

Научная статья  
УДК 637.1.023  
doi:10.35694/YARCX.2025.72.4.024

## МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ СЕПАРАТОРА МОЛОКА

**Я. М. Кашин<sup>1</sup>, Л. Е. Копелевич<sup>2</sup>, А. В. Самородов<sup>3</sup>,  
Я. А. Авраменко<sup>4</sup>, А. Е. Алланов<sup>5</sup>, И. А. Михно<sup>6</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup>Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Иван Александрович Михно,  
Imixnow@yandex.ru, ORCID 0009-0003-9254-002X

**Реферат.** В статье представлен расчёт момента инерции барабана молочного сепаратора-сливкоотделителя совмещённой конструкции, в которой барабан является одновременно ротором приводного асинхронного электродвигателя. Предложен подход к определению момента инерции, учитывающий сложную геометрию барабана и изменение массы поступающего сырья различной плотности в процессе сепарирования. Конструкция барабана условно была разбита на простые геометрические элементы, что позволило вывести аналитическое выражение для расчёта момента инерции барабана. Результаты исследования направлены на минимизацию энергозатрат и повышение надёжности работы сепаратора.

**Ключевые слова:** момент инерции, молочный сепаратор, сепарирование молока, барабан сепаратора, энергозатраты, стабильность скорости вращения, приводной электродвигатель, усечённый конус, механика твёрдого тела

## INERTIA MOMENTS OF THE MILK SEPARATOR

**Ya. M. Kashin<sup>1</sup>, L. E. Kopelevich<sup>2</sup>, A. V. Samorodov<sup>3</sup>,  
Ya. A. Avramenko<sup>4</sup>, A. E. Allanov<sup>5</sup>, I. A. Mikhno<sup>6</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup>Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Author responsible for correspondence: Ivan A. Mikhno,  
Imixnow@yandex.ru, ORCID 0009-0003-9254-002X

**Abstract.** The article presents the calculation of the moment of inertia of the milk skimming machine bowl of a combined design, in which the drum is also the rotor of the induction drive motor. An approach to determining the moment of inertia is proposed, taking into account the complex geometry of the drum and the change in the mass of incoming raw materials of different density during the separation process. The design of the drum was conditionally divided into simple geometric elements, which made it possible to derive an analytical expression for calculating the moment of inertia of the drum. The study results are aimed at minimizing energy consumption and increasing the reliability of the separator.

**Keywords:** moment of inertia, milk separator, milk separation, separator drum, energy consumption, rotation speed stability, drive motor, flattened cone, solid mechanics

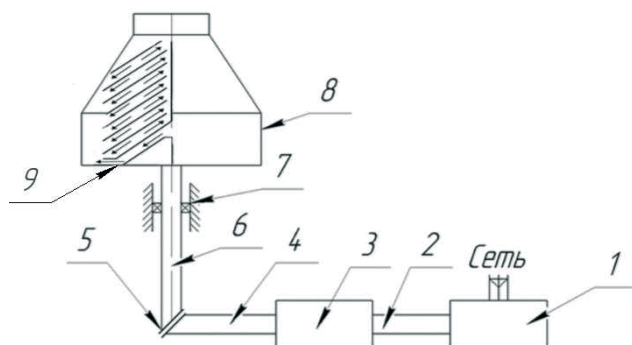
**Введение.** В процессе обработки молока в сельскохозяйственной отрасли применяются различные устройства, например, молочные сепараторы-сливкоотделители. Эффективность данных устройств напрямую влияет на энергозатраты сельскохозяйственных предприятий, на обеспечение качества и объёмов выпускаемой продукции, являющихся важными факторами для развития агропромышленного комплекса. Эффективность работы самого сепаратора напрямую зависит от стабильности скорости вращения барабана, которая, прежде всего, обусловлена его моментом сопротивления и моментом инерции [1].

Сепарируемые продукты, поступающие в барабан сепаратора, имеют, как правило, различную плотность. Это обуславливает изменение момента инерции и мо-

мента сопротивления барабана в процессе сепарирования. Исследование изменяющегося момента инерции позволит обеспечить минимизацию энергозатрат на производство молочных изделий и повысить надёжность работы оборудования [2].

