

УДК 637.1.02

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРАТОРА-СЛИВКООТДЕЛИТЕЛЯ МОЛОКА

А.В. Китун,

доцент каф. технологии и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

В статье рассматриваются физическая сущность процесса сепарирования молока, основанная на осаждении дисперсной фазы под действием центробежной силы, и параметры, влияющие на эффективность сепарирования.

The article deals with the physical nature of the process of separation of milk, based on the precipitation of the dispersed phase by centrifugal force, and the parameters that affect the quality and efficiency of separation.

Введение

Молоко представляет собой смесь жира плотностью 877-961 кг/м³ и плазмы (белки, вода, минеральные вещества) плотностью 1006-1036 кг/м³. Такую дисперсную смесь можно разделить сепарированием на механических центрифугах в поле центробежных сил на две фракции – сливки и обезжиренное молоко (обрат). При этом более тяжелые составляющие смеси перемещаются к периферии вращающегося ротора, более легкие – вытесняются ими к центру. Разделение в поле центробежных сил интенсифицирует процесс. При этом появляется возможность регулирования качества разделения путем изменения силового поля. В связи с этим важно определить факторы, влияющие на эффективность сепарирования при механическом разделении молока на обрат и сливки.

Основная часть

Для механического разделения молока на обрат и сливки применяется сепаратор-сливкоотделитель, основным рабочим органом которого является сливкоотделительный барабан, получающий вращение от электродвигателя через механические передачи.

Сливкоотделительный барабан (рис.1) состоит из корпуса, пакета разделительных тарельчатых вставок, тарелкодержателя, крышки, уплотнительного кольца и затяжной гайки [1]. Верхняя разделительная тарелка имеет в центральной части цилиндрическую вытяжку, в которой сбоку помещена впадка с отверстием для регулировочного винта. Поворотами винта изменяют выход и жирность сливок.

Разделительные тарелки имеют отверстия, образующие в пакете три канала для прохода молока. Свободное пространство между пакетом тарелок и крышкой корпуса образует грязевик. Зазор между парами тарелок в разных конструкциях находится в пределах 0,35–0,5 мм.

Физическая сущность процесса сепарирования молока основана на осаждении дисперсной фазы под действием центробежной силы.

Условия, при которых достигается концентрация жировых шариков в плазме молока и возможно более полное обезжиривание остальной ее части, выявляют расчетным путем.

При работе сепаратора-сливкоотделителя, молоко с поплавковой камеры через центральную трубку и каналы тарелкодержателя, поступает к каналам пакета тарелок и движется от центра барабана к его периферии по межтарелочным пространствам.

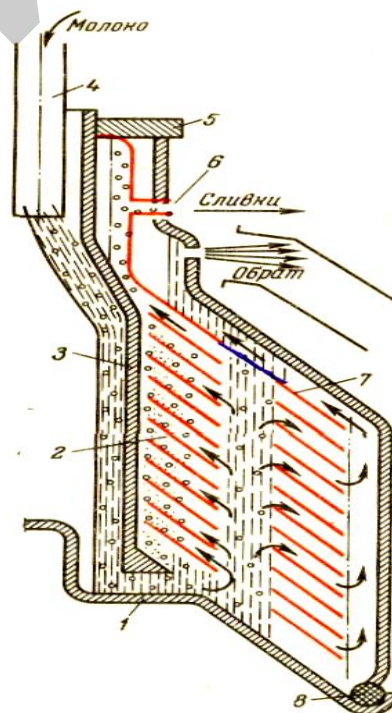


Рисунок 1. Схема работы барабана сепаратора сливкоотделителя:

1 – корпус; 2 – пакет тарелок; 3 – тарелкодержатель; 4 – центральная трубка поплавковой камеры; 5 – накидная гайка; 6 – винт регулировки жирности сливок; 7 – верхняя разделяющая тарелка; 8 – резиновое кольцо

Жировые шарики в межтарелочном пространстве вращающегося барабана сепаратора участвуют в сложном движении (рис. 2). Одна составляющая движения определяется скоростью потока молока и направлена по образующей тарелки, другая – центробежной силой и направлена перпендикулярно оси вращения (горизонтально).

