

создании расчетных моделей. К их числу относится приближение однофронтальной модели фронта горения, развитое в работах Шваба — Зельдовича, аналогия Рейнольдса, газодинамическая модель пограничного слоя, применяемая в асимптотической теории Кутателадзе — Леонтьева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шваб В. А. Исследование процессов горения натурального топлива.— М.: Госэнергоиздат, 1948.— С. 231—248.
2. Зельдович Я. Б. К теории горения перемешанных газов // ЖТФ.— 1949.— 19, № 10.— С. 1199—1210.
3. Вильямс Ф. А. Асимптотические методы в теории горения // Аэрокосм. техн.— 1987.— № 2.— С. 19—30.
4. Сподинг Д. Б. Применение двухжидкостной модели турбулентности к проблемам горения // Там же.— 1987.— № 2.— С. 31—41.
5. Сподинг Д., Ауслендер Г., Сандерем Т. Расчет тепло- и массообмена в турбулентном пограничном слое на плоской пластине при больших числах Ma как при наличии, так и отсутствии химических реакций // Перевод ЦАГИ.— № 180.— 1966.
6. Кутателадзе С. С., Леонтьев А. И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое.— М.: Энергия, 1985.— 320 с.
7. Бояришинов Б. Ф., Волчков Э. П., Терехов В. И. и др. Турбулентный пограничный слой со вдувом реагирующих веществ // ФГВ.— 1981.— 17, № 6.— С. 21—28.
8. Беспалов И. В. Конвективный тепломассообмен на пористой пластине при горении в пограничном слое // Тепло- и массоперенос: Материалы IV Всесоюз. совещ.— Минск, 1972.— Т. 1, ч. 3.— С. 48—56.
9. Kulgein N. G. Transport processes in a combustible turbulent boundary layer // J. Fluid Mech.— 1962.— 12.— P. 417—437.
10. Джонс Д., Изаксон Л., Врик С. Турбулентный пограничный слой при наличии подвода массы, горения и градиента давления // РТК.— 1971.— 9, № 1.— С. 122—130.
11. Вулдридж К., Маззи Р. Измерение турбулентности в пограничном слое с подводом массы и горением // Там же.— 1966.— № 11.— С. 159—168.
12. Ueda T., Mizomoto M., Ikai S. Thermal structure of a flat plate turbulent boundary layer diffusion flame // Bul. of JSME.— 1983.— 26.— 399—405.
13. Ерошенко В. М., Кузнецов В. Е., Мотулевич В. П. и др. Экспериментальное исследование теплообмена в химически реагирующем пограничном слое // Теплофизические свойства и газодинамика высокотемпературных сред.— М.: Наука, 1972.
14. Батневский В. Л., Сергеев Г. Т. Тепло- и массообмен в реагирующем пограничном слое на пористой поверхности // Изв. АН БССР. Сер. энерг. наук.— 1974.— № 4.— С. 54—61.
15. Сергеев Г. Т. // Основы тепломассообмена в реагирующих средах.— Минск: Наука и техника, 1977.— 231 с.
16. Волчков Э. П., Терехов В. И. Турбулентный тепломассоперенос в пограничном слое при наличии химических реакций // Процессы переноса в высокотемпературных и химически реагирующих потоках.— Новосибирск, 1982.— С. 13—39.
17. Абрамович Г. Н., Крашенинников С. Ю., Секундов А. Н. и др. Турбулентное смешение газовых струй.— М.: Наука, 1974.
18. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.— М.: Наука, 1969.— 742 с.
19. Устименко Б. П., Змейков В. Е., Шишкин А. А. Термометрические методы исследования турбулентности в газовых потоках и факелах.— Алма-Ата: Наука, 1983.— 180 с.
20. Либрович В. Б., Лиенцин В. И. О балансе пульсационной энергии в реагирующих турбулентных потоках // ПМТФ.— 1975.— № 4.— С. 74—84.

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 25/VII 1991

УДК 614.841.12

А. Ф. Пантелеев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ИСПАРЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Экспериментально исследовано влияние электрического поля на скорость испарения органических горючих жидкостей (ацетон, этанол, пентан) и тепловой поток от пламени к их поверхности. Наличие неоднородного поля приводит к возрастанию скорости испарения при положительной и отрицательной полярности подавае-

мого на рабочий электрод напряжения. Показано, что величина теплового потока от пламени к поверхности жидкости в зависимости от направления поля как увеличивается, так и уменьшается. Указанные изменения теплового потока коррелируют с наблюдаемыми вариациями скорости испарения.

Электрическое поле может оказывать существенное влияние на процессы горения твердых, жидких и газообразных веществ [1, 2]. В работе [2] показано, что наложение электрического поля независимо от его направления приводит лишь к возрастанию скорости выгорания бензина, а в [3] выявлено, что в зависимости от полярности приложенного потенциала можно и увеличить и уменьшить скорость выгорания органических горючих жидкостей различных классов, что дает возможность эффективно управлять с помощью электрического поля процессом их сжигания. При этом возникает вопрос о механизме влияния поля. Априори электрическое поле может, с одной стороны, воздействовать на скорость испарения жидкости и, с другой — влиять на геометрию пламени, а через изменение теплового потока от него к поверхности жидкости, уменьшать или увеличивать скорость выгорания. Выявлению относительной роли указанных выше механизмов посвящена настоящая работа.

