

Гусев А.А., ассистент;

Яшин А.В., кандидат технических наук, доцент;

Чиркова Н.С., ассистент

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»,
г. Пенза, Россия*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ КРИТИЧЕСКОГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦЫ ПРИМЕСИ И ЕЕ ГРАНИЧНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА КОНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ТАРЕЛКИ СЕПАРАТОРА-МОЛОКООЧИСТИТЕЛЯ

Аннотация: Одним из основных технологических параметров при работе молочных сепараторов является обоснование критического радиуса частицы примеси способного выделиться в межтарелочном пространстве барабана сепаратора-молокоочистителя. От размера частицы примеси напрямую зависит качество молока. На основании известных принципов механики жидкости и твердых тел, молекулярно-кинетической теории и математического анализа дано решение проблемы обоснования минимального радиуса частицы примеси, выделяемого при работе сепаратора-молокоочистителя. Обоснован размер минимального размера частицы примеси, а также значения температуры молока при сепарировании и угловой скорости барабана.

Abstract: One of the main technological parameters in the operation of milk separators is the justification of the critical radius of an impurity particle capable of being released in the inter-barrel space of the separator-milk cleaner drum. The quality of milk directly depends on the size of the impurity particle. Based on the well-known principles of fluid and solid mechanics, molecular kinetic theory and mathematical analysis, a solution to the problem of substantiating the minimum radius of an impurity particle released during the operation of a milk separator is given. The size of the minimum particle size of the impurity is justified, as well as the values of the milk temperature during separation and the angular velocity of the drum.

Ключевые слова: молоко, частица, критические размер, примеси, очистка, барабан, сепаратор-молокоочиститель.

Keywords: milk, particle, critical size, impurities, purification, drum, milk separator.

Основной продукцией молочного скотоводства сельскохозяйственных предприятий является цельное молоко, которое служит сырьем для производства различных молочных продуктов. Для создания новых конструкций сепараторов-молокоочистителей необходимо знать значение такого параметра, как критические размеры частицы примеси, находящейся в молоке и способного выделиться в межтарелочном пространстве барабана сепаратора-молокоочистителя.

Частицы примеси в межтарелочном пространстве барабана сепаратора-молокоочистителя участвуют в двух видах движений: по подвижным тарелкам

барабана с потоком молока – переносное и в направлении к образующей тарелки – относительное.

Ввиду того, что диаметр частиц примеси колеблется в широких пределах [1-7] необходимо определиться с ее размером, при котором она может быть выделена из молока при центробежной очистке, так как в случае достаточно малых размеров, возможно образование броуновского движения при определенных условиях, т.е. может быть вызван сравнимый по величине с движущей силой перепад осмотического давления и расчетная частица примеси окажется в положении смещенном к периферии барабана, где ее выделение будет затруднено или невозможно.

Рассмотрим межтарелочное пространство (рис. 1) барабана сепаратора-молокоочистителя. Здесь подача молока в межтарелочное пространство осуществляется в кольцевом зазоре, образованном между внутренним радиусом барабана $R_б$ и максимальным радиусом разделительной тарелки $R_{т.макс}$. При поступлении в межтарелочное пространство частиц примеси различных размеров их траектория движения будет соответственно различной. Так, наиболее крупные частицы примеси при движении в кольцевом зазоре $R_б - R_{т.макс}$ будут двигаться по траекториям 0, не заходя в межтарелочное пространство барабана и осаждаются на внутренней поверхности барабана в грязевом пространстве с радиусом $R_б$. Крупные частицы примеси движутся по соответствующим траекториям 1 и 2 близким к периферии межтарелочного пространства. Частицы примеси меньших размеров движутся по соответствующим траекториям 3 и 4 несколько смещенным от середины разделительных тарелок к оси их вращения. Таким образом, частицы примеси за время нахождения в межтарелочном пространстве, как наиболее тяжелая фракция, стремятся к внутренним поверхностям разделительных тарелок и движутся по их образующей к периферии барабана. Более мелкие частицы примеси сносятся потоком молока ближе

Следовательно, крайним положением при условии возможности выделения частицы примеси критического размера является ее расположение на внутренней поверхности разделительной тарелки на её минимальном радиусе $R_{т.мин}$. Здесь возможно движение частицы примеси по траекториям 5 или 6, где при движении по траектории 5 частица примеси стремится двигаться в противоположную сторону потока молока по внутренней поверхности разделительной тарелки к периферии барабана в грязевое пространство, а при движении по траектории 6 частица примеси с потоком молока поднимается к оси барабана.

При определении критического размера частицы примеси, условимся, что движение по траектории 6 возможно при оказании на нее влияния броуновского движения с элементарным перемещением ds от минимального радиуса $R_{т.мин}$ разделительной тарелки к оси барабана. [1-7].

