

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Федяй Владислав Евгеньевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Стабилизация диффузионного факела электрическим полем**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18301

**Научный руководитель:**

д. ф.- м. н., А. В. Тупикин

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

к. ф.- м. н., Я. В. Гетманов

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к. т. н., В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск, 2019

## **Аннотация**

Целью работы являлось изучение влияния электрического поля на диффузионный факел пропана. Для выполнения поставленной цели была использована горелка с подсоединенными к ней электродами, на которые подавалось напряжение 1000 В. Опыты проводились для различных объемных расходов пропана как при воздействии поля, так и без поля. Были получены значения высоты подъема пламени и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени. Исходя из полученных данных был сделан вывод о влиянии электрического поля на диффузионный факел пропана.

Результаты могут быть использованы для улучшения эффективности работы горелочных устройств.

Ключевые слова: воздействие электрического поля, высота подъема факела, пропан, стабилизация диффузионного факела.

## **Оглавление**

Введение.....	4
Теоретическая часть.....	5
Экспериментальная установка .....	6
Метод проведения эксперимента.....	7
Экспериментальные данные.....	8
Выводы .....	11
Список литературы .....	11

## 1. Введение

В последние годы все значительнее становится проблема энергоэффективности, связанная с истощаемостью и невозобновляемостью природных ресурсов. Кроме того, повышаются экологические требования к уровню содержания вредных веществ в продуктах сгорания. В связи с этим интернациональное энергетическое агентство (International Energy Agency), в состав которого входят США, страны ЕС, Австралия, Япония и др., поставило задачу к 2050г. использовать в качестве энергоносителя до 80% возобновляемые источники энергии и вдвое сократить выброс в атмосферу  $\text{CO}_2$ , как показателя эмиссии вредных веществ. Таким образом, становится актуальным совершенствование уже известных и создание новых методов, позволяющих улучшить процессы сжигания топлива. Одним из перспективных методов воздействия на горение является применение внешних электрических полей, так как углеводородные пламена обладают значительной концентрацией носителей зарядов, где отрицательный заряд переносится в основном электронами, а положительный-ионами.

Целью данной работы являлось изучение влияния электрического поля на диффузионное пламя пропана.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выбрать расходомер в соответствии с величиной расхода пропана в условиях эксперимента;
2. Освоить LaVision's Imager camera и сопутствующее программное обеспечение;
3. Провести измерения высоты подъема пламени при установленных параметрах эксперимента;
4. Выполнить анализ полученных данных и оценить погрешности.
5. Сделать выводы о проведенном исследовании.

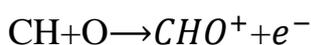
## 2. Теоретическая часть

Первым продемонстрировал наличие электрических свойств у пламени Уильям Гилберт (конец 16-ого века). Как оказалось, электрические свойства пламени сильно зависят от рода топлива, наиболее чувствительными к электрическому полю являются углеводородные. Это связано с наличием реакций хемоионизации (явление одновременно открыли Calkote Н.Ф. и Аравин Г.С), приводящим к сверхравновесным концентрациям зарядов.

Модель простой реакции хемоионизации выглядит (см., например, [1]) следующим образом:



Где А, В и С – некоторые молекулы или радикалы,  $D^+$  – ион,  $e^-$  – свободный электрон. В пламени подобная реакция, например, такая:



При этом достаточно быстро ион  $CHO^+$  вступает в продолжение реакционных цепочек:



Существует множество различных цепей реакций с образованием ионов (в том числе и отрицательных), в углеводородных пламенах идентифицировано около 50 типов различных ионов. Таким образом, создается среда с разной подвижностью положительных и отрицательных зарядов, из-за чего под воздействием внешнего электрического поля во фронте горения возникает гидродинамический дисбаланс.

### 3. Экспериментальная установка

На рис. 1 приведена принципиальная схема экспериментальной установки.

