

УДК 621

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСТИРАНИЯ ЗЕРНА В
ЗАМОЧЕННОМ ВИДЕ**

Фролов Владимир Юрьевич
д.т.н., профессор

Класнер Георгий Георгиевич
кандидат технических наук, доцент

Кузнецов Владимир Иванович
кандидат технических наук, доцент

Алихаджиев Тимур Асламбекович
студент
3fedor_zhigaylov_sr_3@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

В статье представлено описание безотходной технологии получения жидких кормов (кормового соевого молока) применимой в условиях ведения ЛПХ и КФХ, в основе которой лежит лишь одно техническое средство, благодаря которому объединен целый ряд технологических операций, а при изменении кислотности, выделении сыворотки и выпадении осадка – «Тофу». В результате теоретических исследований получены: уравнение движения отдельно взятого зерна по поверхности рабочего абразивного диска; производительность, как по массе, так и по объему мощность необходимая для измельчения зерна

Ключевые слова: СОЕВОЕ МОЛОКО,
ВЫСОКОБЕЛКОВЫЕ КОРМА, КИНЕМАТИКА
ДВИЖЕНИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-194-018>

UDC 621

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**DEVELOPMENT AND THEORETICAL
JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF A DEVICE
FOR ABRIDGING GRAIN IN A SOCKED FORM**

Frolov Vladimir Yuryevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Klasner Georgy Georgievich
Candidate of technical sciences, associate professor

Kuznetsov Vladimir Ivanovich
Candidate of technical sciences, associate professor

Alikhadzhiev Timur Aslambekovich
student
3fedor_zhigaylov_sr_3@mail.ru
«Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilin», Krasnodar, Russia

The article presents a waste-free technology for the production of liquid food products (feed soy milk), which is applicable to individual farms, families and farmers based on a single technological resource. By combining technological processes with changes in acidity, milk and sediment - "tofu" - are released. As a result of theoretical studies, the following was obtained: the equation of motion of an individual grain along the surface of the working abrasive disk; productivity, both in terms of mass and volume, the power required to grind grain

Keywords: SOY MILK, HIGH-PROTEIN FEED,
MOTION KINEMATICS.

Введение

В Краснодарском крае, животноводческие и птицеводческие фермы в среднем на 70-75% обеспечены дорогостоящими, высокобелковыми кормами. Постоянный дефицит белка снижает продуктивность и качество скота, приводит к крайне непроизводительному расходу кормов (например,

дефицит белка в кормах на 20-25% увеличивает расход кормов на скот почти в 1,5 раза) и повышает себестоимость мяса, молока и других продуктов.

Соя является лидером в решении проблемы растительного белка в кормах для скота. В зависимости от способа подготовки зерна сои к скармливанию скоту и птице, ее кормовая ценность может достигать 1,45 единиц. В последние два десятилетия площади возделывания этой культуры увеличиваются как в Краснодарском крае, так в целом по России. Причем Краснодарский край занимает второе место после Амурской области по валовому сбору данной культуры.

Однако применение зерна сои в неподготовленном виде недопустимо.

Мы изучили основные способы подготовки зерна сои к скармливанию скоту и на основании исследований целого ряда ученых, вещающих о том, что наилучший способ подготовки соевых бобов для кормления животных — это получение растительной белковой суспензии. В жидкой виде, растительный соевый белок (кормовое соевое молоко) обладает наибольшей абсорбцией в организме животного.

На 1 литр кормового соевого молока приходится 28 гр усвояемого растительного белка, 1,73 МДж обменной энергии, а состав аминокислот близок к белкам животного происхождения.

Внедрение растительного белка сои в жидком виде в рацион кормления сельскохозяйственных животных и птицы позволит повысить суточный прирост веса у откормочного молодняка (поросят, телят, птицы и.т.д), увеличить удои и жирность молока у коров и в целом повысить продуктивность производства животноводческой и птицеводческой продукции.

При выпойке телят, в первую неделю выдают не более 250 грамм кормового соевого молока на голову. При этом наблюдается увеличение секреции пищеварительных ферментов поджелудочной железы, которые воздействуют на растительные компоненты заменителя, что в конечном

итоге позволяет приспособить пищеварительную систему телят к новому виду корма.

Поросят отъемышей также отпаивают соевым молоком в чистом виде или с добавлением концентратов из расчета 0,3 кг на 1 голову в сутки. С увеличением возраста поросят, разовую дозировку увеличивают до 3 литров в сутки, при этом срок выпойки может достигать 9 месяцев.

С целью увеличения общей жирности молока на 1-2% и общих суточных удоев у коров на 2-3 литра в особенности на ранней стадии периода лактации (после окончания продуцирования молозивного молока) в рационе кормления коров применяют соевое молоко.

На основании описанного выше [1], сделаем вывод, что кормовое соевое молоко — это очень питательный и экономически выгодный корм, но к длительному хранению не пригоден, поэтому и требуется внедрение (разработка) универсального малогабаритного оборудования для ЛПХ и КФХ, работающее по принципу: приготовил - выдал на корм.

