

УДК 664:66.021.3

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*П.И. Осадчук, кандидат технических наук, доцент
тел.: +380487845732, petrosadchuk@ukr.net
Одесский ГАУ*

*А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент
тел.: 9050359200, andrejpavlu@yandex.ru*

*П.С. Агеев, магистрант
тел.: 9021238782, ageev_petr@mail.ru*

Ключевые слова: процессы, массообмен, теплопередача, диссипация энергии, гидродинамика, оптимизация.

Приведен обзор и анализ способов интенсификации тепло-массообменных процессов. Указаны направления исследований, которые могут быть наиболее эффективными. Даны рекомендации для конструирования аппаратов.

Введение. Развитие страны во многом определяется успешной работой предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию. Однако из действующих предприятий этого профиля современным требованиям отвечают лишь 20...30 % [1]. Интенсификация технологических процессов - общепризнанное направление научно-технического прогресса.

Материалы и методы исследований. За последние годы на перерабатывающих производствах получили развитие гидродинамические, вибрационно-акустические, магнитные, ионно-радиационные и другие методы ведения процессов, а также внедряются мембранные, кристаллогидратные, электрохимические, суперкавитационные и другие технологии. Научной основой интенсификации технологических процессов перерабатывающих производств должно быть установление и использование новых физико-химических эффектов при ведении технологических процессов. Только используя новые конструктивные решения, мощности и технологии, которые позволяют уменьшить потери и углу-

бить переработку, можно добиться увеличения объема выхода готовой продукции с того же количества сырья. Повысить эффективность производства пищевых продуктов из сырья сельскохозяйственных предприятий можно на основе интенсификации технологических процессов, создание и внедрение современного оборудования.

Цель исследований: выявить возможные направления интенсификации тепло массообменных процессов в тесной связи с законами диссипации энергии и оптимизацией энергетических затрат.

Результаты исследований. Наилучшие результаты в повышении эффективности промышленного производства продуктов питания можно получить, объединив новые режимно-технологические и аппаратно-конструктивные решения. Используя приемы соединения и оптимизации процессов, создание замкнутых циклов материальных и энергетических потоков, унификации и рационального выбора материалов узлов и агрегатов, повышение в оптимальных границах единичных мощностей оборудования можно получить существенный технико-экономический эффект. В перерабатывающей промышленности сельскохозяйственной продукции широко применяют процессы ректификации, абсорбции, адсорбции, экстракции, растворения, кристаллизации, теплообмена. Общим признаком этих процессов являются системы взаимодействия газ (жидкость) - жидкость (твердое тело) [3, 4, 5].

Как правило, гидродинамика процессов описывается уравнениями Навье-Стокса. Однако трудности и неточности этого математического описания не позволяют найти оптимальные параметры процессов массопередачи или теплопередачи и, поэтому, возникает необходимость развития экспериментальных методов исследования и эмпирического подхода к описанию тепло массопередачи [2, 3, 5].

Интенсификацию гидродинамических процессов преимущественно связывают с развитием турбулентности в потоке. Турбулизация гидродинамических течений является одной из самых трудных задач. Перспективными являются исследования, которые направлены на изучение влияния внешних возмущений (акустических волн, вибраций, автоколебаний) на возникновение и развитие турбулентности потоков [1, 3, 4].

Такие исследования чрезвычайно важны, так как современные методы интенсификации тепловых и диффузных процессов основаны скорее на более быстром росте затрат энергии, чем на увеличении количества переносимых теплоты или массы вещества.

Известны случаи, когда, например, рост теплоотдачи превышает рост гидравлического сопротивления. Указанный метод интенсифика-

ции выявлен Дрейцером Г.А., Калининым Э.К. и др. при изучении теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потоков при вынужденной конвекции. Ими установлено, что наличие на стенках каналов выступлений высотой 5...10 % от радиуса трубы и с шагом в 5 раз большим толщины пристеночного пласта теплоносителя содействует закручиванию потока и созданию вихрей в этом пласте.

Создание автоколебаний в потоке газа интенсифицирует теплообменный газожидкостный процесс без дополнительных затрат энергии. Это достигается за счет перераспределения потерь энергии. При прохождении газа через контактные устройства с резонирующими пустотами в его потоке возникают автоколебания, которые усиливают перемешивание с жидкостью в поверхности раздела фаз. В этом случае сопротивление поверхностного пласта переноса массы вещества снижается, а скорость массопереноса возрастает.

