

PHYSICS AND MATHEMATICS

Барташевская Л.И.

доцент, кафедра физики

Зайцев А.С.

доцент, кафедра физики

Морозова Т.В.

старший преподаватель, кафедра физики

УГЛЕВОДОРОДНОЕ ПЛАМЯ, ГОРЯЩЕЕ ПРИ НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ, В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

HYDROCARBONIC FLAME, BURNING AT LOW PRESSURE, WITHIN ELECTRIC FIELD

Bartashevskaya L.I.

Associate Professor, Department of Physics

Zaicev A.S.

Associate Professor, Department of Physics

Morozova T.V.

Senior Lecturer, Department of Physics

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены результаты экспериментов, приведенных с ацетилено-кислородными пламенами на встречных струях, горящими при давлении 250-300 Па без воздействия электрического поля и с наложением электрического поля. Наложение электрического поля приводит к увеличению концентрации свободных электронов в плазме пламени, не изменяя практически их среднюю энергию. Приведены зависимости концентрации свободных электронов от величины разрядного тока, от соотношения расходов окислителя и горючего в невозмущенном пламени, и в пламени с электрическим полем.

ABSTRACT

Results of experiments carried out with oxyacetylene flames within countercurrent flows at 250 to 300Pa without effect of electric field and with electric field imposition have been considered. Electric field imposition results in the increase of concentration of free electrons within flame plasma making practically no changes in their medium energy. Dependences of concentration of free electrons on discharge-current magnitude as well as on consumption of oxidizer and fuel within undisturbed flame and flame with electric field are demonstrated.

Ключевые слова: плазма, горение, пламя.

Keywords: plasma, combust, flame.

Электрические свойства углеводородных пламен составляют неотъемлемую часть общих физико-химических свойств этого важного объекта, широко используемого в промышленности, особенно в топливной. Наличие в плазме пламени заряженных частиц, накладывает отпечаток на кинетику процессов, в том числе кинетику сажеобразования.

Изучение свойств свободных электронов и природы ионизации позволяют глубже проникнуть в процессы, протекающие в пламенах.

В настоящей работе исследовалось ацетилено-кислородное пламя, горящее на встречных струях при давлении $p=0,25\div 0,3$ кПа и влияние электрического поля на это пламя.

Как и в пламенах, горящих с предварительно перемешанной смесью, реакционная зона пламени на встречных струях представляла собой диск, диаметр которого больше диаметра горелки, а его толщина составляла $30\div 40$ мм в зависимости от давления, состава смеси и скорости потоков.

Электрические измерения осуществлялись цилиндрическими зондами, изготовленными из платиновой проволоки диаметром от 50 до 100 мкм и длиной $5\div 10$ мм.

Электрические свойства плазмы пламени изучались на основе экспериментальных данных о функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) измеренной зондовым методом, в основе которого лежит работа Дрювестейна [1], установившего, что независимо от вида функции распределения электронов по энергиям $f(eU)$ справедлива формула

$$f(eU) = \frac{2}{e^2 S n} \sqrt{\frac{2mU}{e}} \frac{d^2 I}{dU^2}, \quad (1)$$

где e – элементарный заряд; m – масса электрона; S – площадь рабочей поверхности зонда; n – концентрация электронов; I – электронный ток через зонд; U – потенциал зонда относительно невозмущенной плазмы.

Описание экспериментальной установки, используемой в данной работе приведено в [2,3].

На рис.1 приведены экспериментальные ФРЭЭ (1), полученные в ацетилено-кислородном пламени, горящем на встречных струях, при давлении $p=0,3$ кПа с соотношением расхода кислорода к расходу ацетилена 2,1:1 и одинаково нормированные функции Максвелла (2): а) – в реакци-

онной зоне, б) - ацетиленовой зоне и в) - кислородной зоне.

Как в реакционной зоне, так и в зонах с преобладанием ацетилена и кислорода эксперимен-

тальные ФРЭЭ отличаются от ФРЭЭ Максвелла. В экспериментальных ФРЭЭ явно выражен дефицит высокоэнергетических электронов.