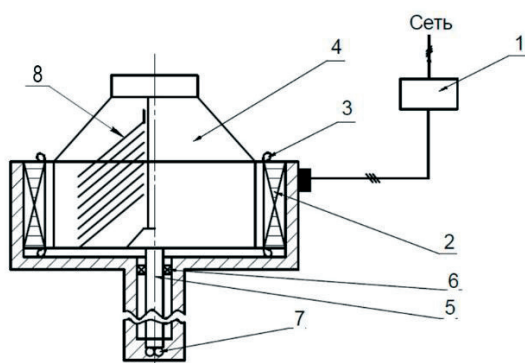
В настоящее время широко применяются сепараторы классической конструкции [3], кинематическая схема электропривода которых представлена на рисунке 1.

Электрическая энергия подаётся на обмотку статора приводного асинхронного электродвигателя 1 и преобразуется в энергию вращающегося магнитного поля, которая преобразуется в механическую энергию вращения вала 2 приводного асинхронного электродвигателя 1 [4]. Эта энергия передаётся на зубчатую цилиндрическую передачу (мультипликатор) 3. Мультипликатор



1 – приводной асинхронный электродвигатель;  
2 – вал электродвигателя; 3 – зубчатая цилиндрическая передача (мультипликатор); 4 – горизонтальный вал;  
5 – коническая зубчатая передача; 6 – вертикальный вал;  
7 – подшипники; 8 – барабан; 9 – разделительные тарелки.

Рисунок 1 – Кинематическая схема электропривода сепаратора с барабаном



1 – управляющее устройство; 2 – магнитопровод статора приводного асинхронного электродвигателя; 3 – обмотка статора приводного асинхронного электродвигателя;  
4 – ротор-барабан сепаратора, выполняющего одновременно функцию ротора приводного асинхронного электродвигателя (массивный ротор приводного асинхронного электродвигателя); 5 – ось; 6 – подшипниковые узлы; 7 – упорный подшипник; 8 – разделительные тарелки.

Рисунок 2 – Кинематическая схема электропривода сепаратора совмещённой конструкции

повышает скорость вращения горизонтального вала 4 по сравнению со скоростью вращения вала 2 приводного асинхронного электродвигателя 1. Механическая энергия вращения с горизонтального вала 4 через коническую зубчатую передачу 5 и вертикальный вал 6 передается барабану 8, обеспечивая его вращение. Часть механической энергии вращения барабана 8 расходуется на обеспечение технологического процесса разделения молока на фракции посредством разделительных тарелок 9. В процессе преобразования и передачи энергии возникает её потеря, в том числе часть этих потерь энергии расходуется на преодоление трения в подшипниках 7 [5]. Каждая ступень преобразования и передачи энергии уменьшает общее значение КПД и увеличивает затраты на обслуживание [6].

Классическая кинематическая схема электропривода сепаратора, представленная на рисунке 1, имеет

ряд недостатков. Количество ступеней преобразования и передачи энергии в этой схеме равно пяти:

- преобразование электрической энергии, подаваемой на обмотку статора приводного асинхронного электродвигателя 1, в энергию вращающегося магнитного поля;

- преобразование энергии вращающегося магнитного поля в механическую энергию вращения ротора (вала 2) приводного асинхронного электродвигателя 1;

- передача механической энергии вращения от ротора (вала 2) приводного асинхронного электродвигателя 1 к зубчатой цилиндрической передаче (мультипликатору) 3;

- передача механической энергии вращения от зубчатой цилиндрической передачи (мультипликатора) 3 через горизонтальный вал 4 к конической зубчатой передаче 5;

- передача механической энергии вращения от конической зубчатой передачи 5 через вертикальный вал 6 барабану 8.

Для повышения общего значения КПД и надёжности работы сепаратора представляется целесообразным для приведения во вращение рабочего органа сепаратора – барабана – использовать электропривод совмещённой конструкции. Это электропривод, ротор приводного двигателя которого совмещает в себе две функции: функцию ротора приводного электродвигателя и функцию рабочего органа (в нашем случае – барабана) сепаратора [7; 8].