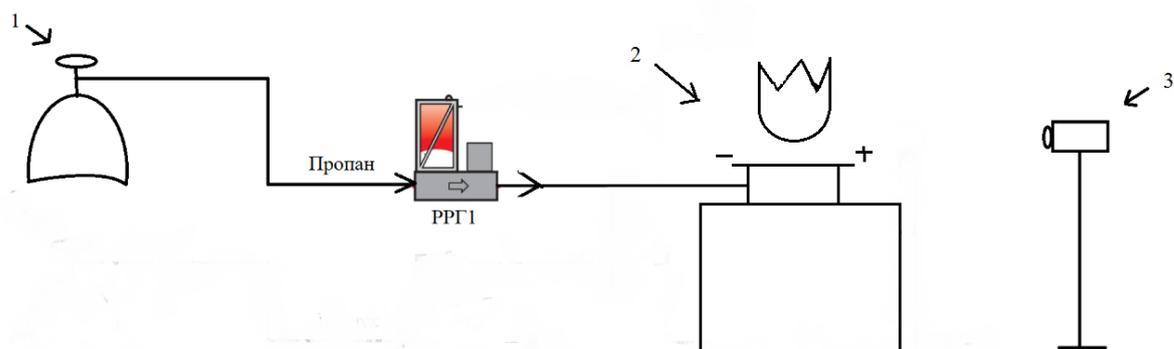


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

В экспериментальной установке (рис. 1): PPG1 – регулятор расхода газа для пропана, в эксперименте использовался расходомер и регулятор расхода газа серии EL-FLOW с пропускной способностью 0,2 л/с и откалиброванный на метан, 1 – газовый баллон со сжатым пропаном СЗН8 2 – горелка, схема устройства представлена на рисунке 2: вокруг диэлектрического сопла на заданной высоте расположены 8 тонких электродов, на которые подается напряжение попарно и переключается по кругу, 3 – LaVision's Imager camera,

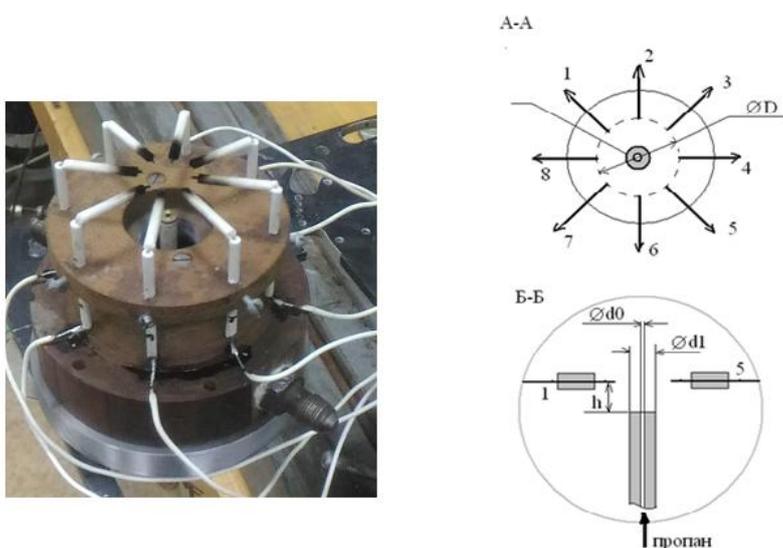


Рис. 2. Схема устройства горелки

#### 4. Метод проведения эксперимента

В эксперименте требовалось устанавливать и контролировать расходы пропана. Для решения данной задачи был использован расходомер. Каждый такой расходомер откалиброван на конкретный газ, то есть получаемые дынные расхода соответствуют расходу именно этого газа. При выборе расходомера имелось три расходомера: откалиброванный на пропан с максимальной пропускной способностью 0,01 л/с, откалиброванный на метан с 0,2 л/с и откалиброванный на воздух с 2,5 л/с. Был выбран откалиброванный на метан расходомер, так как откалиброванный на пропан не подходил для пропана в условиях данного эксперимента из-за низкой пропускной способности. Для верных показаний расхода пропана на метановом расходомере был произведен перерасчет показаний в соответствии с [3].

Для различных величин расхода пропана были проведены измерения как при подаче напряжения на электроды, так и без. Величина напряжения составляла 1000 В. Для каждого состояния производилась серия из 20 снимков(рис.3). С помощью снимков были найдены значения расстояния от нижних и верхних точек в основании пламени до сопла, а также расстояние между этими точками. Далее происходило осреднение этих значений.

В работе требовалось построить зависимости от безразмерного параметра  $\Psi$ , который вычисляется по формуле:

$$\Psi = \sqrt{\frac{\rho_{\text{пр}}}{\rho_{\text{воз}}}} \frac{v}{d} \cdot \tau$$

где  $\rho_{\text{пр}}$ -плотность пропана,  $\rho_{\text{воз}}$ -плотность воздуха,  $d$  – диаметр сопла,  $\tau$ -характерное время горения. Значение  $\tau$  было взято из работы [2] для пропановоздушной смеси при температуре 20 °С.

