

УДК: 696.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ И ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**С. В. Прокин, И. Р. Бухминов, В. Я. Свинцов, Ю. А. Аляутдинова***Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

Сокращение ресурсов и повышение потребления топливных ископаемых ставит перед обществом ряд вопросов. Один из них – это сокращение топливопотребления. Традиционным видом энергетических ресурсов является жидкое топливо, примером которого служит мазут разных марок. Последнее время наблюдается снижение цены на этот вид топлива, тем самым увеличивая актуальность работы. Важным критерием является степень дисперсности его частиц. Размер частиц напрямую влияет на коэффициент полезного действия использованного топлива. Одним из перспективных методов является диспергирование с использованием энергии высокопотенциального электростатического поля (электростатическое диспергирование). В статье представлена информация по конструированию установки для исследования процессов диспергирования и горения жидкого топлива под воздействием электростатического поля высокого напряжения.

Ключевые слова: диспергирование, топливо, горение, высоковольтное электростатическое поле, вязкость, напряжение.

RESEARCHING THE PROCESSES OF DISPERSION AND COMBUSTION OF LIQUID FUELS IN A HIGH-VOLTAGE ELECTROSTATIC FIELD**S. V. Prokin, I. R. Bukhminov, V. Ya. Svintsov, Yu. A. Alyautdinova***Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia*

A reduction in resources and an increase in the consumption of fossil fuels raises a number of certain questions for society. One of them is the reduction in fuel consumption. One of the traditional types of energy resources is liquid fuel, an example of which is fuel oil of various brands. Recently, there has been a decrease in the price of this type of fuel, thereby increasing the relevance of the work. An important criterion is the degree of dispersion of its particles. Particle size directly affects the efficiency of the fuel used. One of the promising dispersion methods is dispersion using the energy of a high-potential electrostatic field (electrostatic dispersion). The article provides information on the design of an installation for studying the processes of dispersion and combustion of liquid fuel under the influence of a high-voltage electrostatic field.

Keywords: dispersion, fuel, combustion, high-voltage electrostatic field, viscosity, voltage.

Основной объём производимой энергии в мире, а это более 70 %, вырабатывается на тепловых станциях и ТЭЦ с использованием ископаемых видов топлива [6]. Из них широкое распространение получили:

- газообразное топливо (природный и сжиженные газы) – от 25 до 40 % в энергобалансе развитых стран мира;
- продукты переработки нефти (бензины, дизельное топливо, мазуты различных марок и т. д.) – от 40 до 45 %;
- твердое топливо (угли, сланцы, торф) – от 10 до 15 %;
- ядерное топливо – от 5 до 7 %.

Эффективность работы теплогенерирующих установок (ТГУ) оценивается значением коэффициента полезного действия (КПД). Под КПД понимается отношение полезной теплоты, израсходованной на выработку пара (или горячей воды), к располагаемой теплоте жидкого топлива. Из результатов аналитических и экспериментальных исследований, опубликованных в трудах Г.Ф. Кнорре [1], Д.М. Хзмаляна [2] и других ученых, следует, что совершенство конструкции устройств и способы диспергирования жидкого топлива оказывают значительное влияние на значение $\eta_{\text{кот}}$ ТГУ, использующих в качестве энергетического жидкие виды.

Эффективность способов и устройств диспергирования жидкого топлива, влияющих на качество его сжигания, оценивается по величине дисперсности и однородности частиц.

Традиционные устройства дробления веществ на настоящем этапе находятся на пике своего технического развития и не позволяют значительно

повысить качество данного процесса. Это обуславливает необходимость разработки новых перспективных методов, в частности основанных на электротехнологиях, которые пока еще не применяются. В научной литературе [3] имеются упоминания об электростатическом и электрогидравлическом методах диспергирования, однако стоит отметить, что они преподносятся как потенциально возможные к использованию и широкого распространения не получили.

Оба этих метода позволяют получать качественный распыл с заданными параметрами частиц и могут быть использованы для диспергирования жидких топлив и водотопливных эмульсий, но электрогидравлический способ довольно сложен для технической реализации и требует энергозатратного оборудования.

