

## 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;  $\omega$  – 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.