

С целью изучения влияния гидро- и термодинамики воздушного охлаждения и нагревания кристаллизата на процесс кристаллизации сконструирован экспериментальный кристаллизатор с регулируемой подачей воздуха, в котором охлаждение и подогрев кристаллизата осуществляется раздельно.

Аппарат состоит из двух колонн – «холодной» и «горячей». Внутри колонн расположены барботеры, представляющие собой перфорированные цилиндрические вставки, через которые подается холодный воздух с температурой 0...10 °С и горячий воздух с температурой 50...70 °С, соответственно. Для получения теплого и холодного воздуха используется воздушная вихревая труба Ранка-Хильша. Кристаллизат, увлекаемый потоком барботируемого воздуха, циркулирует, перемещаясь из «холодной» колонны в «горячую» и наоборот.

Кристаллизация осуществляется в «холодной» колонне за счет барботажа холодного воздуха. Крупные кристаллы оседают на дно колонны, а мелкие кристаллы, поднимаясь с потоком обедненного раствора, перетекают по соединительной трубе в «горячую» колонну, где они растворяются за счет барботажа горячего воздуха, что увеличивает степень насыщения раствора. Теплый насыщенный раствор по соединительной трубе возвращается в «холодную» колонну, где кристаллы находятся во взвешенном состоянии, поддерживаемые вертикальным газожидкостным потоком. Кристаллы в колонне растут до таких размеров, пока скорость газожидкостного потока еще способна удерживать их во взвешенном состоянии, затем выпадают вниз и удаляются из колонны через предназначенный для отвода штуцер. Применение аппарата предложенной конструкции позволит интенсифицировать процесс перемешивания и роста кристаллов за счет растворения мелких кристаллов и получить крупные, однородные по размеру и качеству кристаллы.

Экспериментальным путем установлено, что барботирование холодного воздуха в кристаллизат способствует интенсификации процесса кристаллизации лактозы; для того чтобы увеличить средний размер кристаллов в кристаллизате целесообразно применить кратковременное нагревание кристаллизата с последующим барботажным воздушным охлаждением; кристаллизация лактозы в кристаллизаторах с барботажным воздушным охлаждением является значительно более эффективной, чем в традиционных кристаллизаторах с охлаждением через стенку и механическим перемешиванием. Предложена новая конструкция барботажного кристаллизатора, позволяющего интенсифицировать процессы перемешивания и роста кристаллов лактозы, а также разработана методика термодинамического расчёта кристаллизатора с барботажным воздушным охлаждением.

ОБОБЩЕННАЯ ДИФFUЗИОННАЯ ТЕОРИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ ИЗ ПЕРЕСЫЩЕННЫХ РАСТВОРОВ

Фиалкова Е. А., Евдокимов И.А.,

Куленко В. Г., Качалова Е.А., Костюков Е.М.

Вологодская государственная

молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина

Процесс кристаллизации лактозы из пересыщенных растворов состоит из двух фаз: первая – образование центров кристаллизации (зародышей), вторая – их рост. Продолжительность второй фазы, зависящая от скорости роста кристаллов, определяет главный недостаток процесса – его длительность.

На рост кристаллов влияют такие физические факторы как температура, степень пересыщения раствора, размер кристаллов, циркуляция раствора и др. По поводу влияния гидродинамического фактора на процесс кристаллизации лактозы имеются противоречивые мнения. Иногда полагают, что перемешивание улучшает рост кристаллов, однако, эксперименты показывают, что средний размер полученных кристаллов уменьшается. Есть мнение, что скорость роста кристалла почти не зависит от гидродинамических условий. Вместе с тем, экспериментально установлено, что скорость роста кристалла существенно зависит от его размера.

Целью настоящей работы является разработка теоретической модели роста кристаллов лактозы в пересыщенных растворах в зависимости от физических и гидродинамических параметров процесса с привлечением основных положений диффузионной теории.

Рассматривая гипотетический кристалл в виде шарообразной частицы, и, применяя для скорости движения кристалла формулу Стокса, предполагалось, что около кристалла имеется пограничный слой, «ползущий» по кристаллу и обедняющийся в процессе движения. Именно из пограничного слоя растворенное вещество оседает на поверхности кристалла. Разделяя пограничный слой на несколько участков с разным пересыщением, полагаем, что масса вещества, оседающего на поверхности кристалла, пропорциональна степени пересыщения раствора в пограничном слое. Тогда количество лактозы, выкристаллизовавшейся за промежуток времени Dt , можно определить следующим образом:

$$\Delta m = w \cdot (2 - \Delta t \cdot k) \cdot \frac{p \cdot d^2}{2} \cdot \Delta h \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где w – скорость выделения лактозы, $w = (C_n - C_n) \cdot k$, кг/(м³·с); C_n – концентрация молочного сахара в пограничном слое, кг/м³; C_n – концентрация насыщенного раствора, кг/м³; k – коэффициент пропорциональности, представляющий собой некоторую функцию, с⁻¹; d – диаметр шарообразной частицы, м; Δh – толщина пограничного слоя, м.