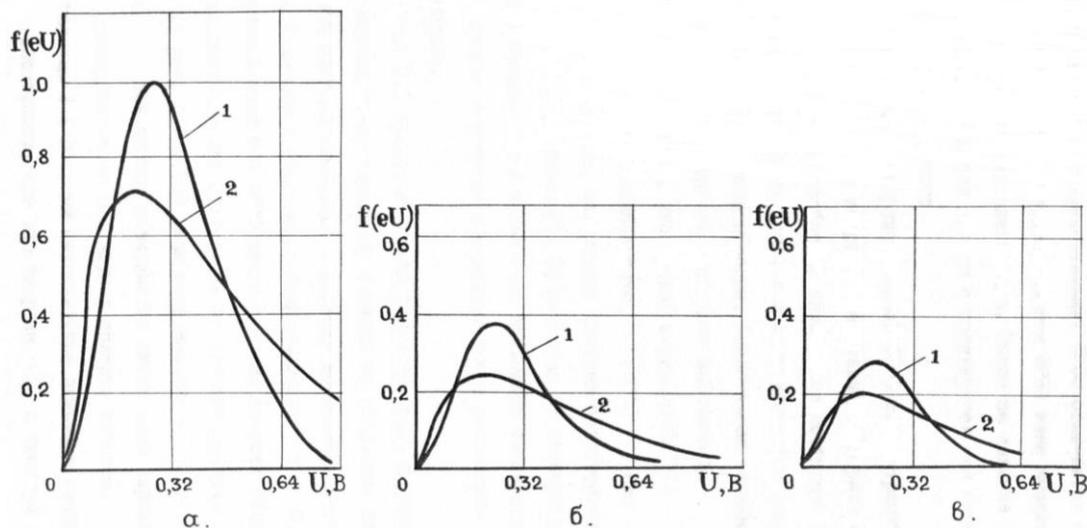


Рис.1. Функция распределения электронов по энергии в пламени на встречных струях.

Основной причиной, вызывающей отклонения экспериментальной ФРЭЭ от Максвелловских, являются неупругие соударения электронов с молекулами газов пламени. Из единого равновесного ансамбля свободных электронов уходят высокоэнергетические электроны из-за потери энергии на возбуждение колебательных и электронных уровней молекул.

Вторая особенность экспериментальной ФРЭЭ относится к низкоэнергетической области. Наблюдаемый недостаток электронов в этой области количественно оценить трудно вследствие большой ошибки экспериментального определения ФРЭЭ вблизи потенциалов зонда, мало отличающихся от потенциалов пространства.

Так как экспериментальная ФРЭЭ отличается от функции Максвелла, то для характеристики теплового движения свободных электронов следует ограничиться их средней энергией, величину которой можно найти из выражения

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{e \int_0^{\infty} U \cdot f(eU) dU}{\int_0^{\infty} f(eU) dU} \quad (2)$$

На основе экспериментально измеренных ФРЭЭ определялось и значение концентрации свободных электронов по формуле

$$n = A \int U^{1/2} \frac{d^2 I}{dU^2} dU \quad (3)$$

где A – постоянная, определяемая предварительной калибровкой измерительной системы.

Влияние электрического поля на углеводородные пламена изучалось многими авторами [4,5]. Подавляющее количество работ относится к пламенам атмосферного давления.

В данной работе приведены результаты исследований влияния электрического поля на ацетилено-кислородное пламя низкого давления. При этом напряженность поля была значительно меньше напряженности, при которой возникает пробой.

К матрицам горелок, которые были электрически изолированы, прикладывалось поле от источника постоянного тока с регулируемым напряжением, максимальная величина которого составляла 120 В.

На рис. 2 представлены графики экспериментальных ФРЭЭ, полученные в пламени без воздействия электрического поля и с наложением электрического поля.

