

Ж.Д. Жайлаубаев, к.т.н.

Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции»

НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА И КОНДУКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВРАЩЕНИИ ЛОПАСТЕЙ

Исследована взаимозависимость процессов, протекающих в аппаратах между перегревом вскипания и скоростью циркуляции в контуре. Установлено, что скорость циркуляции зависит от величины перегрева, а величина нагрева от особенности технологического режима работы аппарата. В циркуляционном контуре аппарата с вращающимися лопастями в зоне кипения правильный выбор геометрических параметров в значительной мере определяет эффективность работы аппарата, разработки математической модели процессов, протекающих в процессе кипения. Сопоставления с экспериментальными данными на установке, оснащенной варочным аппаратом вынесенной зоной кипения, являются интенсификацией теплообмена путем нагревания.

Применение тепломассообменных аппаратов должно постоянно расширяться по ряду технологических показателей, где имеют несомненные преимущества перед кондуктивными аппаратами принудительной циркуляции [1]. Решение этой задачи с помощью полуэмпирических зависимостей, полученных большого объема экспериментальных работ на установках и обобщения опыта эксплуатации промышленных установок послужило основой для внедрения в практику тепломассообменных аппаратов. Сложность и взаимозависимость процессов, протекающих в аппаратах рассматриваемого типа. Является между перегревом вскипания и скоростью циркуляции в контуре: скорость циркуляции зависит от величины перегрева, а величина нагрева от особенности технологического режима работы аппарата и т.п.

При разработке метода расчета аппаратов условие осложняется тем, что полученные зависимости теплоэнергетиками относятся в основном к воде при давлениях, в то время как аппараты с естественной циркуляцией используются для упаривания компонентов сырья мясокостной муки. Поэтому одной из целей нашей работы является проверка возмож-

ности использования зависимостей, полученных в области тепломассообмена, в условиях работы варочных аппаратов.

Одним из важнейших элементов циркуляционного контура аппарата с вращающимися лопастями в зоне кипения является правильный выбор геометрических параметров которой в значительной мере определяет эффективность работы аппарата, разработка математической модели процессов, протекающих в процессе кипения.

На аппарате в процессе кипения выделяется многожировая эмульсия при большей температуре кипения T и давлении P с условиями:

- процесс перемешивания;
- термодинамическое равновесие между жидкой и паровой фазой;
- течение среды можно рассматривать как одномерное.

В этом случае уравнение движения на произвольном элементарном участке длиной объемно расположенной аппарате кипения может быть записано в следующем виде:

$$\frac{dP}{dZ} = g[p^1 - (p^1 - p^1)\varphi] - \frac{dP_{tp}}{dZ} - \frac{1}{f} \frac{d}{dZ} (G^1\omega + G^1\omega). \quad (1)$$

здесь dp – изменение давления на длине dz ; g – ускорение силы тяжести; p, p^1 – плотности жидкой и паровой фаз; φ – истинное объемное паросодержание; dp_{tp} – потери давления на трение; f – площадь емкости; G^1, G^1 – массовые расходы жидкой и паровой фаз; ω – истинные средние по сечению скорости жидкой и паровой фаз; z – текущая координата при отсчете вскипания.

Для определения потерь давления на трение между частицами в процессе движения воспользуемся эмпирическим уравнением [2]:

$$\frac{dp_{tp}}{dZ} = \zeta \frac{GO^2}{2pf^{2d}} \left[1 + 1,5 \left(\frac{P^1}{P} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

где d – диаметр емкости вскипания; коэффициент трения ζ вычисляется по тем же уравнениям, что и для течения жидкости с массовым расходом $GO = G^1 + G^2$.

Уравнение (2) получено при обработке экспериментальных данных для давлений больше 1 МПа.

Для определения истинного объемного паросодержания можно воспользоваться формулой

$$\varphi = \frac{1}{1 + S \frac{1 - \beta}{\beta}}, \quad (3)$$

где $S = \frac{\omega}{\omega}$ – коэффициент скольжения; $\beta = \frac{V}{V + V^2}$ – паросодержание; V, V^2 – объемные расходы жидкости и пара.

Для определения коэффициента воспользуемся эмпирическим уравнением [3]:

$$S = 1 + \frac{13,5 \left(1 - \frac{P}{P_{kp}} \right)}{Fr^{5/12} Re^{1/6}} \quad (4)$$

(P_{kp} – критическое давление исследуемой жидкости).

$$Fr_0 = \frac{G_0^2}{p^2 f^2 g d};$$

$$Re_0 = \frac{G_{0d}}{p' f \nu};$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Уравнение (4) в работе [3] получено при обработке экспериментальных данных для давлений больше 1 МПа.