В результате анализа технологий приготовления жидких высокобелковых кормов (кормового соевого молока) было выявлено, что все технологии приготовления кормового соевого молока базируются на единых принципах подготовки зерна к скармливанию животным, а именно вначале зерно измельчают, затем смешивают с водой (или вначале замачивают в воде и потом измельчают), таким образом получают белковую суспензию, далее полученную суспензию путем сепарирования отделяют от соевой окары, нагревают с целью уничтожения антипитательных веществ, а после охлаждения выдают на корм скоту.

Каждая технологическая операция предусматривает применение специализированного, дорогостоящего оборудования, целый комплекс машин и аппаратов, что в условиях ведения хозяйства на малых фермах с небольшим поголовьем скота не целесообразно. К тому же ситуацию усугубляет отсутствие возможности длительного хранения такого вида корма.

Методы и материалы

Мы предлагаем безотходную технологию (рисунок 1) применимую в условиях ведения ЛПХ и КФХ. А продуктом переработки зерна сои будет жидкая белковая суспензия (кормовое соевое молоко), при добавлении в него коагулянта (изменение кислотности), выделении сыворотки и выпадении осадка – «Тофу».

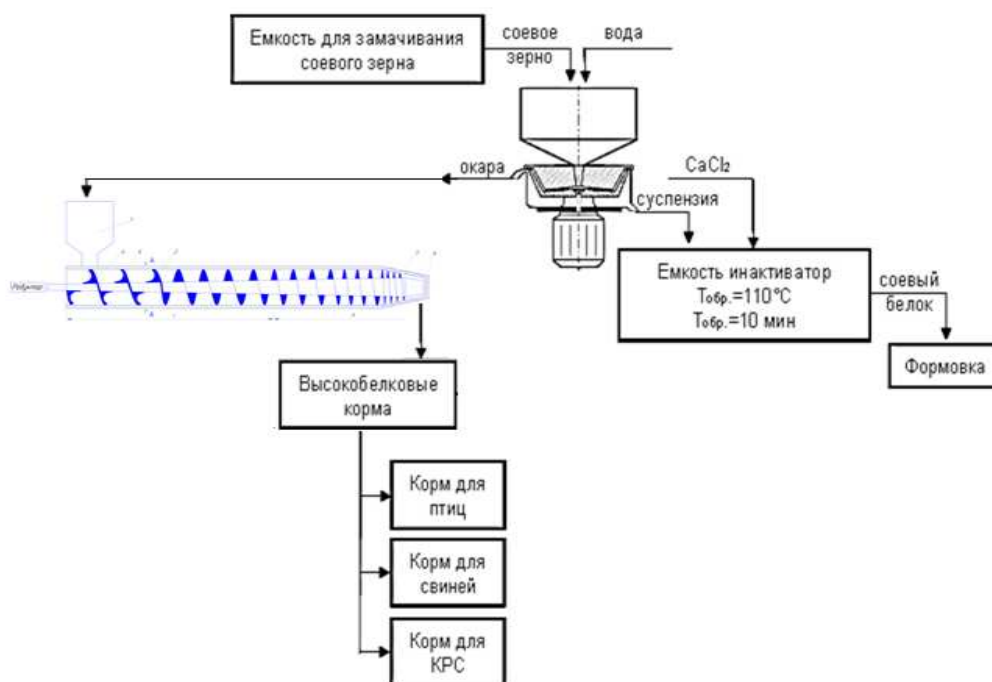


Рисунок 1 – Схема приготовления кормового соевого молока

Ключевым элементом предлагаемой технологической линии является лишь одно техническое средство (рисунок 2), благодаря которому мы объединили целый ряд технологических операций таких как истирание зерна в мелкофракционные частицы, смешивание с водой, отделение высокобелковой суспензии на жидкую (соевое молоко) и твердую (соевую окару) фракции в отдельные емкости.

