



8. Майсурадзе М. В. Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий : учеб. пос. / М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, О. Ю. Корниенко, С. И. Степанов. – Екатеринбург : Урал ун-т, 2022. – 92 с.
9. Аралов Е. С. К методике определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности / Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 3 (45). – С. 22–27.
10. Черкасов С. Г. Приближенный метод расчета теплового режима панельного холодильника-излучателя / С. Г. Черкасов, И. В. Лаптев // Тепловые процессы в технике. – 2018. – Т. 10, № 3–4. – С. 116–124.
11. Гладков С. О. К вопросу резонансного нагрева поверхностей тепловым лучистым излучением / С. О. Гладков, А. А. Годин // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. – 2021. – № 3. – С. 70–81.
12. Корявка Н. А. Исследование лучистого переноса тепла с параллельной реализацией вычислений / Н. А. Корявка, М. В. Якобовский, О. Г. Ольховская // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2020). Короткие статьи и описания плакатов. – 2020. – С. 152–162.
13. Садчиков П. Н. Методологические принципы построения математической модели / П. Н. Садчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 3 (9). – С. 51–53. – EDN TEDKTT.
14. Веселова Н. М. Инженерные методы расчета твердых электротехнических материалов при изменяющихся ТФХ : мон. / Н. М. Веселова. – Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2013. – С. 74–75.
15. Бабичев А. П. Физические величины : справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; под ред.: И. С. Григорьева, Б. З. Мейлихова. – М. : Энергоиздат, 1991. – С. 217, 238.

© А. Д. Лёгкий, Н. М. Веселова, В. И. Карапузов, Т. П. Бренина

Ссылка для цитирования:

Лёгкий А. Д., Веселова Н. М., Карапузов В. И., Бренина Т. П. Нестационарный нагрев металлических деталей в машиностроении лучистым потоком тепла с учетом изменения теплофизических характеристик // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 37–41.

УДК 696.42

DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-41-45

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В. Я. Свинцов, М. Ш. Арабов, С. В. Прокин

Свинцов Владимир Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация;

Арабов Михаил Шугеевич, кандидат химических наук, доцент кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (961) 813-29-29; e-mail: arabov57@mail.ru;

Прокин Сергей Владимирович, машинист, ООО «ЛУКОЙЛ-Астраханьэнерго», г. Астрахань, Российская Федерация

В статье приведены результаты исследования диспергирования дизельного топлива за счет энергии высоковольтного электростатического поля. Процесс диспергирования фиксировался с помощью цифровой фототехники, что позволило определить размеры частиц как функцию напряжения питания высоковольтного блока экспериментальной установки.

Ключевые слова: диспергирование, дисперсность частиц, модернизированный сталагмометр, высоковольтное электростатическое поле, напряжение.

DISPERSION OF DIESEL FUEL IN A HIGH-VOLTAGE ELECTROSTATIC FIELD

V. Ya. Svintsov, M. Sh. Arabov, S. V. Prokin

Svintsov Vladimir Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems and Ecology, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation;

Arabov Mikhail Shugeyevich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Systems and Ecology, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (961) 813-29-29; e-mail: arabov57@mail.ru;

Prokin Sergey Vladimirovich, driver, LUKOIL-Astrakhanenergo LLC, Astrakhan, Russian Federation

The article presents the results of a study of diesel fuel dispersion due to the energy of a high-voltage electrostatic field. The dispersion process was recorded using digital photography, which made it possible to determine the particle sizes as a function of the supply voltage of the high-voltage unit of the experimental setup. It has been experimentally confirmed that the electrostatic dispersion method makes it possible to obtain an aerosol with specified dispersion parameters and a high degree of homogeneity. As a result of processing the experimental data, the voltage range at which the change in dispersion is most intense was determined. The data obtained can be used as a basis for the development of an electrostatic burner.

Keywords: dispersion, particle dispersion, modernized stalagmometer, high-voltage electrostatic field, voltage.

Введение

Как следует из результатов аналитических и экспериментальных исследований, опубликованные

в трудах Г. Ф. Кноппе [1], Д. М. Хзмаляна [2] и др. на значение коэффициента полезного действия ТТУ, использующих в качестве энергетического жидкие виды

топлива, оказывает значительное влияние способы и совершенство конструкций устройств диспергирования, которые должны обеспечивать требуемые дисперсные характеристики факела распыла топлива.

