

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ В КОМБИНИРОВАННОМ СУСЛОВАРОЧНОМ АППАРАТЕ

Чепелюк А.Н.

Научные руководители - Удодов С.А., к.т.н., доцент, Таран В.М., д.т.н., профессор
Национальный университет пищевых технологий
г. Киев, Украина

Разработка оборудования, обеспечивающего проведение нескольких операций - актуальное задание для предприятий малой мощности, в частности, мини-пивзаводов. Нами разработан комбинированный сусловарочный аппарат для нагревания и кипячения сусла с хмелем, отделения хмелевой дробины и белкового осадка. Процесс происходит с помощью рамного перемешивающего устройства путем постепенного замедления частоты его вращения. Твердые частицы оседают на дно аппарата и направляются к его центру, где концентрируются.

Математическое описание процесса осветления сусла должно учитывать влияние конструктивных и режимных параметров работы аппарата. Используемые модели осаждения частиц описывают процесс в неподвижной жидкости и не могут быть использованы для аппарата с перемешивающим устройством.

При моделировании нами использованы теория пограничного слоя и полуэмпирическая теория движения речных наносов. Общая постановка задачи включает уравнение движения и условия однозначности. Поскольку движение частиц твердой фракции к центру аппарата

происходит в очень тонком слое, этот процесс зависит от распределения поля скорости вблизи дна. Для расчета области накопления осадка использованы результаты известной задачи, решенной У.Т. Бедевадтом, о вращении жидкости над неподвижным основанием.

Граничные условия для компонент скорости: $v_r = 0$; $v_\varphi = 0$; $v_z = 0$ при $z=0$ и $v_r = 0$; $v_\varphi = r\omega$ при $z=\infty$. Введя вместо координаты z безразмерную величину $\xi = z\sqrt{\omega/\nu}$, а для составляющих скорости взяв выражения: $v_r = r\omega F(\xi)$; $v_\varphi = r\omega G(\xi)$; $v_z = \sqrt{\nu\omega}H(\xi)$, и учитывая известные допущения о распределении давления, находим с помощью рядов искомые функции $F(\xi)$, $G(\xi)$, $H(\xi)$.

Обозначив радиус, характеризующий зону осаждения для частиц определенного размера в зависимости от частоты вращения мешалки r^* , получим:

$$r^* = \frac{0,84a_{вл}\sqrt{(\rho_ч - \rho) \cdot g \cdot b / \rho}}{\omega \cdot \left(\sqrt{F^2(\xi) + G^2(\xi)}\right)^*},$$

где $a_{вл}$ – коэффициент влечения; $\rho_ч, \rho$ – плотность частицы и жидкости соответственно; b – определяющий геометрический размер частицы; ω – угловая скорость вращения мешалки;

$$\left(\sqrt{F^2(\xi) + G^2(\xi)}\right)^* = \max \sqrt{F^2(\xi) + G^2(\xi)}.$$

По расчетным данным осаждение начинается при скорости вращения мешалки меньше 35 об/мин в радиусе 35 – 80 мм от оси аппарата, тогда как по экспериментальным данным – при частоте вращения меньше 18–23 об/мин. Это можно объяснить дополнительной турбулизацией сула мешалкой, что не позволяет частицам оседать на дно аппарата. Однако экспериментальные результаты при скоростях вращения меньше 15 об/мин полностью соответствуют аналитическим данным, полученным с использованием математической модели.

Адекватность созданной математической модели подтверждена экспериментальными результатами. Дальнейшие исследования будут направлены на установление влияния геометрии днища комбинированного суловарочного аппарата на процесс формирования слоя осадка.