Кинематическая схема электропривода сепаратора совмещённой конструкции представлена на рисунке 2.

Для вращения ротора, являющегося барабаном 4 сепаратора совмещённой конструкции, необходимо подать напряжение из сети через управляющее устройство 1 на обмотку 3 статора приводного асинхронного электродвигателя, размещённую в пазах магнитопровода 2 статора приводного асинхронного электродвигателя. Протекающие под действием этого напряжения в обмотке 3 статора приводного асинхронного электродвигателя электрические токи создают вращающееся магнитное поле, которое индуцирует вихревые токи в массивной части ротора-барабана 4, установленного в корпусе на подшипниковых опорах 6 и 7. Взаимодействие магнитного поля, созданного токами в обмотке 3 статора приводного асинхронного электродвигателя, с магнитным полем, вызванным вихревыми токами в роторе-барабане 4, создаёт вращающий момент, приводящий ротор-барабан 4 во вращение [8].

Целью работы является разработка методики расчёта совокупного момента инерции электропривода совмещённой конструкции, когда ротор совмещает в себе две функции: функцию ротора приводного электродвигателя и функцию рабочего органа – фактически является ротором-барабаном сепараторов для молочной промышленности.

Новизна работы заключается в исследовании электропривода молочного сепаратора молока, когда ротор совмещает в себе две функции: функцию ротора приводного электродвигателя и функцию рабочего органа. А также было получено выражение для момента инер-

ции системы электропривода совмещённой конструкции, что закладывает основу для проектирования нового поколения отечественного сельскохозяйственного оборудования с улучшенными технико-экономическими показателями.

**Материалы и методы.** Для учёта изменяющегося момента инерции ротора-барабана сепаратора совмещённой конструкции в процессе сепарирования молока авторами предложена формула (выражение) для расчёта его момента инерции, которая учитывает сложную геометрию его различных элементов. Выведенная формула для расчёта момента инерции электропривода сепаратора совмещённой конструкции может быть использована для дальнейших исследований, необходимых для выбора параметров магнитопровода и обмотки статора приводного асинхронного электродвигателя электропривода сепаратора [8; 9].

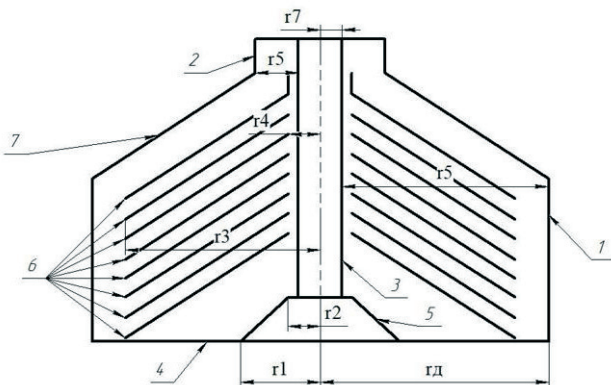
Барабан сепаратора имеет сложную геометрическую форму, состоящую из основания, крышки, тарелкодержателя и пакета тарелок, что усложняет расчёт момента инерции барабана. Поэтому при проведении исследований приняты следующие допущения: барабан сепаратора разбит на простые геометрические фигуры, представленные на рисунке 3 [9; 10].

Разделительные тарелки 8 ротора-барабана 4 (рис. 2) в качестве допущения при расчёте объединены в одну геометрическую фигуру – второй полый усечённый конус 6 (рис. 3).

В результате разбивки конструкции барабана на простые геометрические фигуры выделены следующие виды фигур: цилиндры; полые цилиндры; диски; усечённые конусы [11].

Моменты инерции, как известно [1], определяются по классическому принципу для материального кольца, где инерционная характеристика прямо пропорциональна массе элемента и квадрату его радиуса.

При расчёте момента инерции для диска, являющегося одним из ключевых элементов, учитывается его сплошная конструкция. Его момент инерции рассчитывается как половина произведения его массы на квадрат радиуса, что соответствует инерции сплошного круглого диска относительно его оси вращения.