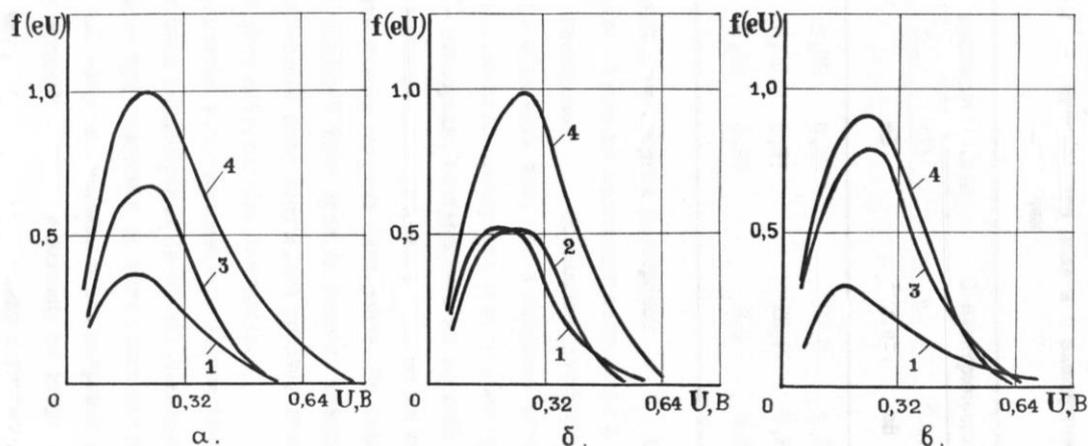


Рис. 2. ФРЭЭ в пламени без электрического поля (1) и в пламени с наложением поля (2,3,4). а, б, в – середина, верхний и нижний край реакционной зоны.

Во всех случаях кривые 1 соответствуют ФРЭЭ, полученной в невозмущенном пламени, кривые 2 – ФРЭЭ для пламени с наложением поля ($I=30$ мкА), кривые 3 – ФРЭЭ пламени при $I=45$ мкА, 4 – ФРЭЭ пламени при $I=20$ мкА.

Энергия, на которую приходится максимум во всех экспериментальных ФРЭЭ, почти одна и та же. Это может служить подтверждением того, что внешнее поле в наших опытах не сообщает в заметных размерах дополнительную энергию свобод-

ным электронам. Средняя энергия во всех случаях так же не испытывает значительных изменений.

В таблице 1 представлены значения энергий ϵ_{max} , на которые приходятся максимумы ФРЭЭ, средние энергии электронов $\langle \epsilon \rangle$ и концентрации электронов n в различных зонах пламени (ацетиленовой - $h=20$ мм; реакционной - $h=40$ мм и кислородной - $h=60$ мм) без электрического поля и с электрическим полем. Давление поддерживалось равным $p=260$ кПа, отношение расхода кислорода к расходу ацетилена составляло 2,3:1.

Таблица 1.

Энергия и концентрация свободных электронов в пламени без электрического поля и с электрическим полем

Высота, мм	Без электрического поля			С электрическим полем		
	n отн. ед.	ϵ_{max} эВ	$\langle \epsilon \rangle$ эВ	n отн. ед.	ϵ_{max} эВ	$\langle \epsilon \rangle$ эВ
20	14,3	0,26	0,33	22,0	0,28	0,36
40	14,5	0,26	0,31	22,2	0,28	0,35
60	16,8	0,22	0,29	9,3	0,28	0,29

В реакционной зоне энергия электронов ϵ_{max} больше, чем в кислородной зоне. Такое же положение отмечается и в отношении средней энергии электронов. Охлаждение электронов в кислородной зоне можно объяснить тем, что в процессе столкновения происходит перенос энергии электронов к молекулам сравнительно холодного газа – кислорода, поступающего из верхней горелки.

Как видно из таблицы 1 положение электрического поля не даёт значительного увеличения энергии электронов в реакционной зоне и остаётся без изменения в кислородной зоне. Но неожиданным результатом в рассматриваемых опытах является возрастание концентрации свободных электронов в реакционной зоне пламени при наложении электрического поля [4,5].

В таблице 2 собраны сведения о концентрации свободных электронов и их средней энергии в пламени на встречных струях, горящем при раз-

личных расходах окислителя и горючего без возмущения электрическим полем и с наложением электрического поля.