Известные в настоящее время устройства диспергирования находятся на пике своего технического развития и не позволяют значительно повысить качество процесса диспергирования [3–7]. Это обуславливает необходимость разработки новых перспективных методов диспергирования, в частности основанных на электротехнологиях, которые в настоящее время для диспергирования жидких топлив не применяется. В частности, в литературе [5] имеются упоминания об электростатическом и электрогидравлическом методах диспергирования, однако стоит отметить, что эти методы преподносятся как потенциально возможные к использованию и в настоящее время они не нашли применения для конструирования электростатических горелок. Оба этих метода позволяют получать качественный распыл с заданными параметрами частиц и потенциально могут быть использованы для диспергирования жидких топлив и водотопливных эмульсий. Вместе с тем электрогидравлический способ довольно сложен для технической реализации и требует энергозатратного оборудования [5].

Электростатическое диспергирование лишено недостатков, которые свойственны электрогидравлическому диспергированию, в частности по энергозатратности, цикличности работы и т. д. в связи с чем является более предпочтительным в плане разработки устройств для диспергирования жидких топлив. В технической литературе имеются сведения о том, что электростатический способ диспергирования в настоящее время используется для качественного нанесения лакокрасочных покрытий на металлические поверхности [5], а также имеются упоминания об использовании данного метода для дробления частиц молока (жировых шариков) при его гомогенизации и сушке [8].

Практика использования этого метода диспергирования показывает, что применительно к нанесению лакокрасочных покрытий, дисперсность частиц лакокрасочного материала при данном способе диспергирования составляет в среднем 5–20 мкм при очень высокой однородности частиц, что на порядок меньше, чем у традиционных устройств диспергирования жидкого топлива [5]. Это позволяет сделать вывод о хороших перспективах использования электростатических форсунок в теплогенерирующих установках. Кроме того, в литературе имеются исследования, доказывающие, что процессы окисления в высокопотенциальном электростатическом поле, идут значительно эффективнее и быстрее. Так при экспериментальных исследованиях процессов горения образца (полимера), при наложении электростатического поля исследователями фиксировалось повышение температуры горения и скорости окислительных реакций [9–13], что позволяет надеяться на получение аналогичного эффекта при горении жидкого топлива и в топках ТГУ при реализации процесса электростатического диспергирования.

Методы и методология

Сущность электростатического метода диспергирования заключается в том, что дробление вещества (диспергирование) происходит за счет воздействия на поток жидкого топлива созданного электродной системой распылителя высокопотенциального электростатического поля.

В ранее опубликованных статьях [13–19] приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований по разработке метода и устройства для диспергирования жидких сред модернизированным сталагмометрическим методом, которые позволили установить функциональную зависимость дисперсных характеристик модельной жидкости от величины напряжения питания электродной системы и тем самым подтвердить работоспособность и высокую эффективность электростатического метода диспергирования.

Однако, в силу физических принципов, на которых основан сталагмометрический метод, последний имеет ограниченные возможности исследования искомой взаимосвязи дисперсных характеристик от величины напряжения, подаваемого на электродную систему установки. Для расширения диапазона исследований по величине напряжения нами был разработан динамический метод экспериментальных исследований, который основывался на измерении оптической системой модернизированной измерительной установки дисперсных характеристик диспергируемой среды по результатам измерений ширины штреков, оставляемых частицами в полете.

Результаты и обсуждение

Исследования проводились на разработанной нами модернизированной экспериментальной установке, изображенной на рисунке 1. Основа модернизации разработанной нами ранее экспериментальной установки [13] заключалась в оснащении блока диспергирования цифровой макрокамерой, источником высоковольтного напряжения, источником направленного света и черным поглощающим экраном. В связи с тем, что в дальнейшем предполагалось использование этой установки также для экспериментальных исследований процесса горения жидкого топлива в высоковольтном электростатическом поле, для отвода продуктов горения в этой установке была предусмотрена система отвода продуктов сгорания.

Макрокамеру устанавливали на треноге по возможности ближе к штуцеру 4 – высоковольтного электрода блока диспергирования дизельного топлива. С противоположной стороны макрокамеры располагали поглощающий экран 6, окрашенный в черный матовый цвет для избегания отражений и бликов во время съемки.