1 – первый цилиндр; 2 – второй цилиндр; 3 – третий цилиндр; 4 – диск; 5 – первый полый усечённый конус; 6 – второй полый усечённый конус (пакет тарелок); 7 – третий полый усечённый конус.

Рисунок 3 – Упрощённая схема барабана сепаратора

Особенностью данной модели является наличие трёх полых усечённых конусов, момент инерции для каждого из которых вычисляется по более сложной зависимости. Он пропорционален массе конуса и определяется половиной суммы квадратов радиусов его оснований и их произведения. Эта формула интегрирует геометрию конуса, позволяя точно учесть распределение массы относительно оси вращения.

Общий момент инерции всей совмещённой конструкции является аддитивной величиной, полученной путём сложения рассчитанных моментов инерции всех перечисленных выше элементов.

Полное выражение для момента инерции барабана сепаратора имеет следующий вид:

$$J_6 = J_{ц1} + J_{ц2} + J_{ц3} + J_д + J_{к1} + J_{к2} + J_{к3}, \quad (1)$$

где  $J_6$  – момент инерции барабана сепаратора;  $J_{ц1}$  – момент инерции первого цилиндра;  $J_{ц2}$  – момент инерции второго цилиндра;  $J_{ц3}$  – момент инерции третьего цилиндра;  $J_д$  – момент инерции диска;  $J_{к1}$  – момент инерции первого полого усечённого конуса;  $J_{к2}$  – момент инерции второго полого усечённого конуса;  $J_{к3}$  – момент инерции третьего полого усечённого конуса.

В развёрнутом виде формула (1) при подстановке значений моментов инерции всех элементов имеет следующий вид:

$$J_6 = m_1 r_д^2 + m_2 r_6^2 + m_3 r_7^2 + \frac{m_4 r_д^2}{2} + \frac{m_5}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) + \frac{m_6}{3} (r_3^2 + r_3 r_4 + r_4^2) + \frac{m_7}{3} (r_5^2 + r_5 r_6 + r_6^2), \quad (2)$$

где  $m$  – масса элемента барабана сепаратора;  $r$  – радиус элемента барабана сепаратора; индексы при параметрах элементов барабана сепаратора ( $m$ ,  $r$ ) соответствуют позициям этих элементов на рисунке 3.

Момент инерции сепаратора, представленного на рисунке 1, включает в себя момент инерции барабана и момент инерции электропривода и определяется выражением:

$$J_{\text{клас}} = J_{\text{двиг}} + J_{\text{вал2}} + \frac{J_{\text{мульти}} + J_{\text{вал4}}}{i_1^2} + \frac{J_{\text{конич}} + J_{\text{вал6}} + J_6}{i_2^2}, \quad (3)$$

где  $J_{\text{клас}}$  – момент инерции сепаратора молока, представленного на рисунке 1;  $J_{\text{двиг}}$  – момент инерции приводного асинхронного двигателя 1 (выбирается из справочника для асинхронных электродвигателей, к примеру [12]);  $J_{\text{вал2}}$  – момент инерции вала 2 приводного асинхронного электродвигателя;  $J_{\text{вал4}}$  – момент инерции горизонтального вала 4;  $J_{\text{вал6}}$  – момент инерции вертикального вала 6 (момент инерции вала определяется по выражению:  $J_i = m_i r_i^2$ , где  $m_i$  – масса вала;  $r_i$  – радиус вала);  $J_6$  – момент инерции барабана 8 определяется по (1);  $J_{\text{мульти}}$  – момент инерции зубчатой цилиндрической передачи (мультипликатора) 3 (выбирается из справочника, к примеру [13]);  $J_{\text{конич}}$  – момент инерции конической зубчатой передачи 5 (выбирается из справочника, к примеру [13]);  $i_1$  – передаточное

число зубчатой цилиндрической передачи (мультипликатора) 3 (определяется как  $i_1 = \frac{\omega_{\text{двиг}}}{\omega_{\text{вых1}}}$ , где  $\omega_{\text{двиг}}$  – угловая скорость вала 2 приводного асинхронного электродвигателя;  $\omega_{\text{вых1}}$  – угловая скорость горизонтального вала 4 [1; 13; 14]);  $i_2$  – передаточное число конической зубчатой передачи 5 (определяется как  $i_2 = \frac{\omega_{\text{двиг}}}{\omega_{\text{вых2}}}$ , где  $\omega_{\text{двиг}}$  – угловая скорость вала 2 приводного асинхронного электродвигателя;  $\omega_{\text{вых2}}$  – угловая скорость вертикального вала 6) [1; 13; 15].