Интенсифицировать тепломассообменные процессы перерабатывающих производств можно следующими способами: повышением эффективности перемешивания объемов или сред фаз, которые оказывают основное сопротивление тепломассопереносу; созданием развития поверхности контакта фаз; увеличением скорости относительного движения фаз и др.

Так, например, интенсифицировать массообменный процесс в ректификационных колонах можно за счет усовершенствования локального контакта фаз на тарелках и улучшение распределения потоков по ним для устранения застойных зон жидкости, байпасного движения фаз, которые более чем на 50 % может уменьшить эффективность ведения процесса.

Экспериментально установлено, что при использовании постоянного тока с напряженностью поля $E = 3,7 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^5$ В/м² процесс абсорбции углекислого газа проходит интенсивнее, чем при сменном токе. Самый большой эффект получен при негативной полярности коронирующего электрода. Коэффициент массопередачи увеличивается в 1,7 раза. Интенсивное поглощение негативных ионов углекислого газа объясняется их большей подвижностью в сравнении с положительными ионами. Эффективной также есть предыдущая ионизация газа. В этом случае упрощается конструкция массообменного аппарата, но уменьшается эффективность ведения процесса вследствие частичной потери зарядов ионизированного газа на участке от ионизатора до абсорбера [1].

Нашими исследованиями выявлено увеличение в 2...3 раза коэффициента теплоотдачи пара на твердой охлаждаемой поверхности при

создании электрического поля внутри транспортирующих труб. Диаметр трубы сравнивался 0,08 м, а напряжение между центральным катодирующим электродом и трубой $1 \cdot 10^3 \dots 2 \times 10^3$ В [1].

Массообмен между газом и жидкостью - распространенный процесс в пищевых технологиях. Известные теоретические работы [1, 4, 5 и др.], в которых массообмен, который описан с помощью гидродинамических параметров состояния жидкости, например:

$$\beta_L = C(S_c)^{-\frac{1}{2}}(E \cdot \nu)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

где β_L – коэффициент массоотдачи, м/с; $S_c = \frac{\nu}{D}$ – число Шмидта; ν – коэффициент кинематической вязкости м²/с; D – коэффициент молекулярной диффузии, м²/с; E – диссипация энергии, Вт/м³; C – эмпирический коэффициент.

Вследствие отсутствия обобщающей гидродинамической теории не разработанная довольно полная модель массопередачи. Для анализа процесса используют расчетные зависимости, полученные на основе диссипативной модели массопередачи. Модель имеет существенные ограничения по применению, однако, полезным в ней есть то, что в основу ее построения заложена диссипация энергии E и гидродинамическая характеристика – градиент скорости $\frac{dw}{dx}$, а также характеристика среды – динамическая вязкость μ .

Для определения диссипации энергии E , обусловленной вязкостью (выделим элементарный куб объемом d с длиной ребер dx, dy, dz . При градиенте скорости $\frac{dw}{dx}$ диссипация энергии E вихров в объеме будет описываться уравнением:

$$E = g \cdot dF \frac{dz}{t \cdot dV} = \mu \left(\frac{dw}{dx} \right)^2 \quad (2)$$

где $g = \mu \cdot \frac{dw}{dx}$ – касательное напряжение; $dF = dy \cdot dz$ – площадь боковой

границы куба; $t = dz / \frac{dw}{dx}$ – время сдвига противоположной границы куба на расстояние равное dz при градиенте скорости $\frac{dw}{dx}$.

Существующие в потоке турбулентные вихри размером δ служат причиной изменения скорости потока на величину Δw , поэтому градиент скорости выразится таким способом:

$$\frac{\Delta \omega}{\delta} = \frac{dw}{dx}. \quad (3)$$

Подставим (2) в (3) и определим градиент скорости:

$$\frac{\Delta \omega}{\delta} = \frac{\sqrt{E}}{\sqrt{\mu}}. \quad (4)$$

При интегрировании уравнения нестационарной диффузии, в случае допущения постоянного времени контакта τ для всех элементов, получим следующее, известное как формула Хигби, значение коэффициента массоотдачи:

$$\beta = 2 \sqrt{D / (\pi \cdot \tau)}, \quad (5)$$

где D - коэффициент молекулярной диффузии.

Согласно предложенной модели время контакта вихров будет таким:

$$\tau = \alpha_1 \cdot \frac{\delta}{\Delta \omega}, \quad (6)$$

где α_1 - коэффициент.