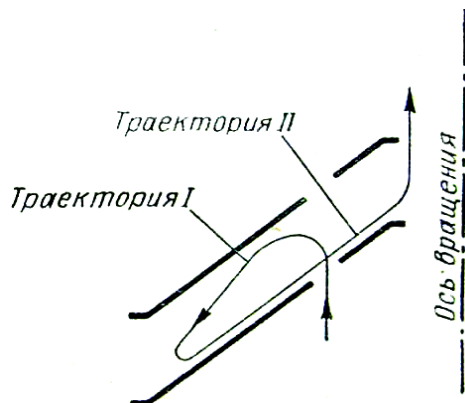


Рисунок 2. Траектория движения частиц в межтарелочном пространстве сепаратора-сливкоотделителя

В межтарелочных зазорах движение потока ламинарное, а частиц в молоке – плоскопараллельное без завихрений (стоксовое движение). Одним из необходимых условий сепарирования является проникновение жировых шариков через толщу жидкости в межтарелочном пространстве. Частицы (жировые шарики), не достигшие поверхности тарелки, выносятся в потоки плазмы.

Жировые шарики, проникшие на поверхность тарелки, перемещаются по ней. При этом, если скорость потока плазмы у поверхности больше скорости движения жировых шариков, вызываемой центробежной силой, то они будут унесены потоком. Если же скорость потока меньше скорости, вызываемой центробежной силой, то частицы (жировые шарики) будут перемещаться к оси вращения и попадут в обогащенный ими поток (сливки). Для сепарирования молока соблюдение второго условия является также обязательным.

Таким образом, траектория движения частицы, попадающей в сливки, состоит из траектории движения жировых шариков в направлении общего потока (1 стадия) и траектории движения жировых шариков в направлении, противоположном общему потоку (2 стадия).

Более легкая фракция (жир) выделяется из молока в межтарелочных пространствах и всплывает в направлении оси барабана. Снятое молоко идет к периферии барабана, где в грязевике из него выделяются механические примеси. Очищенное молоко (обрат) проходит над разделяющей тарелкой к отверстиям для выброса. Обрат выбрасывается в молочную посуду и собирается в емкость.

Схема движения фракций в межтарелочном пространстве представлена на рисунке 3.

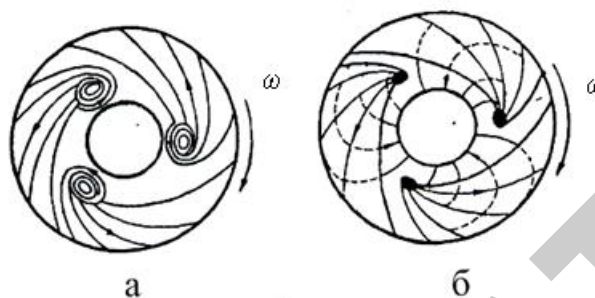


Рисунок 3. Траектории потоков жидкости в межтарелочном пространстве сепаратора-сливкоотделителя: а – однородной жидкости; б – легкой и тяжелой фракций

Одним из необходимых условий сепарирования является проникновение жировых шариков через толщу жидкости в межтарелочном пространстве. Частицы (жировые шарики), не достигшие поверхности тарелки, выносятся в потоки плазмы.

Более легкая фракция (жир) выделяется из молока в межтарелочных пространствах и всплывает в направлении оси барабана. Снятое молоко идет к периферии барабана, где из него выделяются механические примеси. Очищенное молоко (обрат) проходит над разделяющей тарелкой к отверстиям для выброса. Обрат выбрасывается в молочную посуду и собирается в емкость. Схема сечения межтарелочного пространства представлена на рисунке 4.

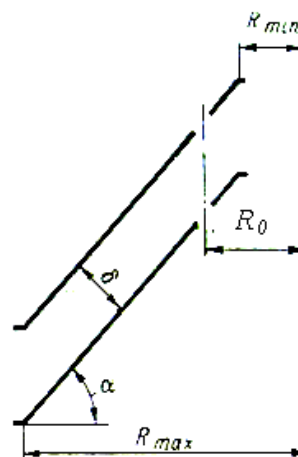


Рисунок 4. Схема сечения межтарелочного пространства

Радиальную скорость частиц можно определить по формуле:

$$v = \omega^2 R d^2 \frac{(\rho_c - \rho_q)}{\mu_c}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость барабана, c^{-1} ;

R – расстояние частицы от оси вращения, м;

d – диаметр частицы дисперсной фазы, м;
 ρ_c – плотность дисперсионной среды (жирового шарика), кг/м³;
 ρ_q – плотность частицы дисперсной фазы (молока), кг/м³;
 μ_c – вязкость дисперсионной среды, Па·с.
 Предельно минимальный размер выделяемых сепаратором жировых частиц:

$$d_{\min} = \frac{2,94}{\omega} \times \sqrt{\frac{Q_c \mu_c}{\beta z \operatorname{tg} \alpha (R_{\max}^3 - R_{\min}^3) (\rho_c - \rho_q)}}, \quad (2)$$

