

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНОГО ТАРЕЛКОДЕРЖАТЕЛЯ СЕПАРАТОРА-СЛИВКООТДЕЛИТЕЛЯ

**Яшин Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: jashin1982@mail.ru

**Мишанин Александр Леонидович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, Кинельский район, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2

E-mail: mishanin\_al@mail.ru

**Сёмов Иван Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: semiw@mail.ru

**Хорев Павел Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: xpn.75@mail.ru

**Ключевые слова:** молоко, лопасть, напор, мощность, профиль лопасти.

*Цель исследований – повышение производительности сепаратора-сливкоотделителя применением лопастного тарелкодержателя для равномерного заполнения межтарелочных пространств. Рассмотрено движение молока по подводющим каналам лопастного тарелкодержателя оригинальной конструкции сепаратора сливкоотделителя, с учетом того, что движение молока струйное. Таким образом, поток молока в подводящих каналах рассматривали как состоящий из бесконечного числа элементарных струек. Определены зависимости для определения напора, создаваемого лопастным тарелкодержателем и мощности, необходимой для придания потоку молока движения по подводящим каналам лопастного тарелкодержателя с требуемой угловой скоростью. Построены графики этих зависимостей от подачи молока (производительности сепаратора-сливкоотделителя) и проанализировано влияние углов лопастей как на входе, так и на выходе. Установлено, что для снижения воздействия на поток молока необходимо, чтобы его абсолютная скорость была минимальной, это достигалось обоснованием значений углов лопастей. По результатам экспериментальных исследований определена производительность сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем –  $0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$  и установлены оптимальные значения основных параметров.*

Основной продукцией молочного скотоводства сельскохозяйственных предприятий является цельное молоко, которое, как и его составляющие (сливки и обезжиренное молоко) являются сырьем для производства различных молочных продуктов. Для чего в составе большинства технологических линий производства молочной продукции применяются сепараторы-сливкоотделители. Анализ их конструкций позволяет считать одним из главных недостатком неравномерное заполнение межтарелочных пространств молоком, что является основной причиной снижения их производительности. Одним из пунктов Госпрограммы РФ «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» является техническая и технологическая модернизация АПК, без которой, при используемом оборудовании, невозможно в полной мере обеспечить импортозамещение конкурентоспособной продукцией и повысить экономическую безопасность страны.

**Цель исследований** – повышение производительности сепаратора-сливкоотделителя применением лопастного тарелкодержателя для равномерного заполнения межтарелочных пространств.

**Задача исследований** – определить оптимальные конструктивные параметры лопастного тарелкодержателя при максимальной производительности сепаратора-сливкоотделителя.

**Материалы и методы исследований.** В настоящее время существует множество конструкций сепараторов-сливкоотделителей, но, несмотря на конструктивные различия, все серийно-выпускаемые сепараторы-сливкоотделители работают по принципу тонкослойного центробежного разделения. При этом молоко в пакет тарелок подается по вертикальным питающим каналам снизу вверх, образованным отверстиями в тарелках, не имея строгого очертания границ, параллельных оси вращения, так как отверстия одной тарелки частично перекрывают отверстия другой из-за недостаточно точного их изготовления. Кроме того, при движении молока на заполнение пакета тарелок оказывают влияние различные сопротивления, приводящие к снижению напора на вышележащих тарелках и производительности их отдельных межтарелочных пространств,

а наиболее крупные жировые шарики в основном стремятся выделиться при движении в области нижележащих тарелок. Это приводит к тому, что нижние тарелки работают в более жестком режиме, чем верхние, снижая производительность сепаратора-сливкоотделителя в целом.

**Результаты исследований.** Рассмотрим движение молока по подводящим каналам лопастного тарелкодержателя (рис. 1) сепаратора-сливкоотделителя [1, 6]. При этом согласно методу Эйлера предположим, что движение молока струйное. Таким образом, поток молока в подводящих каналах можно рассматривать, как состоящий из бесконечного числа элементарных струек. Предположим, что элементарная струйка молока скользит по внутренней лопасти, а ее частица, представляющая бесконечно малую массу молока, занимающая бесконечно малый объем и обладающая всеми физическими свойствами молока, совершает сложное движение: относительное, перемещаясь вдоль внутренней лопасти от  $A$  до  $B$  с относительной скоростью  $v_r$  и направленной по касательной к траектории или к соответствующему элементу лопасти; переносное, перемещаясь вместе с внутренней лопастью (вращается) с переносной скоростью  $v_e$ , направленной по касательной к окружности, проведенной через любую точку внутренней лопасти [7].

