

Способы и методы повышения характеристик газового оборудования общественного питания

М.А.Амосова, В.Т.Антуфьев, С.А.Громцев

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Низкотемпературных и Пищевых Технологий
факультет техники пищевых производств, кафедра техники
пищевых производств и торговли

М.Я.Пурмал

Рижский технический университет

С целью повышения эффективности горения газа и снижения размеров тепловых блоков оборудования предложено сжигать газ в виде ионизированной смеси, воздействуя на нее электрическим полем или ионизированным заранее воздухом. При этом мгновенно во всем объеме в любой точке топки начинают действовать кулоновские силы отталкивания, интенсивно перемешивая горючую смесь. За счет повышения температуры и одновременного горения факела значительно усиливается его светимость. Нагрев рабочей поверхности уже происходит за счет излучения не только в инфракрасном, но и в видимом и ультрафиолетовом спектре. Количество угарного газа снижается.

Ключевые слова: ионизированная смесь, электрическое поле, кулоновские силы, светимость факела, нагрев излучением.

Известно, что газовое оборудование общественного питания экономически и технологически более выгодно в эксплуатации, чем электрическое. Оно более надежно и долговечно, проще в обслуживании. Однако недостаточно высокая эффективность сжигания газа и как следствие загрязнение окружающей среды экологически вредными дымовыми газами ведет к его существенному перерасходу; в целях более полного повышения его сжигания за счет избытка воздуха в смеси непреднамеренно снижается температура пламени и дымовых газов, что ведет к недожогу в холодном пламени. Объем дымовых газов и размеры теплового блока возрастают, как и тепловые потери через наружную поверхность. КПД падает. Замкнутый круг. Лучше всего рассматривать этот процесс на плитах, сковородах и пищеварочных котлах, обогреваемых дымовыми газами. Они имеют довольно низкий КПД, где расходуется на сжигание до 9 - 11 м³ воздуха на 1 м³ природного газа, который необходимо нагреть от 20 до 800-900°С и затратить огромное количество энергии. Это первый недостаток традиционного подхода к сжиганию газа. При этом основная функция газовой горелки в том, чтобы равномернее смешивать газ с воздухом не всегда выполняется. Исследования показывают, что струйки газа

устремляются вверх, и тут же подсасывается воздух и захватывается струей. Но кислород воздуха центра струи не достигает, вступая в химическую реакцию на поверхности газового потока. За счет этого температура пламени получается очень низкой. Фактически создается, так называемая кластерная система сжигания смеси. Теория кластеров существует более 3-х десятков лет. При помощи ЯРМ ядерно-релаксационной системы определили, как происходит распределение и перемешивание газа и воздуха. Кроме того, делают подкрашивание газов. Когда происходит сжигание подкрашенного топлива видно, как «комки воздуха» (кластеры) проходят через газ, рвут его на такие же кластеры и уходят в трубу с неравномерной окраской. Несмотря на исключительно малый размер кластеров газа и воздуха, нельзя не учитывать такое неудовлетворительное состояние горючей смеси, когда кластер с кластером дают недостаточную площадь поверхности соприкосновения. Соответственно химическая реакция горения идет медленно и температура факела понижена настолько, что основным источником энергии в тепловом аппарате считается конвективная составляющая от дымовых газов α_k . В тоже время кондуктивная составляющая α_{kd} , как и составляющая лучеиспусканием α_l по известным законам в этом процессе слишком мала. Это **второй недостаток** традиционного подхода к сжиганию газа и созданной на экспериментально - теоретической базе методики расчета рассматриваемых тепловых аппаратов.