Используя уравнения (2)-(4), определения истинных средних по сечению скоростей жидкой и паровой фаз

$$\omega = \frac{G'}{p' f (1 - \varphi)};$$

$$\omega = \frac{G''}{p'' f \varphi};$$

уравнение баланса массы

$$G^1(z) + G^2(z) = G_0 = \text{const} \quad (5)$$

и энтальпии

$$G_0 [i^1(z_0) - i^1(z_0)] = [i^2(z_0) - i^2(z_0)] G^2. \quad (6)$$

которое, с учетом определения энтальпии через теплоемкость и температуру примет следующий вид:

$$G^1(z) = \frac{c^1 [T_0 - T(z)]}{r} G_0, \quad (7)$$

а также уравнение Клайперона – Клаузиса

$$P = P_c e^{-\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T T_c} \right)}, \quad (8)$$

Клайперона – Менделеева

$$p'' = \frac{\mu P}{RT}. \quad (9)$$

Уравнение (1) для условий работы варочного аппарата можно преобразовать к виду

$$\frac{(B - E_1 T)(P^2 - \sigma) dP}{P dz} = \frac{\mu g}{RT_c} [(S - \omega_1 M E_1) P^2 + \omega_1 (M B - N E_1) P + N \omega_1 B] \quad (10)$$

В уравнениях (6)–(10) приняты обозначения: T_c , P_c – температура кипения и давление в аппарате, R – универсальная газовая постоянная; ΔH – энтальпия фазового перехода; μ – молекулярная масса; $P = P(z)$, $T = T(z)$ – текущие давление и температура; i^1 , i^2 – удельные энтальпии жидкой и паровой фаз; r – теплота парообразования; c^1 – теплоемкость продукта;

$$\omega_1 = \frac{\omega R T_c}{\mu g}; \quad \omega = \zeta \frac{G_0^2}{2 p' f^2 d};$$

$$\sigma = \frac{G_0^2 B R T_c}{f^2 \mu S}; \quad M = 1 - 1,5 \frac{p' R T_c E}{\mu};$$

$$E = \frac{c' R T_c}{r \Delta H P_0}; \quad B = \frac{c'}{r} \left(\Delta T_c + \frac{R T_c^2}{\Delta H} \right);$$

$$\Delta T_c = T_c - T_0;$$

C^1 – теплоемкость жидкости; r – теплота испарения; T_0 – температура жидкой фазы.

Уравнение (10) является дифференциальным уравнением удовлетворяющее условию давления в кипении

$$P(Z)_{z=z_0} = P_c e^{-\frac{\Delta h}{R T_c T_0} \Delta T_c} \quad (11)$$

(z_0 – координата начала вскипания)

Полученное уравнение (11) позволяет определить зоны кипения в зависимости от параметров процесса работы варочного аппарата.

Результаты расчетов по модели сопоставлялись с экспериментальными данными на установке, оснащенной варочным аппаратом вынесенной зоной кипения, при исследовании метода интенсификации теплообмена путем нагревания.

Сравнение расчета с экспериментом показывало, что модель дает значения производительности установки при обычном режиме работы в процессе нагревания. Этот эффект связан с равновесным характером кипения в аппарате, который в значительной мере устраняется при использовании для процесса кипения острых паров.

Литература

1. Кутепов, А.М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А.М. Кутепов, Л.С. Стерман, И.Г. Стюшин – М.: Высшая школа, 1983. – 448 с.
2. Миропольский, З.Л. Паросодержание при напорном движении пароводяной смеси с подводом тепла в адиабатических условиях / З.Л. Миропольский, Р.И. Шкарова, А.И. Карамышева // Теплоэнергетика. –1971. –№ 5. – С. 60–63.

Zh. Zhailaubaev

A HYDRODYNAMICS UNSTATIONARITY OF A STREAM AND CONDUCTIVITY A HEAT EXCHANGE DURING A ROTATION OF BLADES

Summary

An interdependence of the processes proceeding in devices between an overheat of boiling up and the speed of circulation in a contour: a speed of circulation depends on overheat size, and size of heating depends from feature of a technological operating mode of the device. In a circulating contour of the device with rotating blades in a boiling zone the correct choice of geometrical parametres appreciably defines an overall performance of the device, working out of mathematical model of the processes proceeding in the course of boiling. Comparisons with experimental data on the installation which equipped with the cooking device by the taken out zone of boiling, are an intensification of heat exchange by heating.

Статья публикуется в редакции автора.