Уточняя диффузионную теорию, можно допустить, что толщина пограничного слоя на поверхности кристалла уменьшается и стремится к нулю с увеличением размера кристалла. При этом уменьшение по-

граничного слоя подчиняется экспоненциальному закону:

$$\Delta h = 4,6 \cdot e^{-0,0018 \cdot d}, \quad (2)$$

Преобразовав (1) с учетом (2), можно найти среднюю линейную скорость роста кристалла W :

$$W = 0,5 \cdot \frac{g \cdot (C_n - C_n) \cdot (r_k - r_{ж})}{\rho \cdot r_k \cdot m} \cdot d \cdot e^{-0,0018 \cdot d}, \quad (3)$$

где: μ – динамическая вязкость, Па·с; ρ_k и $\rho_{ж}$ – плотности кристалла и жидкости, соответственно, кг/м³.

Теория хорошо совпадает с известными литературными данными и подтверждает диффузионную теорию роста кристаллов, а именно, наличие диффу-

зионного пограничного слоя, который, согласно нашим данным, уменьшается по экспоненциальному закону с увеличением его размера. Кроме того, она дает логическое объяснение появлению противоречивых мнений по поводу влияния перемешивания на рост кристаллов. При перемешивании не изменяется скорость движения кристалла относительно межкристалльной жидкости, т.к. на нее влияют только физические параметры кристаллизата. Однако, перемешивание может вызвать турбулентность потока и нарушить диффузионный пограничный слой, обеспечивая доступ к кристаллу пересыщенного раствора, тем самым, интенсифицируя его рост.

Технические науки

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Исаев Ю.М.

Ульяновская государственная
сельскохозяйственная академия,
Ульяновск

В сельскохозяйственном производстве значительную часть машин, вертикально перемещающих материал, составляют винтовые транспортеры.

На спирально-винтовом вертикальном транспортере диаметром кожуха 27,5 мм, диаметром спирального винта 25мм, диаметром проволоки 3 мм проведены экспериментальные исследования для жидкости

плотностью $\rho = 1104$ кг/м³ и вязкостью $\nu = 2,76 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

По данным эксперимента было построено уравнение регрессии, достоверно описывающее характер изменения зависимости производительности Q транспортера от частоты вращения спирали n и шага винта s :

$$Q = 7,75 \cdot 10^{-3} ns - 1,26 \cdot 10^{-4} n^2 + 0,76 n - 1,57 s^2 + 69,2 s - 2 \cdot 10^3.$$

Графически уравнение представлено в форме поверхности отклика (рис. 1).

Из графика видно, что максимальная производительность при транспортировании, полученная методом классической оптимизации, достигается при частоте вращения $n = 4 \cdot 10^3$ мин⁻¹, шаге винта $s = 32$ мм.

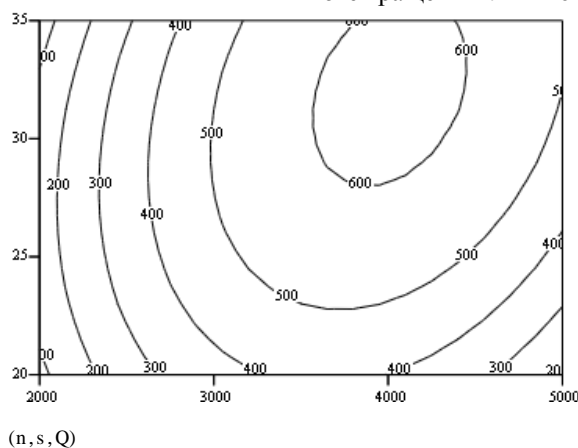


Рисунок 1. Экспериментальная зависимость производительности вертикального спирально-винтового транспортера Q (кг/ч) от частоты вращения n (мин⁻¹) и шага винта s (мм)

Оценка эффективности работы спирально-винтового транспортера по производительности будет не полной без учета удельных энергозатрат. Для этого были получены данные и построены уравнения регрессии, описывающие характер изменения зависимости удельных энергозатрат N (Вт·с/кг) транспортируемого материала от частоты вращения спирали n (мин⁻¹) и шага винта s (мм):

$$N = -1,82 \cdot 10^{-5} ns - 2,06 \cdot 10^{-7} n^2 - 1,04 \cdot 10^{-3} n + 3,11 \cdot 10^{-3} s^2 - 0,11 s + 3,71.$$

Минимальные значения удельных энергозатрат при транспортировании, полученное методом класси-

ческой оптимизации достигается при частоте вращения $n = 3,8 \cdot 10^3$ мин⁻¹, шаге винта $s = 29,3$ мм. Соответствующие данные по производительности и удельным энергозатратам, получены оптимальные показатели работы вертикального спирально-винтового транспортера. Для жидкости вязкостью $\nu = 2,76 \cdot 10^{-6}$ м²/с при $n = 4 \cdot 10^3$ мин⁻¹ и шаге винта $s = 30$ мм. $Q = 617$ кг/ч; $N = 0,07$ Вт·с/кг.

Таким образом, установлены оптимальные режимные параметры вертикального спирально-винтовой установки, обеспечивающие наибольшую