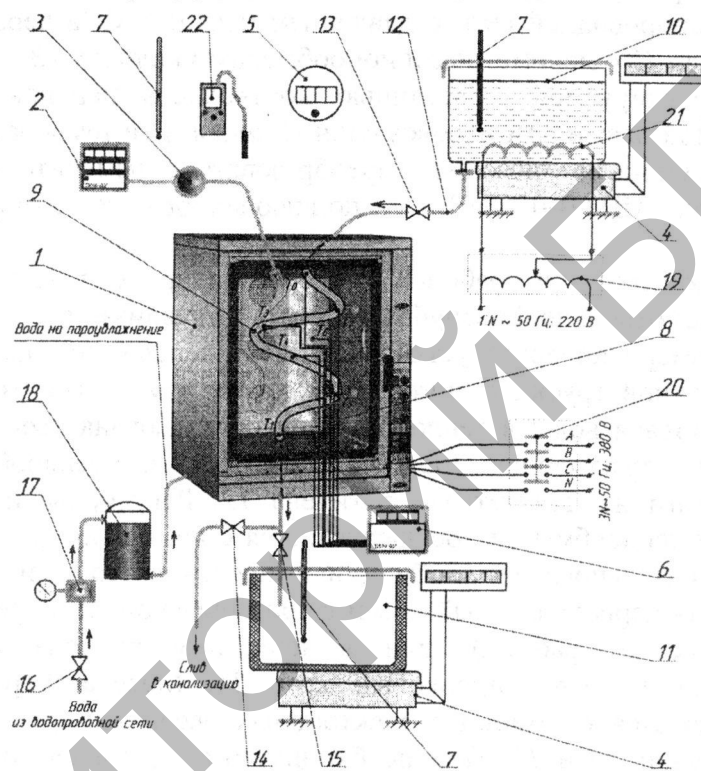


РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ПАРОКОНВЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

Иванов А.В., д.т.н., проф., Кирик И.М., к.т.н., доц., Кирик А.В. (МГУП)

Для проведения экспериментальных исследований по изучению теплообменных процессов в пароконвекционной аппаратуре создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1. На данной установке проведен теплотехнический эксперимент по изучению теплоотдачи от паровоздушной смеси при различных значениях ее температуры, влажности, характера движения.



1 – аппарат пароконвекционный; 2 – измеритель-регулятор «Сосна-002»; 3 – измеритель-преобразователь температуры и влажности ИПТВ; 4 – весы электронные ВТН-15; 5 – счетчик-секундомер электронный; 6 – измеритель-регулятор «Сосна-004»; 7 – термометр ртутный ТТ; 8 – преобразователь термоэлектрический ТХА(К)-1199 (T_0 – температура воды на входе в теплообменник, T_1 – температура воды на выходе из теплообменника, $T_2...T_3$ – температура стенки теплообменника, T_6 – температура теплоносителя в рабочей камере); 9 – теплообменник трубчатый; 10 – бачок расходный для воды; 11 – бачок приемный теплоизолированный для воды; 12 – шланг термостойкий; 13, 14, 15, 16 – кран пробковый; 17 – клапан редукционный с манометром ИТАР; 18 – колонка ионообменная DEF; 19 – автотрансформатор лабораторный ЛАТР; 20 – пускатель магнитный ПМЕ; 21 – электронагреватель трубчатый; 22 – термоанемометр «TESTO-425»

Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Предлагаемая экспериментальная установка состоит из следующих элементов. Ее основу составляет пароконвекционный аппарат 1 инжекторного типа, позволяющий работать в следующих режимах: водяной пар с температурой до $+105^{\circ}\text{C}$; сухая конвекция с температурой, регулируемой в диапазоне от комнатной до $+250^{\circ}\text{C}$; пароконвекция (возможно произвольное изменение и регулировка как температуры, так и уровня влажности). Уровень относительной влажности в пароконвекционном аппарате регулируется вручную на панели управления путем впрыска воды в рабочую камеру (точность регулирования достигается только при постоянном давлении воды в водопроводной сети, регулируемом при помощи редукционного клапана ИТАР 17 и

контролируемом манометром). Прямой впрыск воды в рабочую камеру аппарата приводит к тому, что жесткость и степень очистки воды имеют первостепенное значение, как для качества приготовления продукции, так и для теплотехнического эксперимента. В случае если общая жесткость воды выше 0,2 мг/экв, можно получить «песок» из солей жесткости, который будет летать в камере и неизбежно оседать на теплоприемнике (продукте или теплообменнике). Поэтому в конструкции экспериментальной установки применяется ионообменная колонка DEF (умягчитель воды) 14.

Пароконвекционный аппарат 1 подключается к источнику трехфазного переменного тока через магнитный пускатель 20 типа ПМЕ, а также к заземляющему контуру испытательной лаборатории. Для обеспечения пароувлажнения рабочей камеры аппарат подключается к водопроводной сети с давлением 0,2...0,4 МПа через пробковый кран 16, редукционный клапан 17 с манометром и ионообменную колонку 18.