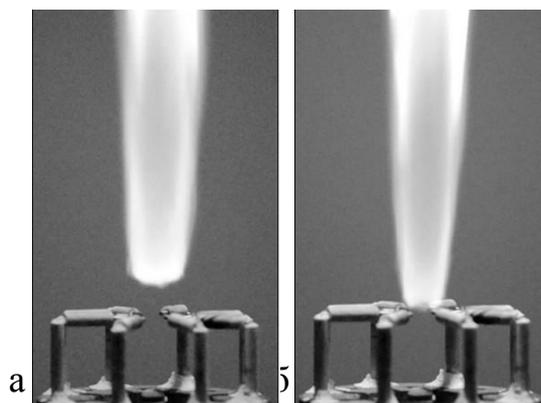


Рис. 3. Поднятый факел в электрическом поле переменной конфигурации: а-без поля, б-с полем

## 5. Экспериментальные данные

В данном разделе будут представлены полученные значения высоты подъема пламени и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени при различных целевых параметрах. По полученным данным будет установлена интересующая зависимость и будут приведены значения отклонений экспериментальных данных от полученной зависимости – погрешности.

Объемный расход, л/с	Н, мм	$\Delta H$ , мм
0,027	$3,8 \pm 0,3$	$0,15 \pm 0,05$
0,032	$4,5 \pm 0,3$	$0,16 \pm 0,05$
0,036	$5,0 \pm 0,5$	$0,26 \pm 0,05$
0,045	$6,2 \pm 0,6$	$0,43 \pm 0,06$
0,050	$6,8 \pm 0,5$	$0,54 \pm 0,05$
0,054	$8,2 \pm 0,7$	$0,55 \pm 0,06$
0,059	$9,2 \pm 0,8$	$0,48 \pm 0,08$
0,063	$9,7 \pm 0,8$	$0,58 \pm 0,09$
0,068	$11,4 \pm 0,9$	$0,68 \pm 0,1$
0,071	$14,0 \pm 0,8$	$1,12 \pm 0,1$

Таблица 1. Средние значения высоты и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени без поля.

Объемный расход, л/с	H,мм	ΔH,мм
0,027	3,9±0,4	0,13±0,04
0,032	5,1±0,4	0,18±0,04
0,036	6,4±0,5	0,30±0,05
0,045	8,3±0,5	0,39±0,05
0,050	8,2±0,7	0,37±0,06
0,054	8,2±0,7	0,34±0,06
0,059	8,2±0,8	0,29±0,07
0,063	8,2±0,6	0,32±0,08
0,068	8,0±0,9	0,38±0,07
0,071	8,2±0,7	0,40±0,08

Таблица 2. Средние значения высоты и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени с полем.

Погрешность измерительного прибора РРГ1 (рис. 1) составляет 1%. Погрешности остальных величин были найдены по формуле среднеквадратичного отклонения.

В соответствии с полученными данными была построена зависимость значения высоты подъема, отнесенного к диаметру сопла подачи пропана от параметра  $\Psi$  без поля и с полем. Рисунок 4 показывает эту зависимость.