В предложенной экспериментальной работе рассматривается переход на принципиально новый способ обогрева тепловых аппаратов, в основном за счет **излучения**, что уменьшит размеры теплового блока, газоходов и тепловоспринимающих поверхностей. Это возможно при существенном повышении температуры горения смеси и требует тщательной обработки полученных нами экспериментальных данных на модели теплового аппарата Санкт-Петербургского Государственного Университета низкотемпературных и пищевых технологий и опытно-промышленной установки созданной на Екабпилском ОКП «Латкоммунпроекта». (г.Рига) (Рижский политехнический институт), обоснования механизма процесса и создания уточненной математической модели расчета аппарата. В этой методике основу обогрева составляет излучение в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазоне.

В существующих же методиках учитываются только коэффициент конвективной теплоотдачи к поверхности, т.е. нагрев поверхности за счет циркуляции дымовых газов. Кондуктивная же составляющая не учитывалась по причине ее незначительности, а теплоотдача за счет излучения была мала.

Новизна нашей работы состоит в том, что мы предлагаем сжигать газ в виде ионизированной смеси и предлагаем методику расчета теплового аппарата. Это возможно при воздействии на нее электрическим полем или ионизированным заранее воздухом. При этом мгновенно во всем объеме в любой точке этого газа начинают действовать кулоновские силы отталкивания. За счет повышения температуры горения факела значительно усиливается его светимость. И нагрев поверхности уже происходит за счет излучения не только в инфракрасном, но и в видимом и ультрафиолетовом спектре. Световая

энергия со скоростью света 300 км/с. распространяется, поглощается поверхностью, частично многократно отражается и за счет этого происходит мгновенный, более сильный нагрев поверхности. Поверхность делают зачерненной, чтобы коэффициент черноты был как можно больше. Коэффициент черноты — показывает способность поверхности поглощать излучение. А так как вся поверхность в топках — черная, мы находимся в очень выгодном положении. Согласно закону Планка зависимость интенсивности излучения резко возрастает с увеличением температуры T , так как он пропорционален пятой степени температуры [4].

В нашем случае температура пламени достигает 2000°C, а количество воздуха за счет интенсивного перемешивания до молекулярного уровня можно сократить до оптимального.

Таким образом, кислород выгорает полностью и количество продуктов реакции сокращается до минимума. Роль конвективной составляющей по сравнению с составляющей лучеиспусканием снижается.

За счет полного сгорания, уходящие газы не такие ядовитые, там присутствует только CO_2 и практически нет CO . Суть теоретических исследований о влиянии **каталитического** воздействия озона на процесс сжигания газового топлива заключается в том, что кулоновские силы рвут сгустки (кластеры) одноименно заряженных молекул кислорода и газа с интенсивным перемешиванием. Без использования озона реакция горения идет с поверхности этого кластера. Электрическое поле характеризуется тем, что мгновенно во всем объеме в любой точке этого газа действуют кулоновские силы. Известно, что скорость распространения поля близка к скорости света, поэтому оно одновременно начинает действовать, последовательно, заряжая частицы газа и воздуха, и одинаково заряженные молекулы начинают отталкиваться друг от друга, сталкиваясь с другими и перемешиваясь.

При ионизации газа молекулами озона происходит разрушение кластера, в результате чего происходит не кластерное, а объемное одновременное сгорание. Все молекулы вступают в реакцию в течение минимального времени, т.е. каждая молекула имеет возможность войти в химическую реакцию с кислородом или озоном в активной форме. **Здесь срабатывает принцип домино**, то есть достаточно незначительного количества ионизированного газа, который при контакте в электрическом поле будет выбивать электроны и ионизировать таким образом последовательно всю горючую смесь. Так как реактивная способность молекул газа, содержащих в основном H , C , намного выше, чем серы и азота, не успевают, оставаясь в чистом виде экологически безопасными, нейтральными веществами. Что повышает экологическую безопасность сжигания топлива.