Электростатическое диспергирование лишено недостатков, свойственных электрогидравлическому, в частности по энергозатратности, цикличности работы и т. д. В связи с этим оно является более предпочтительным.

В технической литературе имеются сведения, что данный способ диспергирования используется для качественного нанесения лакокрасочных покрытий (ЛКП) на металлические поверхности [3], а также дробления частиц молока (жировых шариков) при его гомогенизации и сушке [4].

Сущность данного метода заключается в том, что дробление вещества происходит за счет воздействия на поток жидкого топлива созданного электродной системой высокопотенциального электростатического поля. Практика использования показывает, что примени-

тельно к нанесению ЛКП, 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. Можно сделать вывод о перспективном использовании электростатических форсунок в теплогенерирующих установках.

Кроме того, имеются данные, доказывающие что процессы окисления в высокопотенциальном электростатическом поле идут значительно эффективнее и быстрее. Так, в процессе экспериментальных исследований процессов горения образца (полимера), при наложении электростатического поля повышалась температура горения и скорости окислительных реакций [5]. Это позволяет нам надеяться на получение такого же эффекта и в топках энергетических котлов при реализации процесса электростатического диспергирования.

В связи с новизной направления и отсутствием в литературных источниках сведений о электрофизических свойствах жидких топлив и водотопливных эмульсий (ВТЭ) возникают затруднения при проведении теоретических и экспериментальных исследований в этой области знаний, что обуславливает необходимость создания эксклюзивного оборудования для исследований процессов электростатического диспергирования и формирования банка данных зависимости электрофизических характеристик жидких топлив и ВТЭ от величины электростатического поля (кинематическая вязкость, коэффициент поверхностного натяжения и т. д.).

Вышеизложенное позволяет сделать вывод об актуальности работы по исследованию процесса электростатического диспергирования жидких топлив.

Для проведения исследований по воздействию высоковольтного электростатического поля на процесс диспергирования и горения жидких топлив нами была разработана экспериментальная установка, принципиальная схема которой изображена на рисунке 1.

Устройство позволяет исследовать влияние высоковольтного электростатического поля как на процесс диспергирования, так и горения жидкого топлива различных по своим физико-техническим свойствам видов веществ.

Устройство на рисунке 1 состоит из корпуса 2 и металлического каркаса 4, на котором закреплен короб 7 и дымовая труба 10 для вывода продуктов горения. В корпусе 2 находится поддон 1 для сбора стекающего топлива во время проведения эксперимента по исследованию влияния высоковольтного электростатического поля на процесс диспергирования. Устройство содержит штуцер 3, который предполагается устанавливать на нижней, верхней или боковой поверхностях каркаса установки. Этот штуцер одновременно выполняет роль электрода, в данном случае это анод. Вторым электродом является диск,

который расположен на одной оси со штуцером и выполняет роль катода. Катод расположен на штоке 8, который можно перемещать по оси анод-катод при помощи рукоятки вращения 9. Справа от каркаса с электродами находится мерная ёмкость 13, в которую наливается испытуемая жидкость, в данном случае топливо. Ёмкость закреплена хомутом на стойке 14, которая закреплена в корпусе 2. Топливо в штуцер 3 подаётся при помощи трубопровода 11, на котором имеется регулировочный кран 12, с помощью которого можно полностью перекрывать подачу испытуемого топлива.

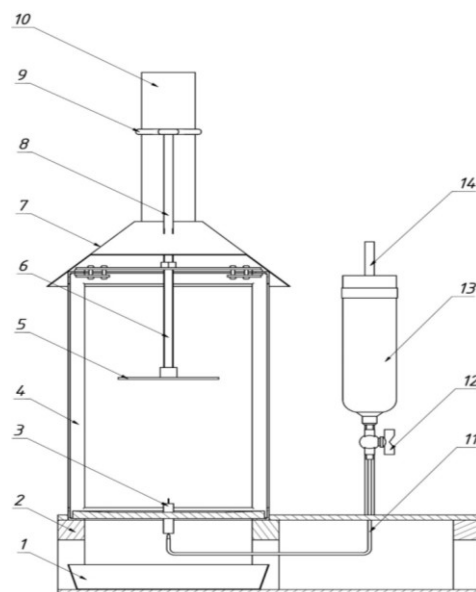


Рис. 1. Лабораторная установка для изучения процессов диспергирования топлива

Для обеспечения установки напряжением нами разработан высоковольтный блок питания (рис. 2).

