

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГИДРОЦИКЛОНА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИИ  
«СЫВОРОТКА – ХЛОПЬЯ  
СКОАГУЛИРОВАННОГО БЕЛКА»**

**Е. А. Чеботарев, А. И. Свидченко,  
Н. А. Ларкина, Н. В. Погорелова**

Изучена возможность разделения суспензии «сыворотка – хлопья скоагулированного белка» в гидроциклоне из условия осаждения частиц на цилиндрической поверхности и образования текучего осадка, продвигающегося по конической части до выхода из аппарата.

The opportunity of division of suspension «whey – flakes of coagulate protein» in a hydrocyclone from a condition of sedimentation of particles on a cylindrical surface and formations of the fluid sediment which is moving ahead by a conic part up to an exit from the device is investigated.

После коагуляции белков молочной сыворотки образуется малоцентрированная (содержание дисперсной фазы менее 1%) высокодисперсная (размеры частиц менее 0,1 мм) суспензия. Для разделения такой дисперсной системы могут использоваться методы, использование которых различно по эффективности разделения, а главное – по затратам на реализацию процесса.

Среди аппаратов центробежного действия для разделения жидких неоднородных систем особое место занимают гидроциклоны. Эти аппараты просты и дешевы в изготовлении, надежны и удобны (как правило, из-за отсутствия вращающихся частей) в эксплуатации, обладают высокой производительностью, компактны, позволяют сравнительно легко автоматизировать процессы разделения и соблюдать необходимые санитарно-гигиенические нормы.

Гидроциклоны, благодаря своим эксплуатационным преимуществам

(компактность, высокая удельная производительность, надежность), получили широкое распространение в технологических процессах разделения жидких неоднородных систем и очистки оборотных и сточных вод.

Растущие потребности в эффективных и надежных гидроциклонах поставили задачу освоения их серийного выпуска для оснащения действующих и вновь создаваемых технологических линий в крахмалопаточной, спиртовой, винодельческой, пивоваренной, масложировой, мясной, молочной и других отраслях перерабатывающей промышленности [1].

Опыт промышленного использования гидроциклонов в пищевых производствах подтвердил их высокие эксплуатационные качества – высокую эффективность, надежность, удобство обслуживания.

Несмотря на простоту конструкции гидроциклоны характеризуются сложной гидродинамической обстановкой процесса разделения. По функциональному признаку гидроциклон можно разделить на 2 части: цилиндрическую – разделительную и коническую – концентрационную (концентрирующую осадок).

С учетом последнего возможность разделения той или иной суспензии в гидроциклоне определяется, во-первых, созданием условий для осаждения частиц на цилиндрической поверхности, во-вторых, образованием текучего осадка, продвигающегося по конической части до выхода из аппарата.

Эффективность работы цилиндрической части аппарата можно оценить [2] по величине предельного диаметра выделяемых частиц ( $d_{чпр}$ , мкм), определяемого по формуле:

$$d_{чпр} = 8,15 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{D_a d_n \eta \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d_o P_o^{0,5} \alpha^{0,6} K_D K_\alpha (\rho_m - \rho_{ж})}}, \quad (1)$$

где  $D_a$  – диаметр гидроциклона, м;

$d_n$  – диаметр сливного патрубка, м;

$\eta$  – коэффициент динамической вязкости исходной суспензии, Па·с;

$\alpha$  – угол конусности, град;

$d_o$  – диаметр питающего патрубка, м;

$P_o$  – давление жидкости на входе в аппарат, Па;

$K_D$  – коэффициент, учитывающий влияние на процесс разделения диаметра корпуса гидроциклона;

$K_\alpha$  – коэффициент, учитывающий влияние на процесс разделения угла конусности гидроциклона;

$\rho_t$  и  $\rho_{ж}$  – плотность дисперсной фазы (белковых частиц) и дисперсионной среды (осветленной сыворотки, соответственно, кг/м<sup>3</sup>).

В свою очередь коэффициенты  $K_D$  и  $K_\alpha$  определяются по формулам:

$$K_D = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 10 D} = \frac{2(1 + 4 D)}{1 + 10 D}; \quad (2)$$

$$K_\alpha = 0,79 + \frac{0,044}{0,0379 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,074 + 0,790 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{0,038 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (3)$$

В соответствии с рекомендациями [4]  $d_n = (0,200 \dots 0,167)D_a$  и  $d_o = (0,14 \dots 0,30)D_a$ , что позволяет принять  $d_n = d_o$ .

Тогда из формул (1), (2) и (3), получим:

$$d_{\text{чпр}} = 5,76 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{D_a \eta \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2})(1 + 10 D_a)(0,038 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})}{P_o^{0,5} \alpha^{0,6} (1 + 4 D_a)(0,074 + 0,790 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})(\rho_m - \rho_{ж})}}. \quad (4)$$

Расчет по этой формуле при  $\alpha = 10^\circ$  [3] и параметрах суспензии при температуре коагуляции (80 °С)  $\rho_m = 1060$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{ж} = 1005$  кг/м<sup>3</sup>,  $\eta = 0,5 \cdot 10^{-3}$  Па·с [4] позволил получить диаграмму для определения

параметров гидроциклона (диаметр цилиндрической части и давление жидкости на входе в аппарат), представленную на рисунке.