Опыты по влиянию электрического поля на среднюю скорость испарения горючих органических жидкостей проводили на экспериментальной установке, описанной в [3]. Жидкость заливали в заземленную металлическую чашку диаметром 20 и высотой 10 мм. Электрическое поле создавали наложением потенциала на металлический электрод в виде кольца диаметром 80 из проволоки толщиной 2 мм, расположенный на высоте 100 мм над верхним краем чашки с жидкостью. Среднюю скорость испарения жидкости определяли по времени ее полного испарения. Эксперименты проводили с веществами высокой степени чистоты (ацетон, этанол, пентан, рис. 1).

Видно, что наложение как положительного, так и отрицательного потенциала U приводит к возрастанию скорости испарения, причем, начиная с $U = 10$ кВ, скорость испарения $w_{\text{исп}}$ с увеличением U существенно возрастает. Отрицательный потенциал в несколько большей степени влияет на скорость испарения по сравнению с положительным. Химическая природа жидкости сказывается относительно слабо, хотя в случае пентана наблюдается большее различие между скоростями испарения при положительном и отрицательном потенциале при $U \geq 10$ кВ.

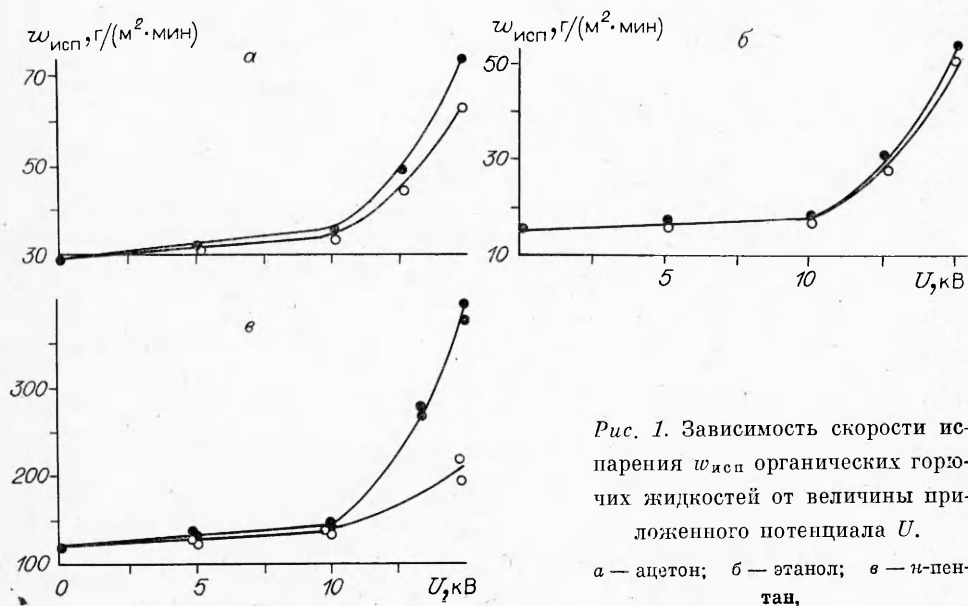


Рис. 1. Зависимость скорости испарения $w_{\text{исп}}$ органических горючих жидкостей от величины приложенного потенциала U .
а — ацетон; б — этанол; в — *n*-пентан.

Качественно эффект влияния электрического поля на скорость испарения может быть объяснен следующим образом. Согласно [2], во внешнем неоднородном электрическом поле молекулы диэлектрика, имеющие дипольный момент, будут перемещаться в пространственную область с более высокой напряженностью. При этом на каждый диполь действует сила $F = p_0 \left(\frac{dE}{dz} \right) \cos L$, где p_0 — дипольный момент молекулы, (dE/dz) — градиент электрического поля, L — угол между дипольным моментом молекулы и полем. В результате будет происходить направленное движение в газовой фазе молекул испаряющегося вещества от поверхности жидкости к кольцевому электроду, что и дает увеличение скорости испарения. Вероятно, поле влияет также и на процесс фазового перехода на поверхности раздела фаз, за счет чего и наблюдаются различия в скорости испарения при изменении полярности подаваемого потенциала. Наличие своеобразного порогового значения $U = 10$ кВ обусловлено, по-видимому, тем, что при этом потенциале средняя скорость направленного движения молекул жидкости в сторону кольцевого электрода становится сравнимой со скоростью их теплового движения.

В работе [3] возрастание скорости выгорания жидкостей обнаружено лишь для положительного потенциала. Если бы этот эффект был обусловлен влиянием поля на скорость испарения, то при отрицательном потенциале скорость выгорания была бы, на основании данных рис. 1, выше, чем при положительном, что противоречит полученным в [3] экспериментальным данным. Таким образом, влиянием поля на скорость испарения нельзя объяснить его воздействие на скорость выгорания органических горючих жидкостей.