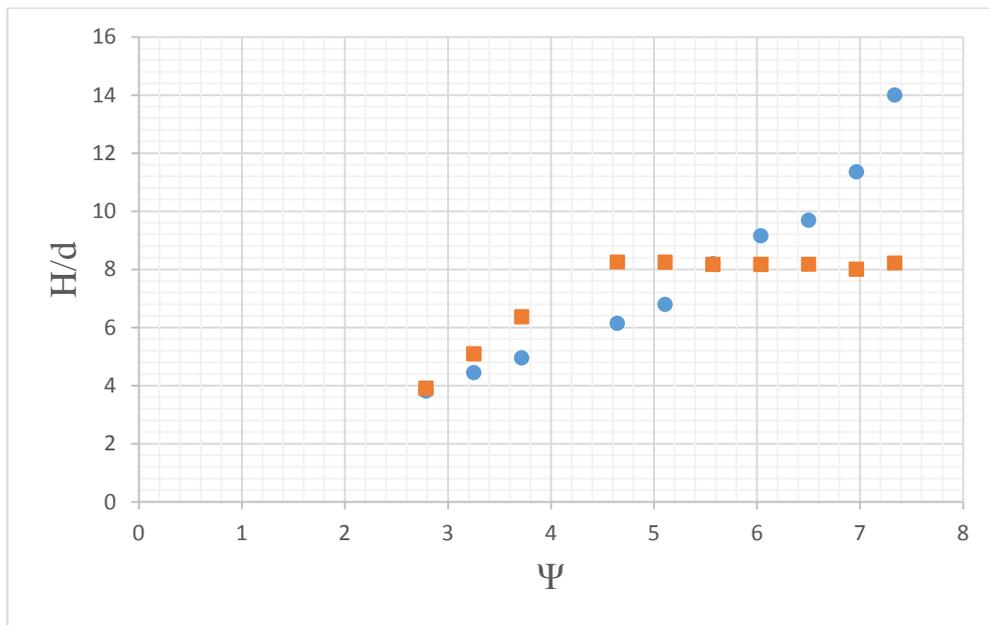


Рис.4. Зависимость значения высоты подъема, отнесенного к диаметру сопла подачи пропана от параметра  $\Psi$  без поля и с полем.

Также был построен график зависимости расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени, отнесенного к высоте подъема от параметра  $\Psi$  без поля и с полем. Данный график приведен на рис. 5.

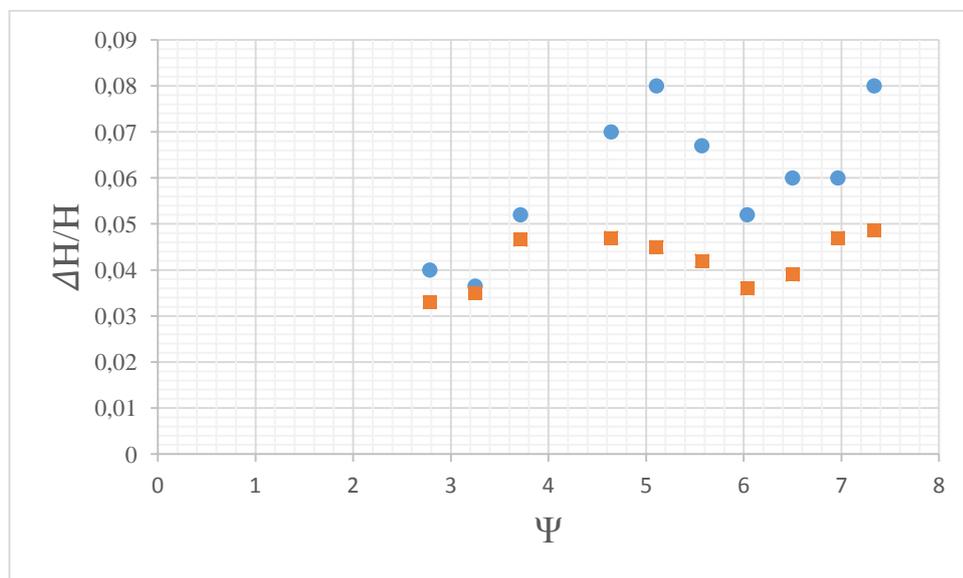


Рис.5. зависимости расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени, отнесенного к высоте подъема от параметра  $\Psi$  без поля и с полем.

## **6. Выводы**

Таким образом, для различных величин расхода пропана были проведены измерения значения высоты подъема факела и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени при воздействии поля и без поля. Были установлены зависимости значения высоты подъема, отнесенного к диаметру сопла подачи пропана и расстояния между верхней и нижней точкой в основании пламени, отнесенного к высоте подъема, от параметра  $\Psi$ . Полученные данные свидетельствуют о том, что воздействие поля на поднятый диффузионный факел пропана приводит к стабилизации пламени в плоскости электродов в широком диапазоне скоростей истечения топлива.

## **7. Список литературы**

1. Colcote H.F. Mechanism of the formation of ions of flames // *Combustion & Flame* 1979 v.1. p. 385–403
2. В. К. Баев, П. К. Третьяков. Характерные времена горения топливно-воздушных смесей // *Физика горения и взрыва*. Т. 4, № 3. 1968. – С. 367 – 376.
3. Общая инструкция по цифровым приборам измерения и регулирования массового расхода / давления (лабораторные / IN-FLOW): [Электронный ресурс]. URL: <https://www.massflow.ru/u/www/files/catalog/917022rus.pdf>

