

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ПАРОКОНВЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ**

Кирик А.В.

**Научный руководитель – Иванов А.В., д.т.н., профессор
Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Республика Беларусь**

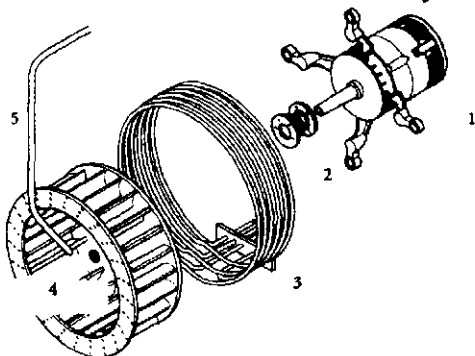
Для обеспечения производственного процесса на малых и средних объектах общественного питания требуется высокопроизводительное, экономичное оборудование, занимающее малую площадь и обеспечивающее выпуск разнообразной высококачественной готовой продукции. Конвектоматы и пароконвектоматы – самые популярные в настоящее время автоматизированные, многофункциональные аппараты, используемые на объектах общественного питания для жарки, тушения, запекания, припускания, размораживания и разогрева охлажденной продукции, варки на пару различных пищевых продуктов.

Данный эффект достигается за счет интенсивного вентилирования греющего воздуха и использования регулируемой системы увлажнения. Принудительная конвекция позволяет выравнивать температурное поле в рабочей камере и создать одинаковые условия нагрева в любой ее зоне, максимально загрузив камеру продуктом, а также ускорить нагрев продуктов и автоматизировать процесс. Увлажнение греющей среды создает оптимальные условия массообмена, уменьшающие потерь массы, оно позволяет получить изделие с однородной структурой центральных слоев и одновременно сформировать ярко выраженную тонкую корочку на поверхности.

Пароконвектоматы позволяют производить до 80% от общего числа всех возможных операций тепловой обработки, и тем самым, заменяют 40% теплового оборудования, являясь на сегодняшний день наиболее эффективным видом теплового оборудования в общественном питании. Циркуляция горячего воздуха и пара отдельно или в комбинации позволяет в одном пароконвектомате применять различные способы приготовления продуктов: обжарка, запекание, варка на пару, тушение, припускание, выпечка и регенерация. Использование таких аппаратов может сократить требуемую площадь горячего цеха более чем на 30%, увеличивая тем самым площадь торгового зала.

Однако использование пароконвекционного оборудования на бюджетных объектах питания не развито. На отечественных заводах торгового машиностроения такое оборудование до настоящего времени не производилось. Поэтому, в связи с необходимостью коренной модернизации производства общественного питания, улавляется актуальной разработка отечественных пароконвекционных аппаратов, основными требованиями к которым являются: их относительная простота в конструкции и в эксплуатации, достаточные технологические возможности, требуемая типоразмерность в соответствии с производственной мощностью объектов общественного питания, относительно низкая стоимость.

Кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» совместно с РУП «Гомельторгмаш» разработан первый белорусский пароконвекционный аппарат АПК-0,85, что позволит снизить зависимость в данном оборудовании от импортных производителей. Конструкция аппарата защищена патентом Республики Беларусь) на полезную модель (решение о выдаче патента на заявку u20090892 от 13.01. 2010 г.).



Нами выбрана инжекторная схема парового увлажнения рабочей камеры, которая позволяет достигать требуемого результата при минимальной тепловой инерции аппарата. Конвекционный воздух, нагретый до определенной температуры, заранее заданной оператором, получается следующим образом. При вращении электродвигателя 1, на который через муфту 2 надета турбина вентилятора 4, опоясанная кругообразными ТЭНами 3, происходит нагрев циркулирующего воздуха.

При необходимости также идет подача пара за счет выделения воды из инжекторной трубки 5. При попадании воды на вентилятор происходит ее разбрызгивание на нагретые ТЭНы и, соответственно, испарение. Благодаря герметичности рабочей камеры циркулирующий воздух каждый раз втягивается вентилятором и заново прогоняется через ТЭНы, за счет чего получается достаточно быстрый нагрев рабочей камеры пароконвектомата до нужной температуры, регулируемой термостатом.

Опытно-промышленный образец пароконвекционного аппарата АПК-0,85 успешно прошел производственные испытания, и в настоящее время проходит сертификационные испытания с целью постановки на серийное производство.

Для проведения экспериментальных исследований по изучению теплообменных процессов в паровоздушной среде при атмосферном давлении в условиях принудительной циркуляции греющей паровоздушной среды создана экспериментальная установка, которая позволяет с достаточной степенью точности проводить исследования по теплоотдаче от паровоздушной смеси с заранее заданными параметрами температуры и влажности к теплоприемнику (пищевым продуктам).

Как показывают результаты проведенных экспериментальных исследований, на коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к теплоприемнику (в нашем случае экспериментальному теплообменнику) температура теплоносителя не оказывает значимого влияния, таким образом, имеется реальная возможность снижения температуры тепловой обработки пищевых продуктов при одновременном сокращении (в крайнем случае постоянстве) времени технологического процесса, что даст возможность получить продукцию более высокой пищевой ценности, уменьшить потери влаги при обработке, снизить удельные энергетические затраты на технологический процесс. А на рост коэффициента теплоотдачи от паровоздушной смеси самое большое влияние оказывает повышение уровня ее относительной влажности.

С целью оценки влияния относительной влажности паровоздушной смеси на ее теплоотдачу была разработана компьютерная программа, и с ее помощью был проведен расчет конвективного коэффициента теплоотдачи от сухого воздуха к стенке экспериментального теплообменника.

Полученное расчетным путем значение коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха α_o^k сравнивалось со значением α_s^k , полученным экспериментальным путем, и находилось среднее значение поправочного коэффициента ε_ψ , учитывающего влияние относительной влажности воздуха на коэффициент его конвективной теплоотдачи (при условии, что температура теплопередающей стенки или поверхности продукта $t_c < 100^\circ\text{C}$), определяемый по классической методике.

$$\varepsilon_\psi = \frac{\alpha_s^k}{\alpha_o^k} \quad (1)$$

Для наглядности и простоты инженерных расчетов аппроксимирующая функциональная зависимость между поправочным коэффициентом ε и относительной влажностью воздуха φ в пароконвекционном аппарате $\varepsilon = f(\varphi)$ была определена в степенном виде:

$$\varepsilon = 27,81 \cdot \varphi^{1,5843} \quad (2)$$

Для установления достоверности представленной математической зависимости реальному процессу была проведена оценка ее адекватности полученным экспериментальным данным. Для полученной математической зависимости значение критерия Фишера $K_{\varphi_2} = 0,39$ ($K_{\varphi_{lim}} = 8,1$), т.е. $K_{\varphi_2} < K_{\varphi_{lim}}$, следовательно, уравнение (2) адекватно описывает рассматриваемый тепловой процесс.

Определяемое с помощью уравнения (2) значение поправочного коэффициента используется при прогнозировании значения коэффициента конвективной теплоотдачи в пароконвекционной аппаратуре при дальнейших экспериментальных исследованиях и для определения удельных энергетических затрат на технологические процессы.