

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ГОРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

А. П. Сологубов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. И. Злотников

В ранее проведенных исследованиях автором данной работы было изучено влияние электростатического поля на процесс горения бензина [1]. Проведенные эксперименты показали, что в зависимости от направления электрического поля характер горения принципиально изменяется. В частности, было установлено, что при наложении

на пламя электростатического поля, направленного вертикально вверх, полнота сгорания бензина приближается к 100 %, что проявляется в полном исчезновении копоти, характерной для бензина, горящего без поля. Если направление поля поменять на обратное, то факел пламени резко расширяется и переходит от ламинарного к турбулентному, что приводит к неполному сгоранию бензина и образованию копоти.

Сложное влияние электрического поля на процесс горения было объяснено протеканием и взаимодействием трех основных процессов:

- движение электронов в направлении положительного полюса;
- движение положительных ионов в направлении положительного полюса;
- конвекционный поток раскаленных газов пламени, всегда направленный вверх.

При этом влияние потоков отрицательных и положительных частиц на процесс горения неодинаков, так как легкие электроны характеризуются во много раз большей подвижностью в электрическом поле, чем тяжелые положительные ионы.

Цель данной работы – дальнейшее экспериментальное изучение динамики горения бензина и этилового спирта в электрическом поле, а также количественное определение зависимости скорости горения этих жидкостей от направления и величины электростатического поля.

В качестве источника напряжения использовали аппарат для аэроионизации воздуха АФ-3, который позволяет получать выходное напряжение до 50 кВ. Воздействие электрического поля на процесс горения изучали на специальном стенде, основная часть которого представляет собой две плоскопараллельные горизонтальные пластины, между которыми создавалось электростатическое поле и располагалась кювета с горящей жидкостью [1]. В качестве основной количественной характеристики процесса горения использовали массовую скорость горения (выгорания) [2], методика определения которой заключалась в следующем. Исследуемые жидкости заливали в металлическую емкость в количестве 5 мл, взвешивали, помещали на испытательный стенд, поджигали и включали электрическое поле заданной величины и направления. Процесс горения продолжался 5 мин, после чего поле отключали, пламя гасили и взвешивали емкость с остатками жидкости. Массовую скорость горения U_m рассчитывали по формуле:

$$U_m = \frac{m}{t \cdot S},$$

где m – масса сгоревшей жидкости, г; t – время горения, с; S – площадь поверхности горения, м².

На рис. 1 показано влияние величины и направления электрического поля на скорость горения этилового спирта. Как видно из рис. 1, если электрическое поле направлено вниз, то оно почти не влияет на скорость горения (кривая 1). Это вероятно связано с тем, что поток положительных ионов направлен вниз, а конвекционный поток – вверх. Потоки компенсируют друг друга, и время нахождения ионов в зоне горения практически не меняется; соответственно, не меняется и скорость их окисления, т. е. скорость горения.

В противоположном случае (кривая 2) поток ионов и конвекционный поток направлены вверх. Потоки складываются, продукты горения быстрее уносятся из зоны горения, на их место поступает новое вещество, и скорость сгорания увеличивается более чем в 2 раза.

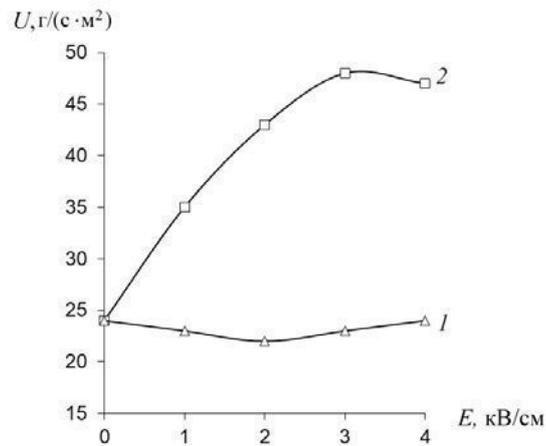


Рис. 1. Зависимость скорости горения U спирта от величины напряженности электрического поля E :
1 – отрицательный полюс снизу; 2 – отрицательный полюс сверху

На рис. 2 показано влияние величины и направления электрического поля на скорость горения бензина.

