. M.; Leningrad: Energy, 1966; 491.
2. Borodin V. A. Spraying liquids M.: *Mashinostroenie*, 1967;208.[In Russ]
3. D. G. Pages, A. A. Koryagin, E. JI. Lamm. Spraying devices in chemical technology. M.: *Chemistry*, 1975; 199 [In Russ]
4. Eknadiosyants, OK Obtaining aerosols. Physical foundations of ultrasonic technology. ed. L.D. Rosenberg. -M.: *Nauka*, 1970; 337-395.[In Russ]
5. Pages D.G., Galustov V.S. Fundamentals of liquid spraying technique. M.: *Chemistry*, 1984; 256 [In Russ]
6. Pages, D. G. Spray liquids. M.: *Chemistry*, 1979; 216 [In Russ]
7. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology. M.: *Chemistry*, 1973;750[In Russ]
8. Borodin V. A. Spraying of liquids. M.: *Mashinostroenie*, 1967; 208[In Russ]
9. Frenkel A.I. At the dawn of physics. L.: *Nauka*, 1970; 384 [In Russ]
10. Svintsov V. Ya., Mukanov R. V. Development of a method for studying the physical characteristics of liquid fuel in a high-voltage electrostatic field. *Industrial and civil construction*. 2012; 8: 26-28 [In Russ]
11. Svintsov V. Ya., Mukanov R. V. A new method of burning liquid fuel in furnace devices of boiler units. *Industrial and civil construction*. 2012; 8: 21-23 [In Russ]
12. Svintsov V.Ya., Shmatova E.N., Khlystunov M.S., Mukanov R.V. Electrostatic method of dispersing liquid fuels in relation to boiler plants. *Scientific and technical bulletin of the Volga region*. 2013; 1:255-258 [In Russ]
13. Svintsov V. Ya. Influence of the electric field on the physical characteristics of bio-raw materials. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 1995; 6: 14-15 [In Russ]
14. Suvorov D.V., Kocheva M.A. Mechanisms of the impact of electromagnetic energy on the flame. *Modern science-intensive technologies*. 2014; 5(1): 182-184 [In Russ]
15. Khafizov F.Sh., Permyakov A.V., Khafizov I.F. Investigation of the influence of an electromagnetic field of high intensity on the flame. *Problems of collecting, preparing and transporting oil and oil products*. 2016; 2:105-110 [In Russ]
16. Friedman AN, Stoliarov SI. Acoustic extinction of laminar line-flames. *Fire Safety Journal*. 2017;93:102–113. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.09.002.
17. Sher E, Pinhasi G, Pokryvailo A, Bar-On R. Extinction of pool flames by means of a DC electric field. *Combustion and Flame*. 1993; 94(3):244–252.
18. Kim MK, Chung SH, Fujita O. Effect of AC electric fields on flame spread over electrical wire. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2011;33(1):1145–1151.
19. S.M. Reshetnikov, I.A. Zyryanov Influence of electrostatic field on the macrokinetics of combustion of alkanes and kerosene. *Bulletin of KSTU*. 2011;1: 120–128 [In Russ]
20. Mityagin Yu.A., Murzin V.N., Efimov Yu.A., Pischulin A.A., Pyrkov V.N. Kinetics of transformation of the electric field domain in weakly coupled superlattices in a transverse electric field. *Fizika i Tekhnika Semiconductor*. 2004;38(11): 1353-1357[In Russ]

#### Сведения об авторах:

Муканов Руслан Владимирович, старший преподаватель кафедры «Инженерные системы и экология», [rvmukanov@mail.ru](mailto:rvmukanov@mail.ru)

Аляутдинова Юлия Амировна, кандидат технических наук, доцент, кафедры «Инженерные системы и экология»; [alautd@mail.ru](mailto:alautd@mail.ru)

Стрелков Сергей Петрович, кандидат биологических наук, доцент, кафедры «Геодезия и кадастровый учет», [sf.dekanat@mail.ru](mailto:sf.dekanat@mail.ru)

#### Information about authors:

Ruslan V. Mukanov, Senior Lecturer, Department of Engineering Systems and Ecology; [rvmukanov@mail.ru](mailto:rvmukanov@mail.ru)

Yulia A. Alyautdinova, Cand.Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Engineering Systems and Ecology; [alautd@mail.ru](mailto:alautd@mail.ru)

Sergei P. Strelkov, Cand.Sci. (Biol), Assoc. Prof., Department of Geodesy and Cadastral Registration; [sf.dekanat@mail.ru](mailto:sf.dekanat@mail.ru)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.**

**Поступила в редакцию/Received 12.01.2023.**

**Одобрена после/рецензирования Revised 21.02.2023.**

**Принята в печать/ Accepted for publication 21.02.2023.**