Блок подключается к сети 220 В и располагается в непосредственной близости от лабораторной установки. Блок состоит из металлического корпуса 6 с прорезями, которые служат для вентиляции. Так как в процессе работы некоторые элементы сильно нагреваются. На передней стенке блока имеется тумблер 5 для включения прибора в сеть и световой индикатор 8, сигнализирующий о наличии напряжения на выходе. Высокое напряжение снимается подсоединением хорошо изолированных проводов с клеммами на контакты прибора, где 7 – это положительный заряд, а 2 – отрицательный, который является нулевым проводом, заземлённым на корпус блока питания. Подаваемое напряжение на клеммы можно регулировать при помощи ручки 4, которую посредством вращения по часовой стрелке можно установить как на максимум напряжения, так и на ноль.

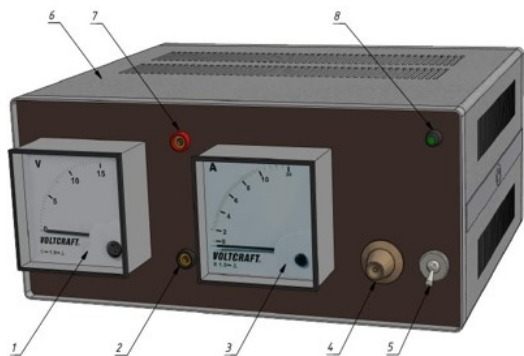


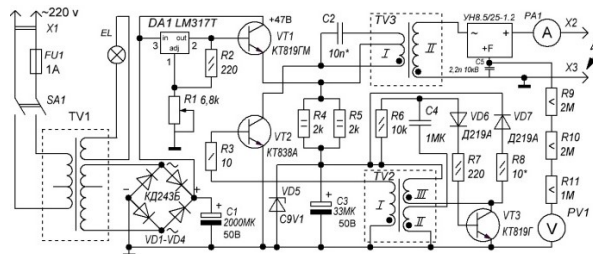
Рис. 2. Высоковольтный блок

Для удобства визуальной работы прибора на переднюю панель выведены два электроизмерительных прибора: вольтметр 1 и амперметр 3, которые при подаче напряжения на лабораторную установку показывают силу тока и величину подаваемого напряжения. Так как вольтметр рассчитан на измерение напряжения в сети до 300 В, то его показания являются условными и при снятии данных с его шкалы следует применять коэффициент пересчёта.

Принципиальная электрическая схема высоковольтного блока изображена на рисунке 3. Часть схемы собрана на плате из фольгированного текстолита, а остальная – выполнена при помощи навесного монтажа.

Электрическая схема высоковольтного блока питания состоит из нескольких частей: блок питания с выпрямителем напряжения задающего генератора с усилителем мощности и повышающей катушки с умножителем для получения высоковольтного напряжения. Схема питается от сети 220 В, напряжение подаётся на первичную обмотку силового трансформатора TV1. После этого переменное напряжение со вторичной обмотки выпрямляется диодным мостом VD1-VD4, затем поступает на транзистор VT1 и микросхему DA1. Она работает как стабилизатор и регулятор величины напряжения, которое можно изменять при помощи переменного резистора R1 от 0 до 45 вольт. Далее напряжение поступает на блокинг-генератор, выполненный на катушке TV2 и транзисторе VT3я, который работает с частотой примерно 1 кГц. Со вторичной обмотки катушки TV2 колебания увеличиваются транзистором VT2, который выполняет роль усилителя мощности. В цепь коллектора усилителя мощности включена первичная обмотка высоковольтного трансформатора ТВС-110ЛА, вторичная обмотка которого остаётся без изменений и работает как повышающий трансформатор. Полученное таким образом напряжение увеличивается классическим умножителем напряжения УН-8.5/25, который повышает подаваемое напряжение на его вход в несколько раз. Для индикации работы блока в цепь высоковольтного положительного электрода включен амперметр PA1, а также вольт-