В виду того, что распыленные частицы жидкости плохо заметны при естественном комнатном освещении фотосъемка производилась в затемненном помещении при специально подобранном источнике света. Для этого использовался светодиодный мини-прожектор, работающий от сети 220 В, мощностью 20 ватт, с величиной светового потока 1600 люмен и цветовой температурой 6500 К. Источник света 5

располагается позади и в сторону от экрана под углом α к оси съемки камеры. Опытным путем установлено, что при $\alpha = 150^\circ$, частицы диспергируемого дизельного топлива хорошо различимы и не происходит засвета фотоснимков.

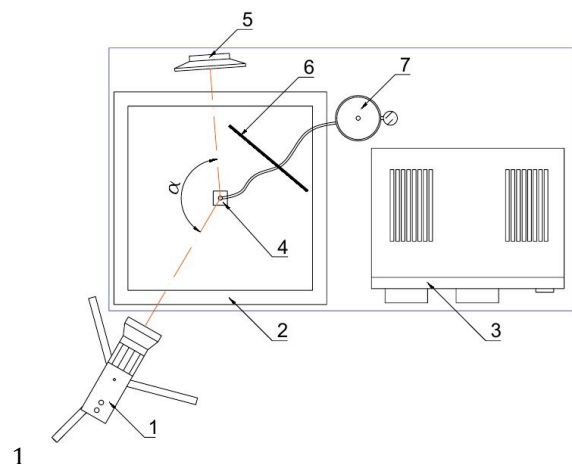


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования процессов диспергирования дизельного топлива в высоковольтном электростатическом поле: 1 – макрокамера; 2 – блок диспергирования дизельного топлива; 3 – источник высоковольтного напряжения; 4 – штуцер для распыления жидкости; 5 – источник направленного света; 6 – черный поглощающий экран; 7 – емкость для подачи топлива

Диспергирующий блок совместно с источником высоковольтного напряжения изображен на рисунке 2.

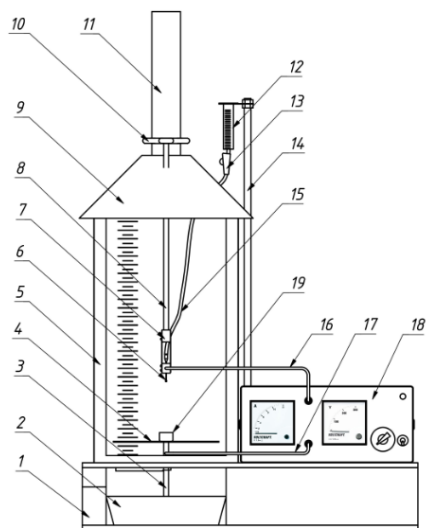


Рис. 2. Диспергирующий блок совместно с источником высоковольтного напряжения: 1 – основание диспергирующего блока; 2 – поддон для сбора дизельного топлива; 3 – нижняя шпилька; 4 – катод; 5 – каркас установки; 6 – штуцер анод; 7 – корпус штуцера; 8 – верхняя шпилька; 9 – вытяжной короб; 10 – рукоятка регулирования высоты электрода; 11 – вытяжная труба; 12 – емкость подачи жидкости; 13 – зажим-регулятор; 14 – вертикальная стойка; 15 – трубка подачи исследуемой жидкости; 16 – высоковольтный провод анода; 17 – высоковольтный провод катода; 18 – источник высоковольтного напряжения; 19 – зажимная пластина катода

Диспергирующий блок состоит из основания 1 и каркаса 5, сваренного из металлических уголков, на котором закреплен вытяжной короб 9 и труба 11 для вывода продуктов горения. В корпусе 1 находится поддон 2 для сбора излишек стекающего топлива во время эксперимента. Внизу, в центре каркаса 5 закреплена нижняя шпилька 3, на которой закреплен нижний электрод, выполненный из листового алюминия толщиной 3мм и имеющий диаметр 220мм. Над ним соосно установлена верхняя шпилька 8, на которой закреплен корпус 7 штуцера 6. При помощи рукоятки 10 можно вращать шпильку 8 и соответственно сам штуцер, меняя тем самым рабочее расстояние между электродами, зависящее от цели проводимого опыта. На корпусе установке находится большая стойка 14, на которой находится емкость для дизельного топлива и трубка 15 для его подачи в штуцер 6. С помощью зажима 13 можно регулировать подачу исследуемого топлива или полностью ее останавливать. В непосредственной близости от корпуса установки располагается высоковольтный источник питания 18, с которого по проводам 16 и 17 напряжение передается на электроды 6 и 4 установки.