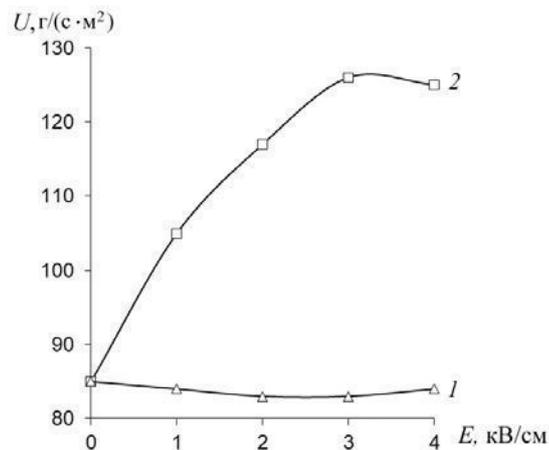


Рис. 2. Зависимость скорости горения U бензина от величины напряженности электрического поля E :
1 – отрицательный полюс снизу; 2 – отрицательный полюс сверху

Как видно из рис. 2, влияние величины и направления электрического поля на горение бензина аналогично влиянию на процесс горения спирта. Если электрическое поле направлено вверх, то скорость горения увеличивается примерно на 50 %.

Кроме вышеописанного механизма влияния электрического поля на процесс горения, нужно отметить следующее. Эксперименты показали, что, если электростатическое поле направлено вверх, то оно способствует ускорению испарения ионизирующихся молекул жидкости, что также способствует возрастанию скорости горения; в противоположном случае поле прижимает испаряющиеся молекулы обратно вниз, что может даже немного замедлить процесс горения.

Также было изучено влияние горизонтального электростатического поля на динамику горения исследуемых жидкостей. В горизонтальном электрическом поле пламя разделяется на два несимметричных факела, что и следовало ожидать, так как электроны и положительные ионы притягиваются в разные стороны. Количественные результаты опытов приведены на рис. 3.

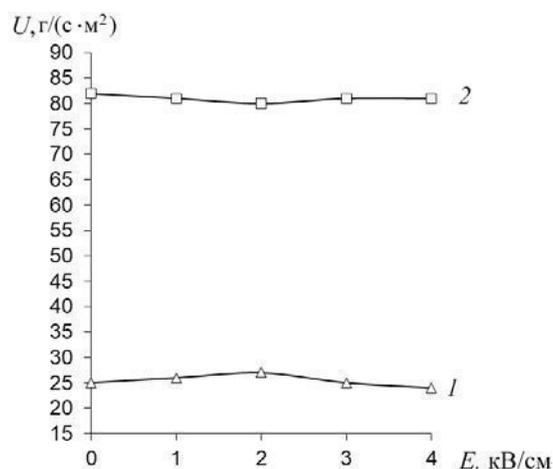


Рис. 3. Зависимость скорости горения U бензина и спирта от величины напряженности E горизонтального электрического поля; отрицательный полюс слева

Как видно из рис. 3, если электрическое поле направлено горизонтально, то оно практически не влияет на скорость горения обеих жидкостей. Однако было обнаружено, что копоть в разделенном факеле при горении бензина почти полностью исчезает, что свидетельствует о большей полноте сгорания. Отсутствие влияния горизонтального поля на процесс горения можно объяснить тем, что поток электронов, положительных ионов и конвекционный поток направлены в разные стороны, и конкурирующие процессы, протекающие в пламени, не влияют друг на друга. Также горизонтальное поле не влияет на скорость испарения молекул жидкостей. Однако во всех случаях наличие сильного электрического поля вызывает протекание электрического тока в плазме пламени, что, в свою очередь, вызывает дополнительное тепловыделение согласно закону Джоуля–Ленца $w = \sigma E^2$, где w – количество теплоты, выделяющейся в единице объема пламени за 1 с; σ – проводимость. Это повышает температуру пламени и, соответственно, полноту сгорания топлива.

Проведенные эксперименты показали, что электрическое поле оказывает значительное влияние на динамику процесса горения, в частности, электростатическое поле, направленное в сторону конвекционного потока, значительно увеличивает скорость и полноту сгорания и способствует повышению эффективности и экологической чистоты процесса горения.

Литература

1. Сологубов, А. П. Изучение влияния электрического поля на процессы горения / А. П. Сологубов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – С. 256–259.
2. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М. : Стандартинформ, 2006. – 99 с.