Условия теплообмена в различных тепловых аппаратах значительно отличаются друг от друга, что объясняется различием в конструкциях и способах отопления [1]. Обстоятельных исследований внутреннего и внешнего теплообмена в ряде тепловых аппаратов до сих пор не проведено. Поэтому в расчетах приходится пользоваться общими приближенными значениями теплофизических величин, что сказывается на точности расчетов

Недостаточная изученность процессов тепловыделения в факеле и теплоотдачи от него затрудняет решение задачи о тепловых потоках в топках и делает решение этой задачи весьма приближенным. Пока нельзя сказать, что существует совершенная полноценная теория топок и тепловых аппаратов. Некоторые вопросы до сих пор не могут быть решены строго математически, имеющиеся эмпирические формулы не всегда могут дать однозначный ответ. Существующую теорию тепловых аппаратов правильнее назвать полуэмпирической. В настоящее время еще продолжается процесс накопления экспериментального и теоретического материала. Экспериментальное исследование, физическое и математическое моделирование — все это создает предпосылки для дальнейшего развития теории тепловых аппаратов газового оборудования общественного питания.

В случае сжигания газа в электрическом поле перенос тепла или теплообмен в камерах сгорания осуществляется тремя способами: излучением, теплопроводностью и конвекцией. Теплообмен излучением здесь преувалирует и осуществляется посредством электромагнитных волн. Он достигает 80-90% теплообмена в топке.

Электромагнитные волны распространяются прямолинейно со скоростью света и подчиняются оптическим законам преломления, поглощения, отражения. Тепловое излучение помимо волновых свойств обладает корпускулярными свойствами: энергия излучается телом не непрерывно, а отдельными порциями, фотонами. Следовательно, излучение обладает корпусно-волновым дуализмом: энергия и импульс сосредоточены в фотонах, а вероятность их нахождения в пространстве обуславливается волновой механикой. Поэтому процессы излучения и поглощения описываются законами квантовой механики, а процессы распространения энергии — законами волновой теории распространения электромагнитных колебаний.

Энергия фотона определяется по выражению:

$$W = h \cdot \nu,$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка; ν — частота колебаний эквивалентного электромагнитного поля.

Длина волны и частота колебаний находятся в следующем соотношении:

$$\lambda \cdot \nu = c,$$

где c — скорость света в вакууме: $c = 300\,000$ км/с.

Излучение энергии фотона происходит следующим образом. При переходе атома или электрона на новый энергетический уровень, как и при возвращении их на прежний уровень, происходит излучение фотона энергии. Переход атомов и электронов на другой энергетический уровень происходит при нагревании горючей смеси от химической реакции, а также при ионизации газов под действием высоковольтного поля. При такой высокой температуре фактически это состояние пламени можно отнести к плазме.

Плазма — полностью или частично ионизированный газ, который может быть как квазинейтральным, так и неквазинейтральным. Плазма иногда называется четвёртым (после твёрдого, жидкого и газообразного) агрегатным

состоянием вещества. Слово «ионизированный» означает, что от значительной части атомов или молекул отделён по крайней мере один электрон. Слово «квазинейтральный» означает, что несмотря на наличие свободных зарядов (электронов и ионов) суммарный электрический заряд плазмы приблизительно равен нулю. Присутствие свободных электрических зарядов делает плазму проводящей средой, что обуславливает её заметно большее (по сравнению с другими агрегатными состояниями вещества) взаимодействие с магнитным и электрическим полями. Четвёртое состояние вещества было открыто У. Круксом в 1879 году и названо «плазмой», что подтверждено И. Ленгмюром в 1928 году [1].

При горении топлива процесс перехода атомов на новый энергетический уровень происходит непрерывно. Энергии, запасенная в топливе, выделяется при горении в энергию потока излучения. При температурах от 0 до 1200°C основная доля мощности излучения приходится на инфракрасную область спектра, не видимую глазом человека. Поэтому мы не видим газовый факел в топках принятой ранее конструкции. При температурах около 2000°C излучение в видимой области спектра резко увеличивается, как и светимость факела.