Для анализа фотоснимков использовалась компьютерная программа TouрView, с помощью которой производилось измерение ширины штреков отдельных капель распыла цифровыми методами [20–22]. Также в этом приложении имеется возможность при помощи калибровки отдельных участков фотографий уточнять размеры отдельных объектов. Фотоснимки делались при напряжении с шагом в 1000 вольт, начиная с момента существенного воздействия электростатического поля на процесс распыления топлива. Для установки масштаба на полученных фотографиях в кадре заранее был размещен фрагмент измерительной линейки, по которой в полученных снимках можно было провести калибровку измерительных приспособлений программы TouрView. В качестве объекта исследований было выбрано дизельное топливо летней марки от компании «Лукойл».

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлены фотографии факела распыла дизельного топлива при напряжении 10 и 12 кВ.

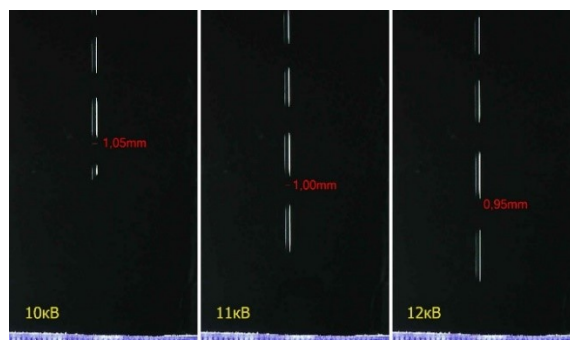


Рис. 3. Фотографии факела распыла дизельного топлива при напряжении 10–12 кВ

На представленных выше фотографиях видно, что произошло преобразование капельного процесса

(наблюдавшегося при напряжениях на электродах до 8–9 кВ) в процесс истечения дизельного топлива из штуцера в струйное, с образованием расслоения потока на две струйки. Результаты дальнейших экспериментов, которые проводились с последовательным увеличением напряжения с шагом в 1000 В показали, что эта картина физики процесса истечения в основном была характерна для процесса диспергирования вплоть до напряжений 18–19 кВ, хотя и имелись отличительные особенности, обусловленные значительным уменьшением толщины штреков от частиц дизтоплива. Анализ последующей группы снимков (рис. 4–5) процесса диспергирования показал, что заметное диспергирование дизельного топлива начинается с напряжения, приблизительно равного 19–20 кВ и выше.

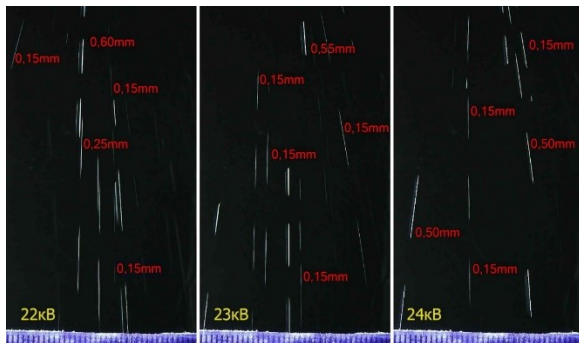


Рис. 4. Фотографии факела распыла дизельного топлива при напряжении 22–24кВ

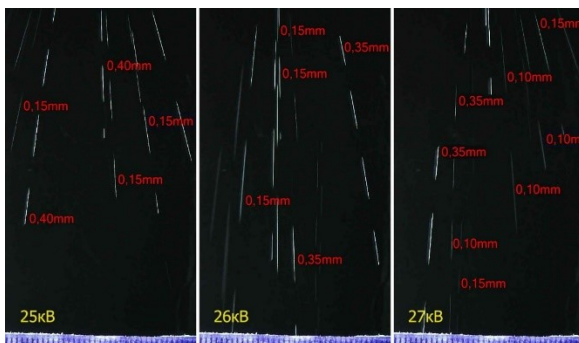


Рис. 5. Фотографии факела распыла дизельного топлива при напряжении 25–27кВ

При напряжении 25–27 кВ ширина штреков достигает минимальных значений от 0,10 до 0,35 мм, причем из образовавшихся частиц преобладают капли с диаметром 0,10–0,15 мм. Из анализа рисунков 5 и 6 также следует чрезвычайно малый разброс в значениях толщины штреков, что характеризует высокую однородности частиц по размерам, образующихся в процессе диспергирования за счет энергии высоковольтного поля и что является несомненным достоинством электростатического метода диспергирования по сравнению с известными методами.