метр PV1. Он подсоединён через гасящие высокоомные резисторы и показывает напряжение в десятки раз ниже, чем в реале. Так как его шкала не рассчитана на такое высокое напряжение и снимаемые данные с прибора следует умножать на поправочный коэффициент, который рассчитывается опытным путём, используя входные параметры электрической схемы [6–7].



TV1 - трансформатор Т4.712.000
 TV2 - феррит М2000НМ1, К20х12х6, обмотка III и II по 25 витков, обмотка I - 15 витков провод ПЭВ-2-0,44
 TV3 - ТВС110ЛА, обмотка II - 1200 витков провод ПЭВ-2-0,1, обмотка I - 18 витков провод ПЭВ-2-0,44 с отводом от 14 витка.

Рис. 3. Электрическая схема высоковольтного источника питания

При собранной схеме повышающий высоковольтный трансформатор TV3 выдаёт на выходе обмотки II порядка 6–7 кВ, поэтому в сборке применяется отечественный умножитель напряжения УН-8.5/25. Его электрическая схема показана на рисунке 4.

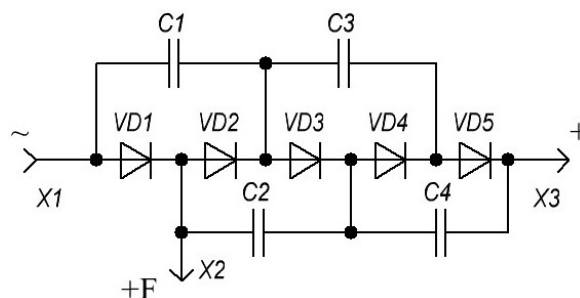


Рис. 4. Электрическая схема умножителя УН-8.5/25

Данный умножитель напряжения относится к последовательным несимметричным и собран по схеме утроителя, то есть повышает подаваемое на его вход напряжение в три раза. Следовательно, умножая напряжение, полученное с катушки в 7 кВ, мы имеем на выходе блока порядка 21 кВ. Используя подобные схемы, можно увеличить количество ступеней умножения, чтобы добиться более высокого напряжения на выходе. Например, можно усилить напряжение не в три, а в десять раз, используя схему параллельного несимметричного умножителя, который изображён на рисунке 5.

В связи с тем, что планируется проведение экспериментальных исследований процессов диспергирования и горения широкой гаммы жидких топлив, в том числе -водотопливной эмульсии, нами разработано и изготовлено смешительное устройство – эмульгатор, предназначенный для смешивания топлива и воды (рис. 6).

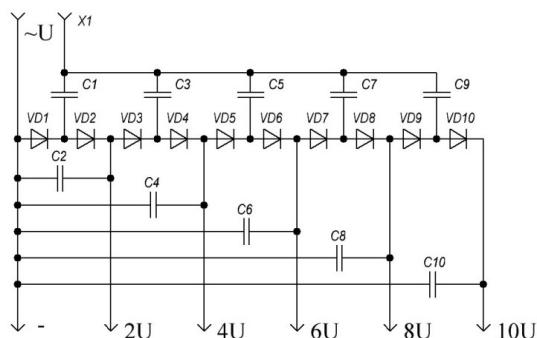


Рис. 5. Умножитель с десятикратной ступенью повышения напряжения

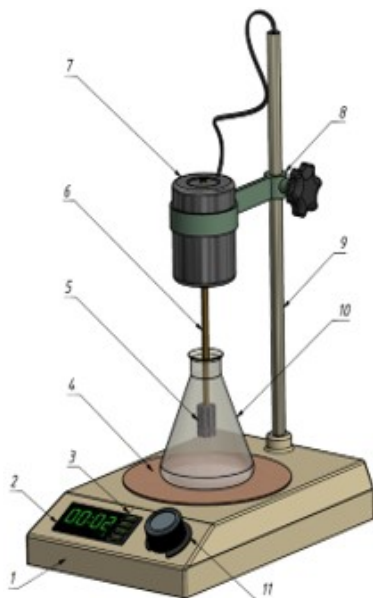


Рис. 6. Лабораторный эмульгатор

Устройство представляет собой своего рода миксер, который располагается на лабораторном столе и подключается к электрической