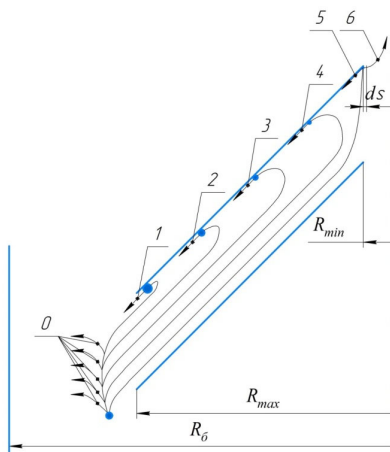


Рисунок 1 – Схема к определению критического размера частицы примеси:

0, 1, ..., 6 – траектории движения частиц примеси различных размеров;

$R_{\min}$, $R_{\max}$ – соответственно минимальный и максимальный радиус
разделительной тарелки; R_0 – внутренний радиус барабана;

ds – элементарное перемещение частицы примеси

Распределение давления во вращающемся барабане с молоком с учетом условия взвешенности частиц Эйнштейна [6-10] определяется зависимостью:

$$dp = ds \cdot (\rho_{ч.п.} - \rho_{м.}) \cdot \omega^2 \cdot R_{\min}, \quad (1)$$

где ds – элементарное перемещение частицы примеси, м;

$\rho_{ч.п.}$ – плотность частицы примеси, кг/м³;

$\rho_{м.}$ – плотность молока, кг/м³;

ω – угловая скорость барабана, с⁻¹;

$R_{\min}$ – минимальный радиус тарелки, м.

Согласно молекулярно-кинетической теории воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$p \cdot V_{ч.п.} = R \cdot T, \quad (2)$$

где p – давление, Па;

$V_{ч.п.} = \frac{\sum m_{ч.п.}}{\rho_{ч.п.}}$ – молярный объем частиц примеси, м³/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – абсолютная температура, К;

$\sum V_{ч.п.} = \frac{\sum m_{ч.п.}}{\rho_{ч.п.}}$ – суммарный объем частиц примеси, м³;

$v_{ч.п.} = \frac{\sum m_{ч.п.}}{M_{ч.п.}}$ – количество вещества (частиц примеси), моль;

$\sum m_{ч.п.}$ – суммарная масса частиц примеси, кг;

$\rho_{ч.п.}$ – средняя плотность частиц примеси, кг/м³;

$M_{ч.п.} = N_A \cdot m_{ч.п.}$ – молярная масса частицы примеси, кг/моль;

N_A – число Авогадро, моль⁻¹;

$V_{ч.п.} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_{ч.п.}^3$ – объем частицы примеси, м³;

$r_{ч.п.}$ – радиус частицы примеси, м.

Выразим из выражения (2) давление p и проведя ряд математических преобразований, получим:

$$(s_2 - s_1) = \frac{3}{4} \cdot \frac{R \cdot T}{N_A} \cdot \frac{\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\pi \cdot r_{ч.п.}^3 \cdot (\rho_{ч.п.} - \rho_{м.}) \cdot \omega^2 \cdot R_{мин}}. \quad (3)$$

В полученной зависимости (3) разность $s_2 - s_1$ представляет собой отрезок пути, который пройдет частица примеси в результате броуновского движения и будет снесена потоком молока к оси барабана.

Чтобы частица примеси критического размера могла быть унесена потоком молока к оси барабана, величина отрезка пути $s_2 - s_1$ в зависимости (3) должна быть меньше или равна одной десятой радиуса частицы примеси $r_{ч.п.}$:

$$s_2 - s_1 \leq 0,1 \cdot r_{ч.п.}, \text{ м.} \quad (4)$$

Тогда выражение для определения критического радиуса частицы примеси способного выделиться в межтарелочном пространстве барабана сепаратора-молокоочистителя с учетом зависимостей (3) и (4) примет вид:

$$r_{кр.ч.п.} \leq \sqrt[4]{7,5 \cdot \frac{R \cdot T}{N_A} \cdot \frac{\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\pi \cdot (\rho_{ч.п.} - \rho_{м.}) \cdot \omega^2 \cdot R_{мин}}}, \text{ м.} \quad (5)$$

На основании полученных расчетов построен график зависимости критического размера частицы примеси от температуры при максимальной и минимальной угловой скорости барабана (рис. 2).