Формулу для расчёта момента инерции сепаратора молока, представленного на рисунке 2, получим, исключив из (3)  $J_{\text{двиг}}$ ,  $J_{\text{вал2}}$ ,  $J_{\text{мульти}}$ ,  $J_{\text{вал4}}$ ,  $J_{\text{конич}}$ ,  $J_{\text{вал6}}$ ,  $i_{\text{конич}}$ ,  $i_{\text{конич}}$ :

$$J_{\text{совм}} = J_6, \quad (4)$$

где  $J_{\text{совм}}$  – момент инерции сепаратора молока с электроприводом совмещённой конструкции, представленным на рисунке 2.

Таким образом, момент инерции сепаратора молока с электроприводом совмещённой конструкции, представленным на рисунке 2, равен моменту инерции барабана сепаратора.

Время разгона барабана зависит от момента инерции электропривода и момента инерции барабана и определяется по формуле (5) [14; 15; 16]:

$$t = \frac{J(\omega_{\text{ном}} - \omega_0)}{(M_{\text{макс}} - M_{\text{нагр}}) \cdot g}, \quad (5)$$

где  $\omega_{\text{ном}}$  – номинальная угловая скорость барабана сепаратора;  $\omega_0$  – начальная угловая скорость барабана сепаратора;  $M_{\text{макс}}$  – максимальный вращающий момент приводного асинхронного двигателя при номинальном напряжении;  $M_{\text{нагр}}$  – момент нагрузки электропривода сепаратора молока;  $J$  – суммарный момент инерции электропривода сепаратора молока и барабана сепаратора, определяемый по формуле (2) или (3);  $g$  – ускорение свободного падения.

$$J_6 = 86,2 \cdot 0,2^2 + 0,46 \cdot 0,05^2 + 1,29 \cdot 0,02^2 + \frac{49,2 \cdot 0,2}{2} + \frac{0,58}{3} \cdot (0,07^2 + 0,07 \cdot 0,02 + 0,02^2) + \frac{2,8}{3} \cdot (0,17^2 + 0,17 \cdot 0,03 + 0,03^2) + \frac{0,96}{3} \cdot (0,05^2 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,2^2) = 2,76 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (6)$$

Момент инерции сепаратора, представленного на рисунке 1, по (3):

$$J_{\text{клас}} = 0,05 + 0,05 + \frac{0,05 + 0,05}{0,2^2} + \frac{0,05 + 0,05 + 2,76}{0,2^2 \cdot 1^2} = 14,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (7)$$

Результаты сравнительных расчётов, представленные в таблице 1, свидетельствуют о снижении потребления электроэнергии при использовании сепаратора с электроприводом совмещённой конструкции по сравнению с сепаратором на основе электропривода классической компоновки.

Предварительный анализ, приведённый в таблице 1, показывает потенциальную экономию ресурсов, что подтверждает перспективность внедрения предложенных технических решений и использование полученной формулы для определения совокупного момента инер-

Электрические потери в процессе пуска электропривода являются значимым фактором общего энергопотребления. Данный показатель рассчитывается на основе параметров электродвигателя и режима его работы. Потери мощности при пуске прямо пропорциональны сопротивлению обмоток ротора, квадрату номинального тока и квадрату кратности пускового тока.

Потери энергии при пуске прямо пропорциональны потерям мощности, времени разгона, количеству смен работы сепаратора в году и количеству его пусков. Данная методика позволяет получить интегральную оценку энергии, теряемой исключительно в режимах пуска системы.

**Результаты.** В ходе исследования выведена и теоретически обоснована формула для определения совокупного момента инерции электропривода совмещённой конструкции сепаратора молока, когда ротор совмещает в себе две функции: функцию ротора приводного электродвигателя и функцию рабочего органа.