сети. Он состоит из корпуса 1 и вертикальной металлической стойки 9, на которой закреплён хомут 8 с рукояткой, фиксирующей хомут неподвижно на стойке. Хомут 8 удерживает электродвигатель, который при помощи ослабления рукоятки можно перемещать в вертикальной плоскости по стойке 9 для расположения на прорезиненной смесительной подставке 4 конической колбы 10, в которую заливаются ингредиенты для приготовления водотопливной эмульсии. При включении электродвигателя происходит вращение его вала 6, внизу которого расположен цилиндр 5, имеющий прорези по краям. При помощи них происходит смешивание веществ. Интенсивность смешивания можно регулировать изменением скорости вращения вала 6 при помощи ручки 11, которая может плавно изменять обороты двигателя 7.

На корпусе 1 эмульгатора расположен экран 2, на который выводятся данные о времени работы двигателя или таймер обратного отсчёта с последующей остановкой двигателя для прекращения смесеобразования. Информация выводится на экран в виде чисел, показывающих минуты и секунды, которые можно задавать кнопками 3, а также запускать и останавливать устройство.

Водотопливная эмульсия приготавливается непосредственно перед проведением эксперимента, а затем из смесителя переливается в ёмкость экспериментальной установки [8–10].

Ход эксперимента фиксируется на фотокамеру, и результаты заносятся в таблицу. Так как во время проведения опытов используется высокое напряжение, снимаемое с электродов лабораторного блока, то следует соблюдать все меры безопасности во избежание получения удара электрическим током.

Список литературы

1. Теория точечных 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. пос. / Д. М. Хзмалян, Я. А. Коган ; под. ред. Д. М. Хзмаляна. – М. : Энергия, 1976. – 476 с.
3. Пажи Д. Г. Распыливающие устройства в химической технологии / Д. Г. Пажи, А. А. Корягин, Э. Л. Ламм. – М. : Химия, 1975. – 199 с.
4. Свинцов В. Я. Влияние электрического поля на физические характеристики биосырья / В. Я. Свинцов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – № 6. – С. 14–15.
5. Решетников С. М. Особенности горения полимеров в электростатическом поле / С. М. Решетников, И. А. Зырянов, А. П. Позолотин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 8 (145). – С. 30–36.
6. Лисиенко В. Г. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование : в 3 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2003. – Книга 3. – 587 с.
7. Муканов Р. В. Исследование процесса электростатического диспергирования / Р. В. Муканов, В. Я. Свинцов, Е. М. Дербасова // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 130–139.
8. ЛКМ портал // Электростатическое распыление. – Режим доступа: http://www.lkmportal.com/enc/elektrostaticheskoe-gaspylenie_svoobodnyj. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Орлов М. Е. Повышение надёжности и энергетической эффективности теплофикационных систем / М. Е. Орлов, П. В. Ротов, В. И. Шараров // Надёжность и безопасность энергетики. – 2012. – № 1. – С. 22–26.
10. Григорьев Б. А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций / Б. А. Григорьев, Г. Ф. Богатов, А. А. Герасимов ; под ред. Б. А. Григорьева. – М. : МЭИ, 1999. – 372 с.

© С. В. Прокин, И. Р. Бухминов, В. Я. Свинцов, Ю. А. Аляутдинова

Ссылка для цитирования:

Прокин С. В., Бухминов И. Р., Свинцов В. Я., Аляутдинова Ю. А. Исследование процессов диспергирования и горения жидких топлив в высоковольтном электростатическом поле // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 30–33.