Подстановкой (4) в (6), а (6) в (5) получим коэффициент массоотдачи:

$$\beta = \alpha \sqrt{D / (E \cdot \mu)}, \quad (7)$$

где $\alpha = 2 \sqrt{\pi \alpha_1}$ - коэффициент.

Формула (7) отвечает известной зависимости (1). В нее входит интегральное значение величины динамической вязкости и учитывается молекулярная и турбулентная вязкость.

Известно, что на поверхности жидкости турбулентные вихры дополнительно гасятся за счет действия сил поверхностного натяжения σ . Поэтому на поверхности жидкости образуются две, именующихся во времени и по размерам, зоны. В одной зоне образуется постоянно обновляемая поверхность, а в другой – в поверхности образуется пограничный пласт толщиной Z . Для турбулизации поверхностного пласта и создания равномерного по толщине сопротивления переносу массы вещества поверхность жидкости может быть озарена акустическими волнами частотой f . Частоту определяют из условия равенства периода акустических колебаний времени (контакта вихров в объеме):

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\frac{E}{\mu}} \quad (8)$$

Толщина пограничного пласта f полного перемешивания при влиянии акустических волн равняется:

$$Z = \frac{P}{\sqrt{2\rho\mu\omega^3}}, \quad (9)$$

где $\omega = 2\pi \nu$ - круговая частота акустических волн; P - звуковая давка.

Примем толщину Z пограничного пласта равной размеру δ вихря и исходя из зависимостей (4) и (9), определим предельную величину звуковой давки акустических волн:

$$P = \Delta W \cdot \mu \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \omega^3 / E} \quad (10)$$

Экспериментальными исследованиями подтвержденные зависимости (7, 8, 10). Для массообменных процессов оптимальная частота акустических колебаний была близкой до 10^3 Гц при диссипации энергии $E \approx 10^3$ Вт/м³ [1].

Для повышения эффективности работы массообменных аппаратов при их конструировании и модернизации целесообразно проводить тщательный анализ и оптимизацию энергетических затрат.

В производстве продуктов питания используется различные массообменные устройства с широким диапазоном диссипации энергии в активной зоне. Известные теоретические и экспериментальные данные показывают, что с увеличением диссипации энергии скорость массообменного процесса и, соответственно, энергетические затраты возрастают и необходима их оптимизация.

В основу решения задачи оптимизации положенный анализ приведенных затрат. При этом если диссипации энергии в аппарате $E < E_{\text{опт}}$, то целесообразно вводить в аппарат дополнительно энергию для интенсификации процесса.

Заключение:

1. Турбулизация гидродинамических течений увеличивает массоотдачу и теплоперенос, поэтому при разработке средств механизации, реализующих указанные процессы необходимо создавать в потоках жидкости возмущения с использованием акустических волн, вибраций, автоколебаний, а также исключать застойные зоны в аппаратах.

2. Созданием электрического поля внутри транспортирующих труб можно в 1,7...3 раза увеличить коэффициенты массопередачи и теплоотдачи в газожидкостных технологических средах.

3. Для повышения эффективности работы массообменных аппаратов целесообразно вводить в аппарат дополнительную энергию при диссипации энергии в нем меньше оптимального значения.

Библиографический список

1. Интенсификация процессов и защита оборудования пищевых производств: Монография /Под ред. проф. Ю.Г. Сухенка. - К.: ООО «ДЕЙСТВИЕ», 2006. - 254 с.
2. Борщевский П.П. Интенсификация производств в пищевой промышленности. - К.: Урожай, 1989. - 136 с.
3. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник / За ред. проф. И.Ф. Мележика. К.: НУХТ, 2003. - 400 с.
4. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача.-М.: Химия,- 1982.- 696 с.
5. Майков В.П., Цветков А.А. Методика сравнения эффективности контактных массообменных устройств. - ТОХТ, 1984. - Т.VI, №2. - С. 269-275.

INTENSIFICATION TEPLOMASSOOBMENNYH PROCESSES AT PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Osadchuk P.I., Pavlushin A.A.

Key words: processes, mass-transfer, heat transfer, dissipation of energy, hydrodynamics, expenses, whirlwinds, optimization.

A review and analysis of methods of intensification of Thermal mass-transfer processes is resulted. Directions of researches which can be most effective are indicated. Recommendations are executed on constructing of vehicles.