Для оценки практической значимости электропривода совмещённой конструкции сепаратора молока был выполнен расчёт энергозатрат данного сепаратора в сравнении с сепаратором классической компоновки. Анализ проводился для режима эксплуатации, эквивалентного двум полным рабочим сменам в течение календарного года при количестве пусков с учётом регламента работы сепараторных установок. Расчёты производились на основе сепаратора Ж5-ОСЦП-3, выпускаемого заводом Плава, (Плавский машиностроительный завод) [10].

Ниже приведены численные значения, полученные на основе (1), (2), (3), (4), с использованием массогабаритных показателей и технических данных сепаратора Ж5-ОСЦП-3.

Момент инерции барабана сепаратора по (1) и (2):

ции электропривода совмещённой конструкции сепаратора молока, когда ротор совмещает в себе две функции: функцию ротора приводного электродвигателя и функцию рабочего органа.

#### Выводы.

1. Полученная в данной работе формула (4) позволяет рассчитать момент инерции ротора-барабана сепаратора с электроприводом совмещённой конструкции. А следовательно – и параметры статора приводного асинхронного электродвигателя электропривода сепаратора молока совмещённой конструкции, в которой массивный ротор приводного асинхронного электродвигателя выполняет одновременно функцию барабана сепаратора.

2. Использование электропривода сепаратора молока совмещённой конструкции, основанной на совмещении ротора приводного асинхронного электродвигателя и барабана сепаратора, позволит проектировать энергоэффективные электроприводы сепараторов для

Таблица 1 – Результаты расчёта энергопотребления сепаратора молока классической конструкции и сепаратора молока с электроприводом совмещённой конструкции

Наименование параметра	Значение параметра	
	Сепаратор молока классической конструкции	Сепаратор молока с электроприводом совмещённой конструкции
Момент инерции сепаратора (J), кг·м <sup>2</sup>	14,32	2,83
Время разгона (t), с	37,00	7,34
Потребляемая мощность приводным асинхронным электродвигателем, кВт	4,93	4,23
Потребление энергии в год, кВт·ч	51,8	12,23
Экономия энергии, кВт·ч	–	39,6

агропромышленного комплекса, а внедрение таких сепараторов – сократить затраты при производстве молочной продукции.

3. Сокращение количества ступеней преобразования энергии в сепараторе совмещённой конструкции, по