Рассмотрим частицу молока, расположенную в точке  $M$ , которая перемещается лопастью тарелкодержателя со скоростью  $v_a$ . Момент количества движения частицы молока в точке  $M$  относительно точки  $O$ , принадлежащей оси  $z$ , определяется уравнением

$$dL_z = dm \cdot v_a \cdot h, \quad (1)$$

где  $dm = \rho \cdot Q \cdot dt$  – масса частицы молока, кг;

$h = R \cdot \sin \gamma_l$  – плечо вектора  $dm \cdot v_a$  относительно точки  $O$  принадлежащей оси  $z$ , м;

$\rho$  – плотность молока, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – подача молока, м<sup>3</sup>/с.

Из параллелограмма скоростей (рис. 1) можно определить следующее:

$$v_{ae} = v_a \cdot \cos \alpha_n = v_e - v_{am} \cdot \operatorname{ctg} \beta_n = v_a \cdot \sin \gamma_l. \quad (2)$$

Производная по времени от момента количества движения потока молока, в предположении, что его движение идентично элементарной струйке геометрически равна главному моменту внешних сил, действующих на поток молока относительно той же точки, тогда с учетом (1) и (2) получим:

$$\frac{dL_{z2} - dL_{z1}}{dt} = M_{z2}^E - M_{z1}^E = \rho \cdot Q \cdot v_{ae2} \cdot R_2 - v_{ae1} \cdot R_1, \quad (3)$$

где  $M_{z1}^E, M_{z2}^E$  – главный момент внешних сил, действующих на поток молока относительно точки  $O$ , принадлежащей оси  $z$ , соответственно для начала и конца лопасти тарелкодержателя, Н·м.

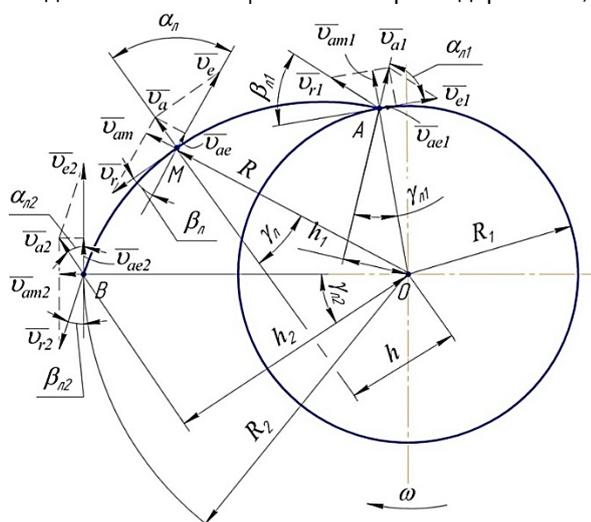


Рис. 1. Схема к определению зависимостей напора, создаваемого лопастным тарелкодержателем и мощности, необходимой для придания потоку молока движения по подводящим каналам с требуемой угловой скоростью:  $R$  – радиус точки лопасти тарелкодержателя, м;  $h$  – плечо вектора  $dm \cdot v_a$  относительно точки  $O$  принадлежащей оси  $z$ , м;  $dm$  – масса частицы молока, кг;  $v_a$  – вектор абсолютной скорости частицы молока;  $v_e$  – вектор переносной скорости частицы молока;  $v_r$  – вектор относительной скорости частицы молока;  $v_{ae}$  – вектор скорости, определяемый проекцией абсолютной скорости  $v_a$  на ось, проходящую через вектор переносной скорости  $v_e$ ;  $v_{am}$  – вектор скорости, определяемый проекцией абсолютной скорости  $v_a$  на ось, проходящую в радиальном направлении через точку лопасти тарелкодержателя;  $\omega$  – угловая скорость лопастного тарелкодержателя, с<sup>-1</sup>;  $\alpha_n$  – угол, образованный векторами абсолютной  $v_a$  и переносной  $v_e$  скоростей, град.;  $\beta_n$  – угол, образованный вектором относительной скорости  $v_r$  и обратным направлением вектора переносной скорости  $v_e$ , град.;  $\gamma_l$  – угол, образованный вектором абсолютной скорости  $v_a$  и радиусом  $R$ , град.; 1, 2 – индексы, соответствующие началу в точке  $A$  и концу лопасти в точке  $B$  тарелкодержателя

Теоретическая мощность, необходимая для придания потоку молока движения по подводящим каналам лопастного тарелкодержателя, определится выражением [2, 3]:

$$N_m = (M_{z2}^E - M_{z1}^E) \cdot \omega, \quad (4)$$

где  $\omega = \frac{v_e}{R}$  – угловая скорость лопастного тарелкодержателя, с<sup>-1</sup>.