Измерение регулируемой с помощью контроллера пароконвекционного аппарата уровня относительной влажности паровоздушной смеси и ее температуры в рабочей камере аппарата осуществляется с помощью преобразователя измерительного температуры и влажности 3 типа ИПТВ-056/МЗ-03, подключенного к измерителю-регулятору 2 «Сосна-002».

Слив образующегося в рабочей камере аппарата конденсата водяного пара осуществляется через отводящий патрубок аппарата в канализацию.

В рабочую камеру аппарата устанавливается экспериментальный теплообменник 9, выполненный из медной трубки с внутренним диаметром 10 мм, толщиной стенки 1 мм, длиной 1050 мм. Подача воды в теплообменник организована сверху вниз, самотеком из расходного бачка из нержавеющей стали 10, соединяемого с теплообменником с помощью термостойкого шланга из политетрафторэтилена 12. Регулирование расхода воды через экспериментальный теплообменник осуществляется с помощью пробкового крана 13. Слив воды из экспериментального теплообменника производится или в канализацию через пробковый кран 14 (в первоначальный момент при выведении экспериментальной установки в стационарный режим работы), или в приемный теплоизолированный бачок из нержавеющей стали 11 через пробковый кран 15. Массовый расход воды за время эксперимента измеряется с помощью электронных весов 4 марки ВТН_г-15, на которые устанавливаются бачки 10 и 11. При необходимости воду в расходном бачке 10 можно подогреть до требуемой условиями проведения эксперимента температуры с помощью трубчатого электронагревателя 19, установленного внутри бачка. Потребляемая мощность данного электронагревателя изменяется путем изменения питающего напряжения с помощью лабораторного автотрансформатора ЛАТР 19 или реостата.

Температура воздуха в помещении, температуры воды в расходном и приемном бачках измеряется с помощью термометров ртутных ТТ 7. Измерение температур стенки экспериментального теплообменника 9 в различных точках, температур воды на входе и выходе из теплообменника, дополнительный контроль за температурным режимом в рабочей камере аппарата осуществляется с помощью термоэлектрических преобразователей 8 ТХА(К)-1199/52/2/1500/0,5, подключенных к измерителю-регулятору 6 «Сосна-004».

Время проведения эксперимента фиксируется с помощью контроллера пароконвекционного аппарата и отдельно счетчиком-секундомером 5. Скорость движения теплоносителя в рабочей камере аппарата измеряется при помощи термоанемометра «TESTO-425».

Разработанный экспериментальный стенд 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 техпроцесса, 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 ее относительной влажности.

Целью исследований являлось экспериментальное определение поправочного коэффициента, учитывающего уровень относительной влажности паровоздушной смеси, к коэффициенту конвективной теплоотдачи от сухого воздуха, определяемому по классической методике. Полученное расчетным путем значение коэффициента конвективной теплоотдачи от сухого воздуха α_o^k сравнивалось со значением α_s^k , полученным экспериментальным путем, и находилось значение поправочного коэффициента ε_ψ , учитывающего влияние относительной влажности воздуха на коэффициент конвективной теплоотдачи.

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

Данная зависимость представлена графически на рисунке 2.

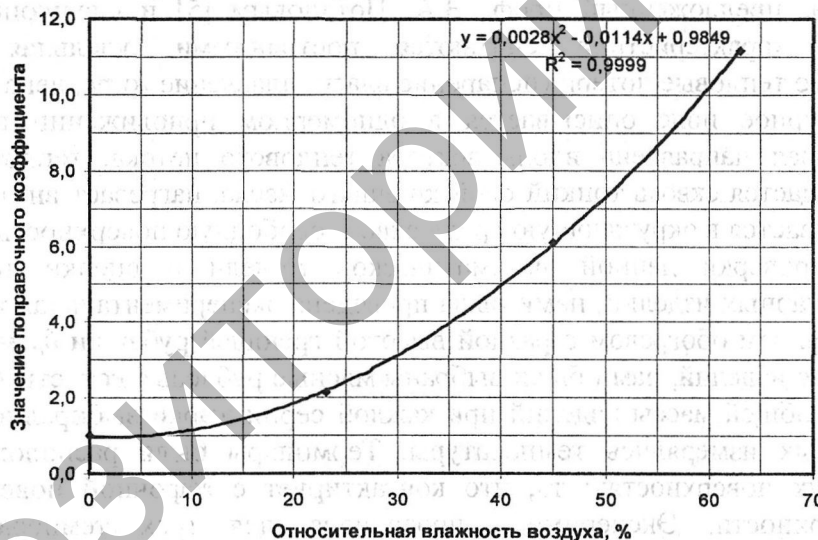


Рисунок 2 – Зависимость значения поправочного коэффициента на коэффициент теплоотдачи от сухого воздуха от относительной влажности воздуха

Полученная функциональная зависимость имеет следующий вид

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

и может использоваться для прогнозирования режимных параметров тепловой обработки продуктов и удельных энергетических затрат на технологический процесс.

Литература

1. Технологическое оборудование пищевых производств (лабораторный практикум): Учеб. пособие / В.Я. Груданов, И.М. Кирик; Под ред. В.Я. Груданова. – Мн.: Изд. центр БГУ. 2005.
2. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2006.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1985.