На основании экспериментальных данных был произведен расчет среднего диаметра частиц факела распыла как среднеарифметическое значение от диаметров. Средний диаметр частиц рассчитывался по формуле:

$$d_{cp} = \frac{d_n + \dots + d_{(n+1)}}{(n+1)}, \text{ мм.} \quad (1)$$

Экспериментальная зависимость диаметра частиц d_{cp} (мм) в зависимости то напряжения U (кВ) представлена в таблице.

Таблица

Экспериментальная зависимость диаметра частиц (d_{cp}) в зависимости от напряжения (U)

Напряжение, киловольт	Интервал диаметров, мм	Средний диаметр, мм
18	0,25–0,70	0,47
19	0,25–0,65	0,45
20	0,25–0,60	0,41
21	0,20–0,60	0,35
22	0,15–0,60	0,26
23	0,15–0,55	0,26
24	0,15–0,50	0,29
25	0,15–0,40	0,25
26	0,15–0,35	0,23
27	0,10–0,35	0,175

Для оценки соответствия экспериментальных данных теоретической зависимости диаметра капель от величины напряжения нами осуществлено графическое отображение экспериментальных данных в логарифмической системе координат в диапазоне 18–27кВ (рис. 6).

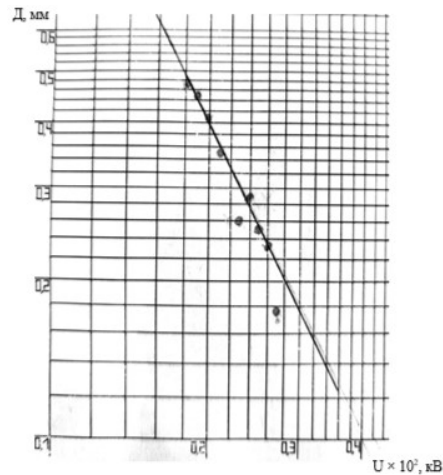


Рис. 6. Графическое отображение экспериментальных данных в логарифмической системе координат в диапазоне 18–27 кВ

Анализ графика изменения диаметра капель на рисунке 6 показывает близкую к линейной зависимость $d_q = f(U)$, что отвечает виду аналитической зависимости в логарифмической сетке координат выражения 2, представленного в следующем виде:

$$\Delta d = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 U^2}{2\sigma}, \quad (2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость; $\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ диэлектрическая постоянная А × с / В × м; U – напряжение, подаваемое на электродную систему, В; σ – поверхностное натяжение капли н/м;

$$\Delta d = 2(r - r_q),$$

где r_q – радиус капель после диспергирования в электростатическом поле, м; r – радиус капель до воздействия электростатического поля, м;

Заключение

1. Разработанное устройство на базе использования энергии высоковольтного электростатического поля позволяет обеспечить эффективный процесс диспергирования дизельного топлива при весьма незначительных значениях напряжения, подаваемого на электродную систему экспериментальной установки. Заметим, что для диспергирования, веществ, например в системах окраски металлических поверхностей используется высоковольтное напряжение свыше 60–150 кВ.

2. Экспериментальная зависимость $d_q = f(U)$, отвечает виду теоретической зависимости.

3. Полученная аэрозоль характеризуется хорошими показателями дисперсного состава частиц

дизельного топлива: высокая однородность и очень малый диаметр частиц факела распыла.

4. Для проведения экспериментальных исследований в более широком диапазоне значений напряжения необходима разработка (или использование) более мощного высоковольтного блока.

Выводы

Из вышеприведенных выводов следует, что на базе результатов экспериментальных исследований и разработанной нами экспериментальной установки может быть разработана электростатическая горелка, которая позволяет обеспечить оптимальные параметры дисперсного состава факела распыла дизельного топлива применительно к его сжиганию в топочных устройствах котельных агрегатов.