Теоретический напор, создаваемый лопастным тарелкодержателем с учетом формул (3) и (4), определится уравнением

$$H_m = \frac{N_m}{\rho \cdot g \cdot Q} = \frac{v_{e2} \cdot v_{ae2} - v_{e1} \cdot v_{ae1}}{g}. \quad (5)$$

Уравнение (5) с учетом уравнения (2) и в предположении бесконечного числа лопастей при  $v_{am} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h_{л}}$  примет вид:

$$H_m = \frac{\omega^2 \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{g} + \frac{\omega \cdot (\text{ctg} \beta_{л1} - \text{ctg} \beta_{л2})}{2 \cdot \pi \cdot g \cdot h_{л}} \cdot Q, \quad (6)$$

где  $h_{л}$  – высота лопасти тарелкодержателя, м.

Действительный напор будет несколько меньше теоретического:

$$H_{\theta} = \frac{k \cdot \eta_z \cdot \omega^2 \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{g} + \frac{k \cdot \eta_z \cdot \omega \cdot (\text{ctg} \beta_{л1} - \text{ctg} \beta_{л2})}{2 \cdot \pi \cdot g \cdot h_{л}} \cdot Q, \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент циркуляции;

$\eta_z$  – гидравлический КПД.

Действительная мощность, необходимая для придания потоку молока движения по подводящим каналам лопастного тарелкодержателя с требуемой угловой скоростью, с учетом уравнения (5):

$$N_{\theta} = k \cdot \eta_z \cdot \omega^2 \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot Q + \frac{k \cdot \eta_z \cdot \rho \cdot \omega \cdot (\text{ctg} \beta_{л1} - \text{ctg} \beta_{л2})}{2 \cdot \pi \cdot h_{л}} \cdot Q^2. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) можно представить в следующем виде:

$$H_{\theta} = A_H + B_H \cdot Q; \quad (9)$$

$$N_{\theta} = A_N \cdot Q + B_N \cdot Q^2. \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) представлены в виде зависимостей  $H_{\theta} = f(Q)$  и  $N_{\theta} = f(Q)$  (рис. 2).

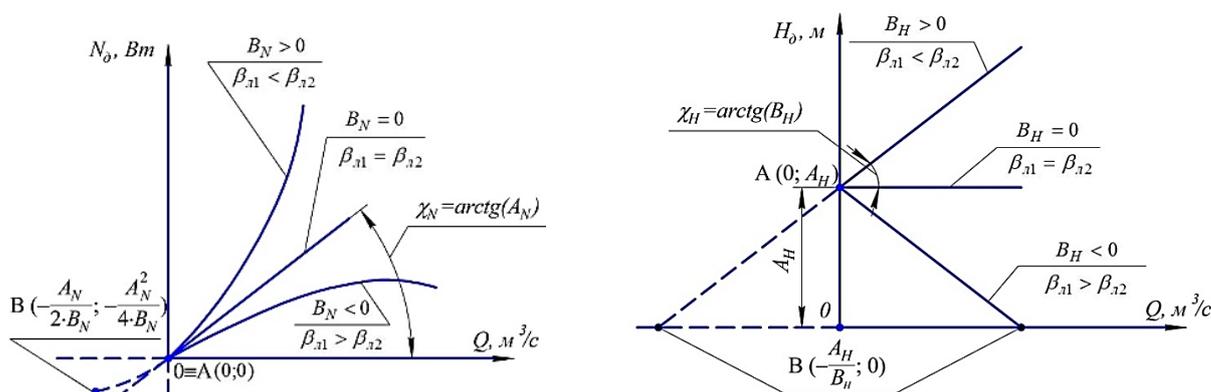


Рис. 2. Схемы к определению графиков зависимости  $H_{\theta} = f(Q)$ ,  $N_{\theta} = f(Q)$  при различных углах  $\beta_{л1}$  и  $\beta_{л2}$