где Q_c – производительность сепаратора, м³/с;
 β – технологический к. п. д. сепаратора;
 z – число тарелок в барабане, шт;
 α – угол подъема образующей конуса тарелки, град;
 R_{\max} – максимальный расчетный радиус тарелки, м;
 R_{\min} – минимальный расчетный радиус тарелки, м;
 μ_c – динамическая вязкость дисперсионной среды, Па·с.

Минимальный размер жирового шарика, который достигнув слоя сливок в межтарелочном пространстве, не смывается потоком обрата в грязевое пространство барабана:

$$d'_{\min} = \frac{17,2 Q_c \mu_c}{\omega^2 z \delta^2 R_{\max}^2 (\rho_c - \rho_q) \cos \alpha}, \quad (3)$$

где δ – расстояние между тарелками, м.
 Чем крупнее шарики, тем быстрее происходит сепарирование.

Оптимальное расстояние между тарелками, при котором происходит наилучшее разделение молока, соответствует условиям осаждения на поверхности тарелки частиц, возможно, меньших размеров. При этом частицы должны противостоять потоку во избежание уноса их за пределы межтарелочных зазоров:

$$\delta = \frac{2,43}{R_{\max}} \sqrt[4]{\frac{V_{\delta} \mu_c \beta (R_{\max}^3 - R_{\min}^3) \operatorname{tg} \alpha}{\omega^2 z (\rho_c - \rho_q) \cos \alpha}}, \quad (4)$$

где V_{δ} – объем междискового пространства, м³.
 Если расстояние между тарелками меньше размера, соответствующего максимальной частоте расстояний между ними, то снижается пропускная способность соответствующей группы тарелок, а качество разделения молока улучшается, и наоборот.

Оптимальное расстояние между осью тарелки и осями отверстий в них:

$$R_0 = \sqrt{\frac{\varphi R_{\max}^2 + R_{\min}^2}{1 + \varphi}}, \quad (5)$$

где φ – объемное отношение легкой фракции к тяжелой.

Скорость потока жидкости в межтарелочном пространстве на произвольном расстоянии R от оси барабана:

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q_c}{z 2\pi R \delta}, \quad (6)$$

Эффективность работы сепаратора-сливкоотделителя характеризуется степенью обезжиривания:

$$\sigma = 100 \frac{C_{\text{сл}} (C_{\text{м}} - C_{\text{об}})}{C_{\text{м}} (C_{\text{сл}} - C_{\text{об}})}, \quad (7)$$

где $C_{\text{об}}$, $C_{\text{сл}}$ и $C_{\text{м}}$ – жирность обрата, сливок и молока, соответственно, %.

С увеличением жирности молока подача его должна быть уменьшена. Максимальная жирность сливок ограничивается 30–35 %, при этом остаточная жирность обезжиренного молока не превышает 0,05 %.

Теоретическая объемная производительность сепаратора определяется по формуле:

$$Q_c = \beta \omega z \operatorname{tg} \alpha (R_{\max}^3 - R_{\min}^3) t. \quad (8)$$

На производительность сепаратора существенно влияют конструктивно-механические факторы.

Выводы

Теоретическая объемная производительность сепаратора, определяемая по формуле (8), зависит от угла подъема образующей конуса тарелки α . Для обеспечения максимальной производительности сепаратора угол наклона образующей тарелки принимают от 40 до 60°. Он должен обеспечивать скольжение отлагающихся масс по поверхности тарелок [2].

Качество и эффективность сепарирования зависят от температуры молока – оптимальная температура молока должна быть в пределах 45–50° С.

Скорость потока жидкости в межтарелочном пространстве на произвольном расстоянии от оси барабана, определяемая по формуле (6), зависит от расстояния между тарелками. Зазор между парами тарелок в разных конструкциях находится в пределах 0,35–0,5 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурков, В.Д. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности: 2-е изд., перераб. и доп. / В.Д. Сурков, Н.Н. Липатов, Н.В. Барановский. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 368 с.
2. Томбаев, Н.И. Справочник по оборудованию предприятий молочной промышленности / Н.И. Томбаев. – М.: Пищевая промышленность, 1982. – 545 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.05.2015