сравнению с сепаратором на основе классической кинематической схемы, позволит уменьшить суммарный момент инерции сепаратора, что приведёт к уменьшению времени пуска сепаратора на 80% и годовое потребление энергии – на 76%.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яворский Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / под ред. Б. М. Яворского. 10-е изд., испр. М. : ООО «Издательство Ониск» : ООО «Издательство «Мир и Образование», 2019. 1054 с. ISBN 978-5-488-02655-3.
2. Бузоверов С. Ю. Инновационные подходы в модернизации технологии и оборудования для производства питьевого молока // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (126). С. 129–132. EDN TPFVKJ.
3. Chebotarev E., Sugarov K., Bratsikhin A. Milk and its properties as an object of separation // Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018. Vol. 25. P. 101–106. EDN WUNADY.
4. Sivaraman P., Sharmeela C., Thaiyal Nayagi A., Mahendran R. AC Machines // Basic Electrical and Instrumentation Engineering. Wiley-Scrivener, 2021, P. 185–241. ISBN 978-1-119-76512-7.
5. Krause P. C., Wasynczuk O., O'Connell T. Electric Drives // Introduction to the Analysis of Electromechanical Systems. John Wiley & Sons, 2022. P. 165–192. ISBN 978-1-119-82999-7.
6. Wang F. "F.", Zhang Z., Chen R. Mechanical System // Design of Three-phase AC Power Electronics Converters. Wiley-IEEE Press, 2024. P. 471–506. DOI 10.1002/9781119794264.ch11.
7. Пат. 2752726 С1 Российская Федерация, МПК В04В 9/02 (2006.01). Центробежный сепаратор / Я. М. Кашин, Л. Е. Копелевич, В. А. Ким ; патентообладатель ФГБОУ ВО «КубГТУ». № 2020137494 ; заявл. 16.11.2020 ; опубл. 30.07.2021, Бюл. № 22. 10 с.
8. Пат. 2706320 Российская Федерация, МПК В04В 9/02 (2006.01). Сепаратор для полидисперсных жидких систем / Я. М. Кашин, Л. Е. Копелевич, А. В. Самородов, В. А. Ким ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КубГТУ». № 2019111177 ; заявл. 12.04.2019 ; опубл. 15.11.2019, Бюл. № 32. 9 с.
9. Гайтов Б. Х., Кашин Я. М., Копелевич Л. Е. [и др.] Установка для сепарации нефти на базе двигателя-сепаратора // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 90–92. DOI 10.24887/0028-2448-2017-7-90-92. EDNZEZXR.
10. Плава: сайт АО «Плавский машиностроительный завод «Плава». URL: <https://www.plava.ru> (дата обращения: 12.04.2025).
11. Козярук А. Е., Васильев Б. Ю. Методы и средства повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронными электроприводами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15, № 1. С. 47–53. DOI 10.14529/power150106. EDN TKRYTP.
12. Киреева Э. А., Шерстнев С. Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) : справочное издание. 3-е изд., стер. М. : КНОРУС, 2016. 862 с. ISBN 978-5-406-01218-7. DOI 10.15216/978-5-406-04842-9.
13. Чурюмов В. Ю., Савич В. Л., Гулятьев В. И., Фомин К. В. Анализ работы инерционных сепараторов при очистке жидкостей и газов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S39. С. 14–25. DOI 10.25018/0236-1493-2019-12-39-14-25. EDN SCXRIJ.
14. Асафов В. А., Харитонов В. Д. Новые технологии и качество молочных продуктов // Молочная промышленность. 2018. № 10. С. 39–41. EDN YAMKVV.
15. Шилин В. А., Дружинина Е. С., Коптюхова А. А., Федорова-Семенова Т. Е. Молочные сепараторы для фермерских хозяйств. Особенности конструкции и направления совершенствования // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 41–47. EDN TJWCKH.
16. Сайгафарова А. К., Мартынов В. М. Оптимизация параметров сепаратора-сливкоотделителя // Студент и аграрная наука : материалы XV Всеросс. студ. научной конф., Уфа, 24–25 марта 2021 года. Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2021С. 192–195. EDN AHYWGM.

#### References

1. Yavorskij B. M., Detlaf A. A., Lebedev A. K. Spravochnik po fizike dlya inzhenerov i studentov vuzov / pod red. B. M. Yavorskogo. 10-e izd., ispr. M. : ООО «Izdatel'stvo Oniks» : ООО «Izdatel'stvo «Mir i Obrazovanie», 2019. 1054 s. ISBN 978-5-488-02655-3.
2. Buzoverov S. Yu. Innovacionnye podhody v modernizacii tekhnologii i oborudovaniya dlya proizvodstva pit'evogo moloka // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 4 (126). S. 129–132. EDN TPFVKJ.