В последней колонке приведены значения разрядных токов, соответствующие максимальным

значениям $\frac{\Delta n}{n}$, где Δn - превышение концен-

трации электронов в пламени, возмущенном полем, над концентрацией электронов в невозмущенном пламени.

Как видно при увеличении расхода горючего максимальное значение $\frac{\Delta n}{n}$, а также разрядный

ток, на который приходится этот максимум, существенно увеличивается. Средняя энергия свободных электронов при этом растёт, но в значительно меньшей степени.

Средняя энергия, концентрация свободных электронов в пламени без электрического поля и с электрическим полем

Отношение расходов окислителя и горючего	Зоны пламени	Без поля		С наложением электрического поля			
		концентрация электронов n , (отн. ед.)	средняя энергия $\langle \varepsilon \rangle$, эВ	концентрация электронов n , (отн. ед.)	средняя энергия $\langle \varepsilon \rangle$, эВ	максимальное значение $\frac{\Delta n}{n}$	разрядный ток I , мкА
1	реакц. з	11	0,37	85	0,49	7,7	125
1,3	”	20	0,36	67	0,43	3,3	80
1,5	”	12	0,36	40	0,38	3,3	40
1,6	”	15	0,30	46	0,38	3,0	40
2,0	”	17	0,33	35	0,37	2,0	35
2,1	”						
2,3	”	13	0,32	23	0,36	1,8	10

Для стационарного состояния без учёта диффузии скорость ионизации q равна скорости рекомбинации

$$q = \alpha n^2 \quad (4)$$

Если к пламени прикладывается внешнее электрическое поле, то без учёта диффузии и с учётом того, что часть носителей электрического поля уводится полем на электроды скорость ионизации q имеет вид

$$q = \alpha n^2 + \frac{I}{n l S}, \quad (5)$$

где I - сила тока; l - расстояние между электродами; S - площадь поверхности электродов; e - элементарный заряд; α - коэффициент рекомбинации; n - концентрация свободных электронов.

Из (5) следует, что наложение внешнего электрического поля должно привести к уменьшению концентрации носителей тока, а, следовательно, и

их концентрации, по сравнению с их концентрацией в невозмущенном пламени.

Но опыты по изучению зависимости изменения концентрации свободных электронов от величины разрядного тока в пламени показали, что несмотря на то, что энергия, на которую приходится максимум ФРЭЭ, во всех опытах рассматриваемой серии сохраняется, а средняя энергия свободных электронов почти не изменяется, концентрация свободных электронов при увеличении разрядного тока увеличивается, а по мере дальнейшего возрастания разрядного тока концентрация свободных электронов начинает убывать.

В таблице 3 приведены значения концентрации свободных электронов в пламени в зависимости от величины разрядного тока. Пламя горело при давлении $p=270$ кПа с отношением расхода кислорода к расходу ацетилена 1,67:1.

Таблица 3.

Разрядный ток и концентрация свободных электронов

Номер опыта	Разрядный ток, мА	Концентрация электронов $n \cdot 10^{-14} \text{ м}^{-3}$
1	0	2
2	0,02	2,7
3	0,04	2,4
4	0,06	1,6
5	0,08	1,2

Искать объяснение явления увеличения концентрации свободных электронов в реакционной зоне пламени под действием электрического поля следует в особых свойствах плазмы углеводородных пламен и возможно с предположением о существовании в них ридберговских молекул.

Список литературы

1. Druyvesteyn M.N. Der Nidervoltbogen // Z.s.Phys. – 1930. – Bd. 64, № 11-12. – S. 781-797.
2. Зайцев А.С., Китова С.В., Твердохлебов В.И. и др. // Теплофизические свойства низкотемпературной плазмы. – М.: Наука, 1976.
3. Барташевская Л.И., Зайцев А.С., Твердохлебов В.И. ТВТ, 1980, 18, 3, 638.

4. Лаутон Дж., Вайтинберг Ф. Электрические аспекты горения. – М.: Энергия, 1976. – 284 с.