Основным источником излучения в газовом факеле являются молекулы, когда атомы или группы атомов, входящие в их состав, переходят из колебательного движения с большей энергией в колебательное движение с меньшей энергией. При этом возникает инфракрасное излучение. При воздействии высоковольтного поля ускоряются и учащаются столкновения атомов друг с другом. Происходит выбивание электронов с переходом их на новый энергетический уровень и появлением излучения в факеле в видимой области спектра. Светимость факела повышается за счет увеличения числа столкновений атомов.

С уменьшением длины волны более ярко проявляются корпускулярные свойства излучения, энергия фотонов возрастает с уменьшением длины волны. Для излучений больших длин волны (невидимые ИК-лучи с $\lambda=0,76-1000\mu\text{м}$) характерно, что лучи проявляют лишь волновые свойства.

Излучение, соответствующее какой-либо определенной частоте колебаний или длине волны, называется **монохроматическим**. В реальности такого излучения не существует. Фактически излучение охватывает какой-то диапазон длин волн. Излучение, соответствующее длинам волн от 0 до ∞ , называется **интегральным**. Количество энергии, излучаемое телом в единицу времени, называется **поток излучения** (Вт) или **мощностью излучения**:

$$Q = \frac{W}{\tau}$$

Плотность потока излучения (Вт/м²) — это количество энергии, излучаемое телом в единицу времени с единицы площади:

$$q = \frac{Q}{F}$$

В инженерных расчетах часто обозначают $q = E$.

Результирующим потоком излучения также называют разность потоков, уходящих от тела и приходящих к телу.

Лабораторная установка по определению полноты сгорания топлива в электрическом поле

Лабораторная установка для проведения экспериментальных исследований по определению влияния электрического поля на процесс горения газообразного топлива применительно к газовому оборудованию общественного питания была создана на основе портативной газовой горелки КВ-0211 в лаборатории 3327 каф ТППиТ СПГУНиПТ.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Схема экспериментальной установки содержит корпус 1, снабжена горелочным устройством 2 и устройством подачи газового топлива 3. В корпусе установки имеются щелевые заслоны 4 для дозирования поступления озонированного окислителя от озонаторной установки 5. В качестве озонаторной установки используется озонатор фирмы Vitek модель VT-1777 ВК. Стенд снабжен анализатором дымовых газов Testo 325 M/XL фирмы «TESTO AG» Германия с датчиками токсичности газов 6 и термопарой для определения температуры уходящих газов 7, также вольтметром напряжения ионизации 8 и миллиамперметром тока ионизации 9.

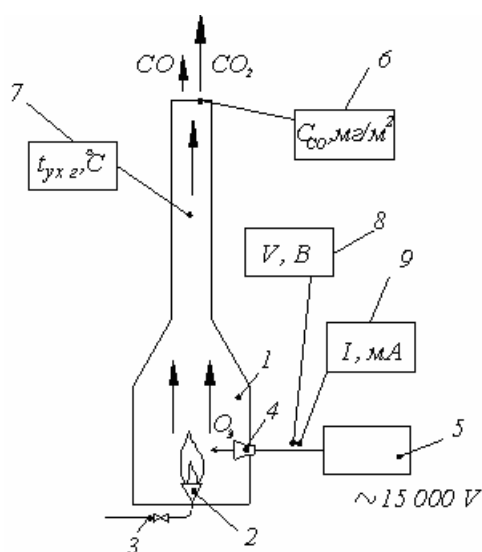


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Лабораторная установка смонтирована таким образом, что имеет возможность проводить весь комплекс исследований по определению влияния электрического поля на теплотехнические процессы. Существенную помощь нам оказали труды известного теоретика и практика Пурмал М.Я. (г. Рига), получившего хорошие результаты на полупромышленном парогенераторе [6].

Известно, что в зоне **высоковольтного** разряда кислород воздуха частично переходит в озон. Одним из электродов является поверхность нагрева. Рабочий электрод помещается в зоне топливовоздушной смеси, которая находится внутри голубого конуса или как рабочий электрод используется

собственно изолированная горелка. Эффект влияния **высоковольтного** поля изображен на фото.