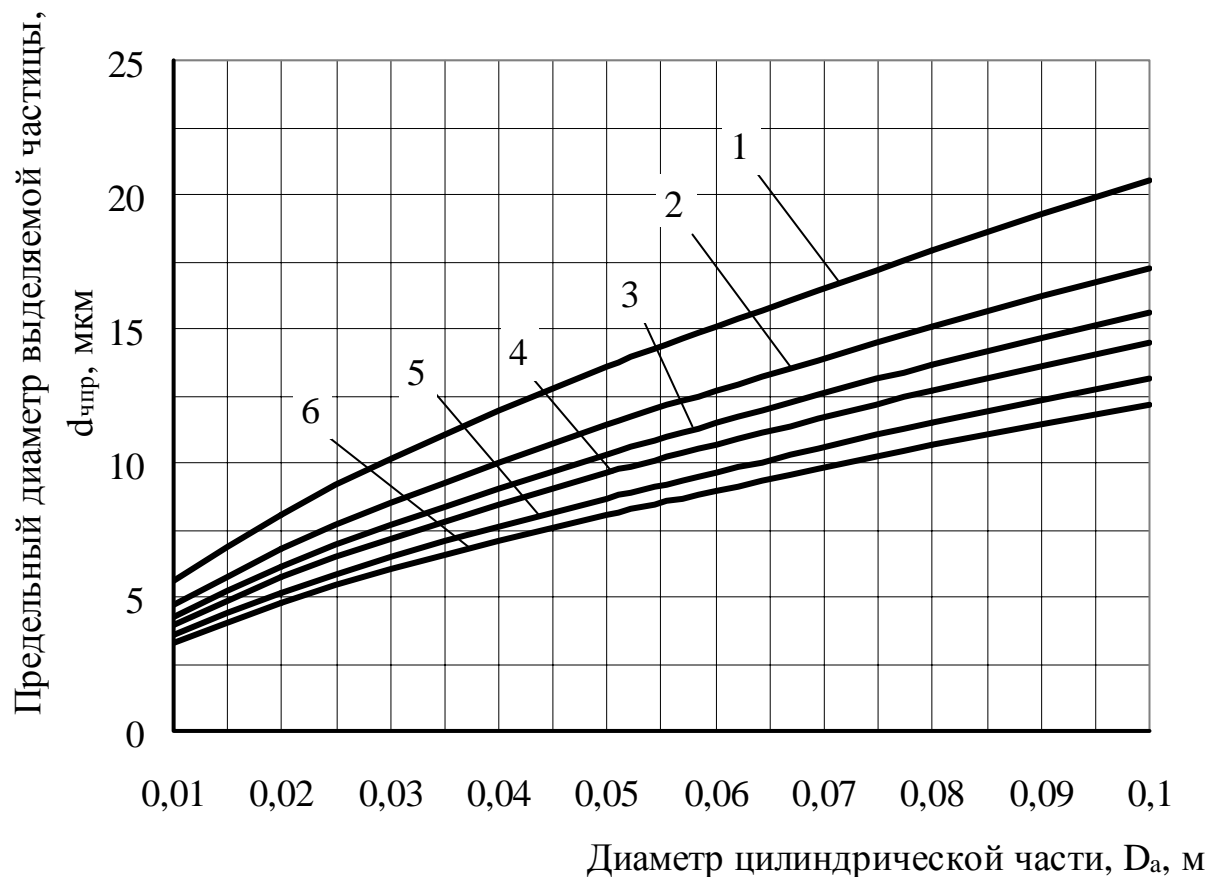


Рисунок – Диаграмма для определения параметров гидроциклона: 1 –  $P_0 = 0,05$  МПа; 2 –  $P_0 = 0,10$  МПа; 3 –  $P_0 = 0,15$  МПа; 4 –  $P_0 = 0,20$  МПа; 5 –  $P_0 = 0,30$  МПа; 6 –  $P_0 = 0,40$  МПа

Осветление суспензии «сыворотка – хлопья скоагулированного белка» должно обеспечиваться при выделении частиц не более 10 мкм. В соответствии с диаграммой такой результат может быть получен при достаточно широком диапазоне диаметра гидроциклона и давления на входе в аппарат.

Реологические свойств белкового концентрата из молочной

сыворотки характеризуются зависимостью, характерной для неньютоновских жидкостей:

$$\eta_{эф} = \eta_0 D_r^{n-1}, \quad (5)$$

где  $\eta_{эф}$  – коэффициент эффективной вязкости, мПа·с;

$\eta_0$  – вязкость при скорости деформации равной единице, мПа·с;

$D_r$  – скорость деформации, с<sup>-1</sup>;

$n$  – коэффициент (степень неньютоновского поведения жидкости – индекс течения).

Так, для белкового концентрата из творожной сыворотки нами получены значения величин, входящих в формулу (5):  $\eta_0 = 119,01$  мПа·с и  $n = 0,57$ .

Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности течения осадка в зоне малых деформаций конической части гидроциклона. Не исключается возможность обеспечения механического воздействия на осадок с целью его продвижения к разгрузочному патрубку.

Результатом проводимой работы должно стать внедрение в промышленность эффективной и малозатратной технологии выделения скоагулированных белков из молочной сыворотки с использованием гидроциклона.

### Литература

1. Пронин А. И., Иванов А. А., Диков В. А. Гидроциклоны для пищевых производств / Материалы II Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности». Часть II. Воронеж, 2004. – С. 261 – 263.
2. Романков П. Г., Курочкина М. И. Гидромеханические процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.
3. Малахов Н. Н., Плаксин Ю. М., Ларин В. А. Процессы и аппараты пищевых производств. – Орел: Изд. ОГТУ, 2001. – 687 с.
4. Чеботарев Е. А. Сепарирование молочной сыворотки: Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1995. – 33 с.