5. Calcote H.P. Mechanism for formation of ions in flames // Combust and flame. - 1957. – V.1, №4. – P. 385-403.

6. Барташевская Л.И., Зайцев А.С., Твердохлебов В.И., Твердохлебова Л.С. О механизме ионообразования в углеводородных пламенах // Тезисы докладов семинара по электрофизике горения, 20-23 мая 1980 г. – Караганда, 1980. – с. 17 – 19.

7. Барташевская Л.И., Зайцев А.С., Твердохлебов В.И. Возмущение плазмы ацетиленокислородного пламени низкого давления электрическим разрядом // Теплофизика высоких температур. – 1980. Т. 18. Вып. 3. – с. 638 – 639.

8. Барташевская Л.И., Зайцев А.С. Явление увеличения концентрации электронов в ацетиленокислородном пламени, вызванное электрическим полем // Электрофизика горения: Тезисы докладов

научно-практического семинара по электрофизике горения, 11 – 15 мая 1987 г. – Караганда, 1987. с. 44 – 45.

Бунтова Е.В.

канд. пед. наук, доцент кафедры «Физика, математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО Самаркой государственной сельскохозяйственной академии, г. Самара

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРОНОМА

A STUDY OF QUANTITATIVE INFORMATION, METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS IN PRACTICE AGRONOMIST

Buntova E. V.

cand. ped. sciences, associate Professor of "Physics, mathematics and information technology" doctor of the Samarka state agricultural Academy, Samara

АННОТАЦИЯ

В работе поставлена проблема применения современных методов математической статистики в процессе анализа данных научных исследований. Указаны основные причины возникшей проблемы. На примере анализа данных научных исследований агрономов показано применение некоторых методов математической статистики. В частности рассмотрены методы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, которые имеют место в практической деятельности специалиста - агронома при исследовании связи между случайными величинами.

ABSTRACT

In work the problem of application of modern mathematical statistics methods in data mining research. Are the main causes of the problem. By analyzing data of scientific research agronomists shows the use of some methods of mathematical statistics. In particular, the article considers methods of dispersion, correlation and regression analyses that take place in the practice of expert agronomist in the study of relationships between random variables.

Ключевые слова: дисперсионный анализ, фактор, влияние, процесс, урожайность, взаимодействие, коэффициент корреляции, регрессионная модель.

Keywords: analysis of variance, factor, influence, process, productivity, connectivity, correlation coefficient, regression model.

В профессиональной деятельности экономиста, инженера, агронома постоянно возникает необходимость получать информацию и извлекать из нее ответы на многочисленные вопросы.

Любое решение, которое принимает специалист, требует применения методов обработки результатов наблюдений. Например, приведет ли внедряемое новшество к повышению качества продукции, зависит ли наблюдаемый процесс от заданного фактора, существует ли связь между исследуемыми величинами или насколько сильна имеющаяся связь.

В настоящее время, несмотря на неоспоримую значимость математической статистики, многие выпускники высшей школы, инженеры, ученые имеют достаточно смутное представление о современных методах математической статистики. Для аспирантов математическая статистика является чаще всего «красивой рамкой» для диссертации.

Одна из причин возникшей проблемы – это ограниченное количество аудиторных часов, отведенных учебными планами вузов на изучение математической статистики. Другая причина – огромное количество литературы по математической статистике, например, более миллиона работ по

статистическим методам, и разноречивой терминологии.

Таким образом, возникает проблема более тщательного подбора материала к преподаванию математической статистики для различных направлений подготовки специалистов. Из большого количества современных методов математической статистики следует выбрать те методы исследования количественной (качественной) информации о процессе, объекте или явлении, которые имеют наибольшее значение в работе специалиста определенного направления.

Задача состояла в том, чтобы исходя из часто решаемых задач практики специалистами направления подготовки – «агрономия», рассмотреть методы математической статистики, имеющие наибольшее значение в практической деятельности агронома.

Рассмотрим некоторые методы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, которые имеют место в практической деятельности специалиста - агронома при исследовании связи между случайными величинами.

Методами дисперсионного анализа устанавливается наличие влияния заданного фактора на изучаемый процесс, отображаемый наблюдаемой