В работе [3] было отмечено изменение геометрии пламени при наложении электрического поля за счет эффекта «ионного ветра», в результате чего может произойти увеличение или уменьшение теплового потока от пламени к поверхности жидкости с соответствующим увеличением или уменьшением скорости выгорания. Для проверки этого предположения проведена качественная оценка изменения теплового потока на поверхность раздела фаз путем измерения температуры жидкости на определенной глубине. Выбор точки измерения обусловлен необходимостью уловить разницу температур в случаях положительной и отрицательной полярности подаваемого напряжения и в отсутствие поля. В предварительных опытах, когда термопару располагали непосредственно у поверхности горения, температура при наличии поля и без него была практически одинаковой и равной температуре кипения жидкости (до момента выхода спая термопары за пределы жидкости за счет ее выгорания)!

В данной серии опытов использовали заземленную металлическую чашку диаметром 20 и глубиной 50 мм. Спай термопары располагали у дна. Напряжение подавали на электрод, выполненный в виде описанного выше кольца, расположенный на высоте 100 мм от верхнего края чашки. Показания термопары регистрировали на потенциометре.

На рис. 2 приведены типичные временные зависимости температуры жидкости (ацетона) у дна чашки в процессе сгорания при наложении электрического поля, а также без него. Видно, что при положительной полярности подаваемого напряжения прогрев жидкости заметно ускоряется, а при отрицательной замедляется по сравнению со

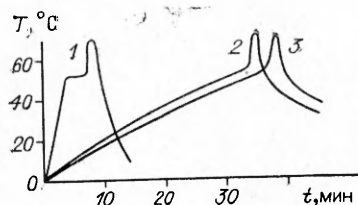


Рис. 2. Типичные временные зависимости сигнала с термопары при наложении электрического поля и без поля в случае горения ацетона.

1 — $U = +3$ кВ; 2 — $U = 0$ кВ; 3 — $U = -3$ кВ.

случае отсутствия поля. Это говорит об изменении теплового потока от пламени к жидкости при наложении электрического поля. Данный результат качественно согласуется с данными работы [3], в которой обнаружена существенная деформация фронта пламени при соответствующем изменении средней скорости выгорания.

Качественно наблюдаемый эффект может быть объяснен следующим образом. Как известно [4], во фронте пламени имеются тяжелые положительные ионы, которые по массе превосходят присутствующие в этой же области пламени отрицательные ионы. При наложении поля, в соответствии с [1, 2], возникает «ионный ветер», т. е. направленное движение газа, вызываемое увлечением движущимися ионами электрически нейтральных молекул. Направление «ионного ветра» совпадает с направлением движения более тяжелых ионов (в данном случае положительных). При подаче на кольцевой электрод положительного потенциала «ионный ветер» должен деформировать пламя [3], приближая его к поверхности жидкости. За счет этого возрастает тепловой поток на поверхность жидкости и увеличивается скорость ее выгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Д., Вейнберг Ф. Электрические аспекты горения.— М.: Энергия, 1976.
2. Степанов Е. М., Дьячков Б. Г. Ионизация в пламени и электрическом поле.— М.: Металлургия, 1968.
3. Гуляев Г. А., Попков Г. А., Шебеко Ю. Н. и др. Тез. докл. науч.-практ. семинара по электрофизике горения.— Караганда, 1988.— С. 21; ЖФХ.— 1989.— 63, № 9.
4. Фялков А. Б., Фялков Б. С. Ионный состав пламени пропан — бутан — воздух при пониженном давлении // ФГВ.— 1985.— 21, № 3.— С. 32.

г. Балашиха

Поступила в редакцию 3/IV 1990

УДК 614.841.12

А. Ф. Пантелеев, Г. А. Попков, С. Г. Цариченко, Ю. Н. Шебеко

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛАМЕНИ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА

Экспериментально исследовано влияние переменного электрического поля (частота 50 Гц) на скорость распространения пламени по поверхности резинового кабеля. Найдено, что зависимость скорости распространения от величины приложенного электрического потенциала имеет максимум при $U = 10-15$ кВ для аргоно- и азотнокислородной окислительной среды. Наблюдаемые эффекты объяснены в рамках представления о влиянии «ионного ветра» на процесс горения.

Как известно [1, 2], электрическое поле способно влиять на процессы горения веществ в различных агрегатных состояниях. Причем в зависимости от геометрии и напряженности поля возможна как интенсификация, так и подавление горения. Наибольшее число имеющихся в литературе работ посвящено газофазным пламенам (см., например, [3—5]), в существенно меньшей степени изучены вопросы воздействия полей на пламена твердых топлив. Следует отметить работу [6], в которой найдено, что наложение электрического поля может существенно увеличить скорость распространения пламени по поверхности твердого топлива, в то время как уменьшение скорости пламени возможно только в замкнутых системах. Отмечено, что скорость пламени в присутствии поля может быть увеличена до 200 раз, а в незамкнутой системе замедления пламени получить не удается. В полужамкнутой системе скорость пламени можно уменьшить до 10 раз.

Качественно близкие к этому результаты получены в ряде работ, цитированных в [1]. Необходимо отметить также работы [7, 8], где