Для снижения механического воздействия лопастей на поток молока необходимо (рис. 2), чтобы его абсолютная скорость была минимальной, что возможно при  $\beta_{л1} > \beta_{л2}$ , а угол и  $\beta_{л2}$  должен быть минимальным, чтобы сход с лопасти был безударным. Это позволит понизить скоростной напор и повысить подачу молока при меньшей потребляемой мощности, что выполнимо при  $50^{\circ} \geq \beta_{л1} \geq 10^{\circ}$ ,  $\beta_{л2} \leq 20^{\circ}$ . Таким образом, применимы лопасти, загнутые противоположно направлению вращения, а для обеспечения плавности потока

молока, – имеющие криволинейный профиль, описывающий его среднюю линию по одному радиусу, что обеспечивает постоянство кривизны и способствует плавному течению потока молока и меньшему воздействию на жировые шарики. Следовательно, углы  $\beta_{л1}$  и  $\beta_{л2}$  являются конструктивно определяющими [4, 7].

На основании теоретических исследований разработан и изготовлен опытно-конструкторский образец сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем [1, 6] и определены оптимальные значения углов, образованных вектором относительной скорости и обратным направлением вектора переносной скорости для начала лопастей  $50^{\circ}$  и конца лопастей  $-1^{\circ}$ , угловой скорости барабана –  $1130 \text{ с}^{-1}$ , температуры молока –  $44^{\circ}\text{C}$  при производительности сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем –  $0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Заключение.** Обоснован криволинейный профиль лопастей тарелкодержателя, выполненный по дуге окружности противоположно направлению вращения барабана. Определены значения углов, образованных вектором относительной скорости и обратным направлением вектора переносной скорости для начала и конца наружной и внутренней лопастей, которые соответственно составили  $50^{\circ}$  и  $1^{\circ}$  в зависимости от анализа полученных уравнений напора, создаваемого лопастным тарелкодержателем и мощности, необходимой для придания потоку молока движения по подводным каналам. Установлена производительность каждого отдельного межтарелочного пространства, которая является величиной постоянной, что подтверждает равномерность заполнения межтарелочных пространств молоком.

#### Библиографический список

1. Пат. 2539759 Российская Федерация, МПК А01J 11/10, (2006.01). Сепаратор-сливкоотделитель / Яшин А. В., Щербатов С. И., Саввин А. В. [и др.]. – заявл. 26.02.2013 ; опубл. 27.01.2015, Бюл. №3. – 7 с.
2. Яшин, А. В. К вопросу определения потребной мощности маслоизготовителя / А. В. Яшин, В. С. Парфенов // Аграрный научный журнал. – 2007. – №6. – С. 70-72.
3. Яшин, А. В. Оптимизация устройства агрегации микрометрических тел с встречновращающимися лентами Мёбиуса / А. В. Яшин, В. С. Парфенов, В. Н. Стригин, И. Н. Сёмов. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 164 с.
4. Яшин, А. В. Профилирование лопастей тарелкодержателя сепаратора-сливкоотделителя / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Нива Поволжья. – 2014. – №3(32). – С. 84-88.
5. Яшин, А. В. Результаты экспериментальных исследований сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Образование, наука, практика: инновационный аспект : сб. Международной науч.-практ. конф., посвященной дню Российской науки. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – Т. II. – С. 138-141.
6. Яшин, А. В. Сепаратор-сливкоотделитель для мелкотоварных хозяйств / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Нива Поволжья. – 2014. – №3(32). – С. 88-92.
7. Яшин, А. В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров лопастного тарелкодержателя сепаратора-сливкоотделителя / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Образование, наука, практика: инновационный аспект : сб. Международной науч.-практ. конф., посвященной дню Российской науки. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – Т. II. – С. 146-150.

DOI 10.12737/24510

УДК 62-522

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С МНОГОКОНТУРНЫМИ СИСТЕМАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Симанин Николай Алексеевич**, канд. техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: nsimanin@mail.ru

**Коновалов Владимир Викторович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

**Петрова Светлана Станиславовна**, канд. техн. наук, доцент, инженер ООО «Премиум».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 101 а.

E-mail: ssaariz@mail.ru

**Ключевые слова:** точность, контроль, погрешность, обработка, преобразователь.

*Цель исследования – повышение точности изготовления деталей резанием в машиностроении и ремонтном производстве. Одним из направлений повышения точности обработки на металлорежущих станках является их оснащение системами активного контроля и автоматического регулирования размеров деталей. Для создания таких систем необходима разработка и внедрение первичных измерительных преобразователей (датчиков),*