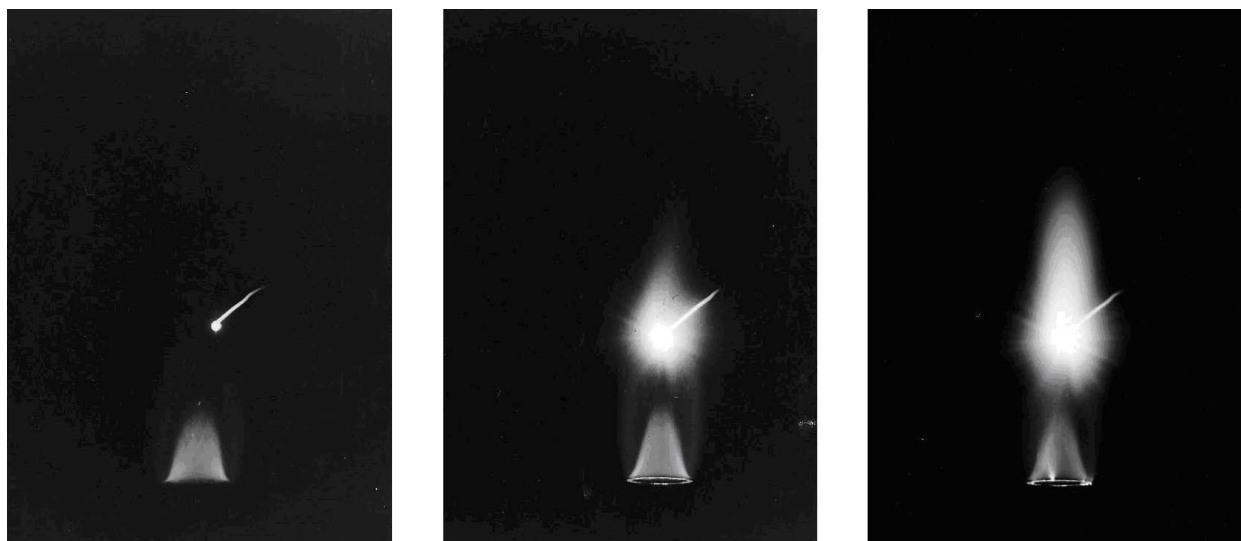


Рис. 2. Эффект влияния высоковольтного поля: слева — напряжение на электрод не подано; посередине — подано пониженное напряжение; справа — подано высокое напряжение.

Мы привыкли определять КПД установки по стандартной теплоте сгорания топлива, которую в свою очередь определяем, сжигая топливо в калориметре в атмосфере кислорода или воздуха, т.е. когда окислитель кислород. Но при другом окислителе, например при O_3 , теплота сгорания будет выше. Следовательно, в наших экспериментах определить КПД установки, используя табличные данные стандартной теплоты нельзя, так как нет данных о степени насыщения горючей смеси озоном и уровне его ионизации. Для определения эффективности того или другого способа, следует сравнить полезную **теплопроизводительность** аппарата при постоянном режиме и одинаковом расходе топлива. Также необходимо сравнить и содержание CO , NO и т.п. в уходящих дымовых газах.

Для газовой плиты, одной из главных характеристик которой является количество тепла, отданное жарочной поверхностью, общая зарегистрированная теплопроизводительность установки:

$$Q_{ПН} = Q_K + Q_L = [\alpha_K \cdot F_{ПН} \cdot (T_{ПНср} - T_{Вср})] + \varepsilon \cdot 5,67 F_{ПН} \left[\left(\frac{T_{ПНср}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{Вср}}{100} \right)^4 \right],$$

где:

$Q_{ПН}$ — теплоотдача от поверхности нагрева (ПН) к окружающему воздуху, Вт;

Q_K — теплоотдача с конвекцией, Вт;

Q_L — теплоотдача с излучением, Вт;

α_K — коэффициенты теплопередачи конвекцией при свободном движении воздуха у поверхности нагрева в помещении $5-10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2/\text{К}$;

$F_{ПН}$ — поверхность нагрева, м^2 ;

$$T_{\text{ПНср}} = \frac{T_{\text{ПН1}} + T_{\text{ПН2}} + T_{\text{ПН3}} + \dots + T_{\text{ПНn}}}{n}, \text{ К — средняя температура поверхности}$$

нагрева, где n — количество термопар на поверхности нагрева.