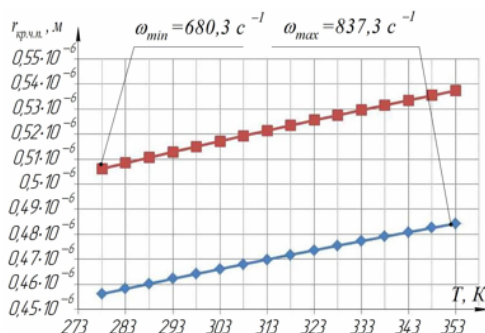


Рисунок 2 – График зависимости радиуса частицы примеси от температуры при максимальной и минимальной угловой скорости барабана

Вывод. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что минимальный радиус частицы примеси, выделяемого сепаратором, составляет $r_{\text{ч.т.}} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м. При этом имеется закономерность, что изменение температуры исходного молока с 278 до 353 К. оказывает незначительное воздействие на минимальный радиус жирового шарика, так как при увеличении абсолютной температуры в указанном диапазоне его радиус увеличивается на 5,77 %. Однако снижение угловой скорости барабана с $837,3 \text{ с}^{-1}$ до $680,3 \text{ с}^{-1}$ приводит к увеличению минимального радиуса частицы примеси на 9,9 %. Следовательно, для выделения частицы примеси радиусом более $r_{\text{ч.т.}} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м необходимо поддержание угловой скорости в размере $837,3 \text{ с}^{-1}$ и температуры молока при сепарировании 353 К, или 80°C . Однако при такой температуре возможно не желательное изменение составляющих молока вплоть до денатурации части белков. Поэтому оптимальным диапазоном температур считается интервал от 35 до 45°C . Таким образом, можем сделать вывод что выражение (5) позволяет определить критический радиус частицы примеси способной выделиться в межтарелочном пространстве барабана сепаратора-молокоочистителя.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 51563-2000. Сепараторы жидкостные центробежные. Требования безопасности. Методы испытаний. – Введ. 2001-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 8 с.
2. Яшин, А.В. Структурно-функциональное описание технологического процесса сепарирования молока и структурная схема работы барабана / А.В. Яшин, А.В. Саввин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Часть 1. – Ульяновск: ГСХА им. П.А. Столыпина, 2015. – С. 131–134.
3. Яшин, А.В. К вопросу о взаимосвязи разделяющей способности сепаратора и разделяемости молока / А.В. Яшин, А.В. Саввин, А.А. Романова // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С. 227–232.
4. Яшин, А. В. К вопросу совершенствования технологического процесса очистки молока сепаратором-молокоочистителем / А. В. Яшин, Ю. В. Поливяный, А. А. Гусев // Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Кинель, 28 февраля – 03 2022 года. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2022. – С. 260–266.
5. Гусев А.А., Классификация и анализ конструкций сепараторов-молокоочистителей / А. А. Гусев, А. В. Яшин // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы. Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции 24-25 октября 2022 г. С. 573–575.
6. Яшин, А. В. Некоторые результаты экспериментальных лабораторных исследований сепаратора-молокоочистителя с двухсекционным барабаном / А. В. Яшин, А. А. Гусев // Организационно-методические аспекты повышения

качества образовательной деятельности и подготовки обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования : Сборник статей III Всероссийской (национальной) научно-методической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 02–03 декабря 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 234–239. – EDN FLAJGR.

7. Патент на полезную модель № 224908 U1 Российская Федерация, МПК В04В 1/08, А01J 11/06, А01J 11/00.Сепаратор-молокоочиститель: № 2024101603; заявл. 24.01.2024; опубл.: 08.04.2024 / А.В. Яшин, Ю.В. Польшивный, А.А. Гусев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный аграрный университет"

Summary. An expression has been defined that makes it possible to determine the critical radius of an impurity particle capable of being released in the interstitial space of the separator-milk cleaner drum, and the calculation has established that the minimum radius of an impurity particle released by the separator is $r_{\text{крит}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

УДК 631.43:629.1

Орда А.Н.¹, доктор технических наук, профессор;

Шкляревич В.А.¹, старший преподаватель;

Ракова Н.Л.¹, кандидат технических наук, доцент;

Воробей А.С.², кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник

¹*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

²*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВУ

Аннотация. Приведены данные по изменению плотности почвы при воздействии на нее ходовыми системами тракторов. Предложены пути снижения уровня уплотняющего воздействия ходовых систем на почву.

Abstract. The data on soil density changes under the influence of tractor undercarriage systems are given. Ways to reduce the level of compacting impact of undercarriage systems on soil are suggested.

Ключевые слова: плотность, почва, напряжение, ходовая система, колесо, гусеница, деформация почвы.

Keywords: density, soil, stress, running system, wheel, track, soil deformation.

Воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на почву ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Урожайность зерновых в следах тракторов снижается на 10...15 %, а корнеклубнеплодов – на 20...30 % [1, 2, 3].