3. Chebotarev E., Sugarov K., Bratsikhin A. Milk and its properties as an object of separation // Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018. Vol. 25. P. 101–106. EDN WUNADY.
4. Sivaraman P., Sharmeela C., Thaiyal Nayagi A., Mahendran R. AC Machines // Basic Electrical and Instrumentation Engineering. Wiley-Scrivener, 2021, P. 185–241. ISBN 978-1-119-76512-7.
5. Krause P. C., Wasynczuk O., O'Connell T. Electric Drives // Introduction to the Analysis of Electromechanical Systems. John Wiley & Sons, 2022. P. 165–192. ISBN 978-1-119-82999-7.
6. Wang F. "F", Zhang Z., Chen R. Mechanical System // Design of Three-phase AC Power Electronics Converters. Wiley-IEEE Press, 2024. P. 471–506. DOI 10.1002/9781119794264.ch11.
7. Pat. 2752726 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B04B 9/02 (2006.01). Centrobezhnyj separator / Ya. M. Kashin, L. E. Kopelevich, V. A. Kim ; patentoobladatel' FGBOU VO «KubGTU». № 2020137494 ; zayavl. 16.11.2020 ; opubl. 30.07.2021, Byul. № 22. 10 s.
8. Pat. 2706320 Rossijskaya Federaciya, MPK B04B 9/02 (2006.01). Separator dlya polidispersnyh zhidkih sistem / Ya. M. Kashin, L. E. Kopelevich, A. V. Samorodov, V. A. Kim ; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «KubGTU». № 2019111177 ; zayavl. 12.04.2019 ; opubl. 15.11.2019, Byul. № 32. 9 s.
9. Gajtov B. Kh., Kashin Ya. M., Kopelevich L. E. [i dr.] Ustanovka dlya separacii nefiti na baze dvigatelya-separatora // Neftyanoe hozyajstvo. 2017. № 7. S. 90–92. DOI 10.24887/0028-2448-2017-7-90-92. EDNZEZXR.
10. Plava: sajt AO «Plavskij mashinostroitel'nyj zavod «Plava». URL: <https://www.plava.ru> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
11. Kozyaruk A. E., Vasil'ev B. Yu. Metody i sredstva povysheniya energoeffektivnosti mashin i tekhnologij s asinhronnymi elektroprivodami // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya : Energetika. 2015. T. 15, № 1. S. 47–53. DOI 10.14529/power150106. EDN TKRYTP.
12. Kireeva E. A., Sherstnev S. N. Polnyj spravochnik po elektrooborudovaniyu i elektrotehnike (s primerami raschetov) : spravochnoe izdanie. 3-e izd., ster. M. : KNORUS, 2016. 862 s. ISBN 978-5-406-01218-7. DOI 10.15216/978-5-406-04842-9.
13. Churyumov V. Yu., Savich V. L., Gul'tyaev V. I., Fomin K. V. Analiz raboty inercionnyh separatorov pri oчитке zhidkostej i gazov // Gornyj informacionno-analicheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2019. № S39. S. 14–25. DOI 10.25018/0236-1493-2019-12-39-14-25. EDN SCXRIJ.
14. Asafov V. A., Kharitonov V. D. Novye tekhnologii i kachestvo molochnyh produktov // Molochnaya promyshlennost'. 2018. № 10. S. 39–41. EDN YAMKVV.
15. Shilin V. A., Druzhinina E. S., Koptukhova A. A., Fedorova-Semenova T. E. Molochnye separatory dlya fermerskih hozyajstv. Osobennosti konstrukcii i napravleniya sovershenstvovaniya // Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2014. № 4. S. 41–47. EDN TJWCKH.
16. Sajgafarova A. K., Martynov V. M. Optimizaciya parametrov separatora-slivkootdelitelya // Student i agrarnaya nauka : materialy XV Vseross. stud. nauchnoj konf., Ufa, 24–25 marta 2021 goda. Ufa : Bashkirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021S. 192–195. EDN AHYWGM.

#### *Сведения об авторах*

**Яков Михайлович Кашин** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электрических машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 1469-3593.

**Лев Ефимович Копелевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электрических машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 7163-0230.

**Александр Валерьевич Самородов** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электрических машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 6781-7566.

**Ярослав Андреевич Авраменко** – обучающийся факультета нефти, газа и энергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 9991-8840.

**Артём Евгеньевич Алланов** – обучающийся факультета нефти, газа и энергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 4141-4120.

**Иван Александрович Михно** – обучающийся факультета нефти, газа и энергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», spin-код: 7520-7842.

#### *Information about the authors*

**Yakov M. Kashin** – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 1469-3593.

**Lev E. Kopelevich** – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 7163-0230.

**Aleksandr V. Samorodov** – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 6781-7566.

**Yaroslav A. Avramenko** – student of the Faculty of Oil, Gas and Energy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 9991-8840.

**Artyom E. Allanov** – student of the Faculty of Oil, Gas and Energy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 4141-4120.

**Ivan A. Mikhno** – student of the Faculty of Oil, Gas and Energy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", spin-code: 7520-7842.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.