Список литературы

1. Теория топочных процессов / под ред. : Г. Ф. Кнорре, И. И. Палеева. – М., Л. : Энергия, 1966. – 491 с.
2. Хзмалян Д. М. Теория горения и топочные устройства: учеб. пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Д. М. Хзмалян, Я. А. Коган. – М. : Энергия, 1976. – 476 с.
3. Винтовкин А. А. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики) / А. А. Винтовкин, М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский, А. Б. Усачев. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Альянс, 2006. – 753 с.
5. Пажи Д. Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов. – М. : ХИМИЯ, 1984. – 254 с.
6. Пажи Д. Г. Распыливающие устройства в химической технологии / Д. Г. Пажи, А. А. Корягин, Э. Л. Ламм. – М. : Химия, 1975. – 199 с.
7. Маецкий А. В. Обзор приборов и методов исследования качества распыливания топлива дизельной форсункой / А. В. Маецкий, А. А. Гребеньков // Молодой ученый. – 2011. – Т. 1, № 10. – С. 48–54.
8. Свинцов В. Я. Влияние электрического поля на физические характеристики биосырья / В. Я. Свинцов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – № 6. – С. 14–15.
9. Решетников С. М. Особенности горения полимеров в электростатическом поле / С. М. Решетников, И. А. Зырянов, А. П. Позолотин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 8. – С. 30–36.
10. Решетников С. М. Влияние электростатического поля на макрокинетику горения алканов и керосина / С. М. Решетников, И. А. Зырянов // Вестн. КГТУ. – 2011. – № 1. – С. 120–128.
11. Проведение научных исследований в области синтеза и свойств ВМС, а также воздействие физических полей на протекание химических реакций : сб. мат-лов Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи. – Казань : КГТУ, 2010. – С. 13.
12. Кавера А. Л. Исследование состояния вопроса о процессах горения в электрическом поле / А. Л. Кавера // ВісТі Донецького причного штитуту. – 2005. – № 1. – С. 182–187.
13. Свинцов В. Я. Электростатический способ диспергирования жидких топлив применительно к котельным установкам / В. Я. Свинцов, Е. Н. Шматова, М. С. Хлыстунов, Р. В. Муканов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 1. – С. 255–258.
14. Свинцов В. Я. Новый метод сжигания жидкого топлива в топочных устройствах котельных агрегатов / В. Я. Свинцов, Р. В. Муканов // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 21–23.
15. Муканов Р. В. Исследование процесса электростатического диспергирования / Р. В. Муканов, В. Я. Свинцов, Е. М. Дербасова // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 130–139.
16. Свинцов В. Я. Разработка метода исследования физических характеристик жидкого топлива в электростатическом поле / В. Я. Свинцов, Р. В. Муканов // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 26–28.
17. Муканов Р. В. Разработка и исследование новых методов сжигания жидкого топлива / Р. В. Муканов, В. Я. Свинцов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1 (60). – С. 182–191.
18. Прокин С. П. Аprobация экспериментальной установки, выполненной на базе модернизированного сталагмометра, применительно к исследованию процесса диспергирования в высоковольтном электростатическом поле / С. П. Прокин, В. Я. Свинцов, Р. В. Муканов, Ю. А. Аляутдинова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40). – С. 23–28.
19. Прокин С. В. Исследование процессов диспергирования и горения жидких топлив в высоковольтном электростатическом поле / С. В. Прокин, И. Р. Бухминов, В. Я. Свинцов, Ю. А. Аляутдинова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (35). – С. 30–32.
20. Беляев С. П. Оптико-электронные методы изучения аэрозолей / С. П. Беляев, Н. К. Никифорова, В. В. Смаров, Г. И. Щелов. – М. : Энергоиздат, 1981.
21. Ахмадеев И. Р. Модифицированный метод малоуглового рассеяния для измерения дисперсности аэрозольных частиц / И. Р. Ахмадеев // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики : мат-лы V Всероссийской научной конференции. – Томск : ТГУ, 2006. – С. 55–56.
22. Павленко А. А. Оптические методы дистанционной диагностики аэрозольных сред в широком диапазоне размеров частиц / А. А. Павленко, О. Б. Кудряшова, Б. И. Ворожцов, И. Р. Ахмадеев, Е. В. Максименко, В. А. Архипов, С. С. Бондарчук // Химия, технология и применение высокоэнергетических соединений : тез. Всероссийской конференции, г. Бийск, 13–16 сентября 2011 г. – Бийск, 2011. – С. 151–152.
23. Гаврилова Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. – М., 2012.

© В. Я. Свинцов, М. Ш. Арабов, С. П. Прокин

Ссылка для цитирования:

Свинцов В. Я., Арабов М. Ш., Прокин С. П. Диспергирование дизельного топлива в высоковольтном электростатическом поле // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 41–45.