Тоже самое для температур окружающего воздуха. Количество термопар зависит от желаемой точности эксперимента.

ε — степень черноты поверхности нагрева.

При ионизации горючей смеси полезная **теплопроизводительность** аппарата при постоянном режиме и одинаковом расходе топлива возрастет и будет учтена коэффициентом ε (определен экспериментально), зависящем от приложенного напряжения ионизации или от количества активированных молекул озона, подаваемых в смесь.

$$Q_{\varepsilon} = \varepsilon(Q_K + Q_L) = [\alpha_K \cdot F_{\text{ПН}} \cdot (T_{\text{ПНЭср}} - T_{\text{Вср}})] + \varepsilon \cdot 5,67 F_{\text{ПН}} \left[\left(\frac{T_{\text{ПНЭср}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{Вср}}}{100} \right)^4 \right]$$

Причем возросшая температура жарочного настила $T_{\text{ПНЭср}}$ при сжигании смеси с применением озона определяется экспериментально.

$$T_{\text{ПНЭср}} = \frac{T_{\text{ПНЭ1}} + T_{\text{ПНЭ2}} + T_{\text{ПНЭ3}} + \dots + T_{\text{ПНЭn}}}{n}, \text{ К — средняя температура поверхности}$$

сти нагрева, где n — количество термопар на поверхности нагрева.

Тепловая эффективность (тепловой эффект наложения электрического поля), %:

$$\Delta Q = \frac{Q_{\varepsilon} - Q_{\text{ПН}}}{Q_{\text{ПН}}} \cdot 100,$$

где Q_{ε} — теплопроизводительность с полем, $Q_{\text{ПН}}$ — теплопроизводительность без поля (контроль).

Эффективность по снижению вредных веществ, %:

$$\Delta NO = \frac{NO_{\text{нО}} - NO_{\text{Э}}}{NO_{\text{нО}}} \cdot 100, \Delta CO = \frac{CO_{\text{нО}} + CO_{\text{Э}}}{CO_{\text{нО}}} \cdot 100 \text{ и др.}$$

В качестве топлива используется жидкий бутановый газ составом: изобутан — 72%, бутан — 22%, пропан — 6%.

Предварительные результаты эксперимента:

- снижение расхода газообразного топлива 12%;
- повышение КПД теплового аппарата на 11,5%;
- снижение токсичности уходящих газов (СО) на 80%;
- снижение окислов азота и серы на 32-40%.

Список литературы

1. Макаров А.Н. Теория и практика теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания. [Текст]: монография / А.Н. Макаров. Ч. 1. Основы теории теплообмена излучением в печах и топках. Тверь: ТГТУ, 2007. 184с.
2. Учебник: Тепловое оборудование предприятий общественного питания. Липатов Н.Н. Ботов М.И., Муратов Ю.Р. – М.: Колос, 1994. – 431 с.

3. Дудышев В.Д. «Новая электроогневая технология – эффективный метод решения экологических и энергетических проблем» – «Экология и промышленность России» № 3/97г.
4. Кокшарова Т.Е. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – 111с.
5. Пурмал М.Я. Об интенсификации горения керосинового факела наложением электрического поля . Известия вузов. Энергетика, №8, 1981, с. 110-112.
6. Громцев С.А., Смирнов В.Т., Пурмал М.Я. Способ регулирования процесса горения и устройство для его осуществления. Описание изобретения. ВНИИГПЭ, А.С. № 1394000, 1986 г.