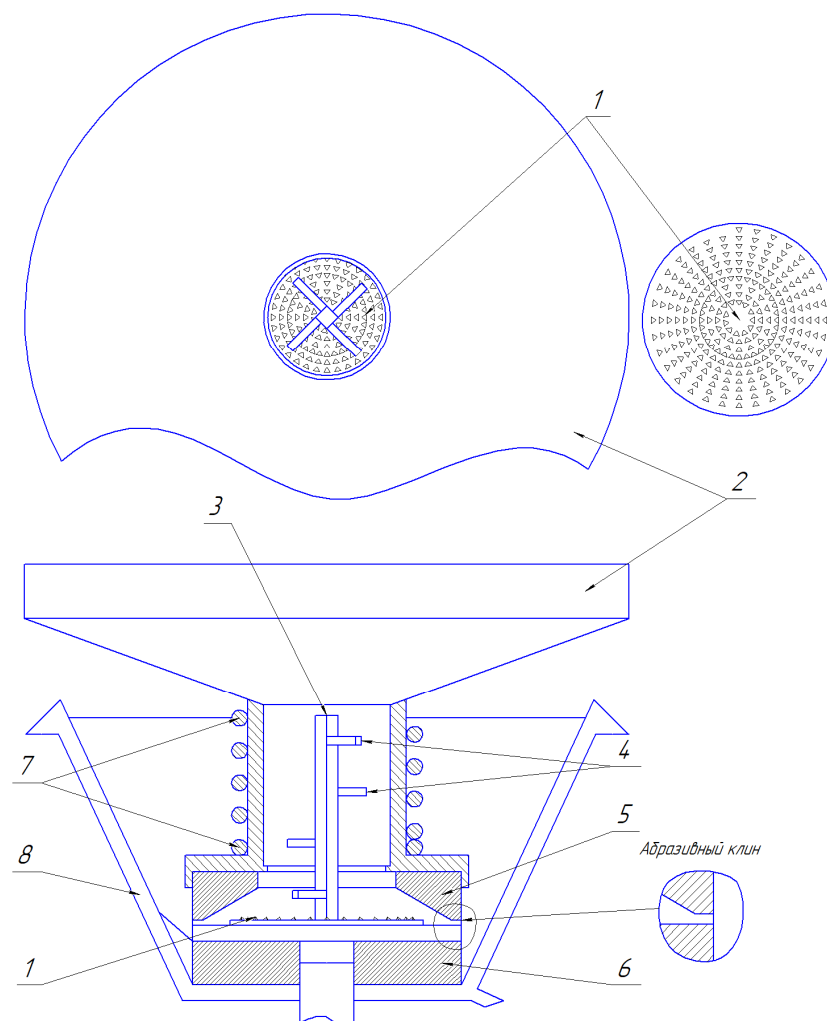


Рисунок 2 – Общий вид устройства для измельчения зернобобовых культур

- 1 – истирающий диск, 2 – подающая воронка, 3 – шток подачи бобов,
 4 – пальцы-ворошители, 5 – верхний жернов, 6 – нижний жернов,
 7 – пружина поджимающая верхний жернов, 8 – сито

Технический результат достигается за счет повышенной насыщенности экстракта растительным белком путем увеличения продолжительности взаимодействия измельченных и растворенных частиц в воде со штоком, имеющим квадратную форму сечения с пальцами-ворошителями, расположенными на разных гранях штока, совершающих полезную работу.

Результаты

В предлагаемом устройстве для измельчения зернобобовых культур ключевым технологическим процессом является мелкодисперсное истирание предварительно замоченного зерна в воде.

В теоретическом исследовании основной задачей было определение кинематики движения отдельно взятого зерна по рабочей поверхности абразивного диска. Были приняты следующие допущения: при изучении кинематики движения зерна по рабочей поверхности абразивного диска, сам рабочий орган (абразивный диск) рассматривался как плоскость круглой формы, а также рассматривалось приложение сил не на массу (совокупность) зерен, а на зерно в отдельности.

Так элементарное перемещение отдельно взятого зерна сои dS (рисунок 3) определяется из его совокупного перемещения в радиальном dr и тангенциальном направлениях $r d\theta$ [1].

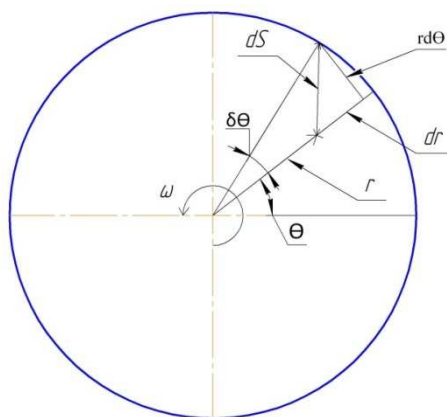


Рисунок 3 – Элементарное перемещение отдельно взятого зерна сои dS

Основываясь на рисунке 3, получим:

$$dS = \sqrt{dr^2 + r^2 d\theta^2}; \quad (1)$$

После некоторых преобразований (в соответствии с уравнением Лангранжа) получено следующее:

$$m\ddot{r} - mr(\omega - \dot{\varphi})^2 = Q_r; \tag{2}$$

$$2mr\dot{r}(\omega - \dot{\varphi}) - mr^2\ddot{\varphi} = Q_\theta; \tag{3}$$

где Q_r и Q_θ – обобщенные силы

m – масса отдельно взятого зерна, кг

r – радиус основания абразивного диска, м

ω – угловая скорость вращения абразивного диска, мин⁻¹

После решения уравнений получено выражение (4), описывающее траекторию движения отдельно взятого зерна:

$$r(\varphi) = r_0 e^{Y\sqrt{\varphi}}; \tag{4}$$

где $Y = \frac{v\sqrt{2}}{q}$.

Траектория движения отдельно взятого зерна имеет вид спирали Архимеда (рисунок 4).

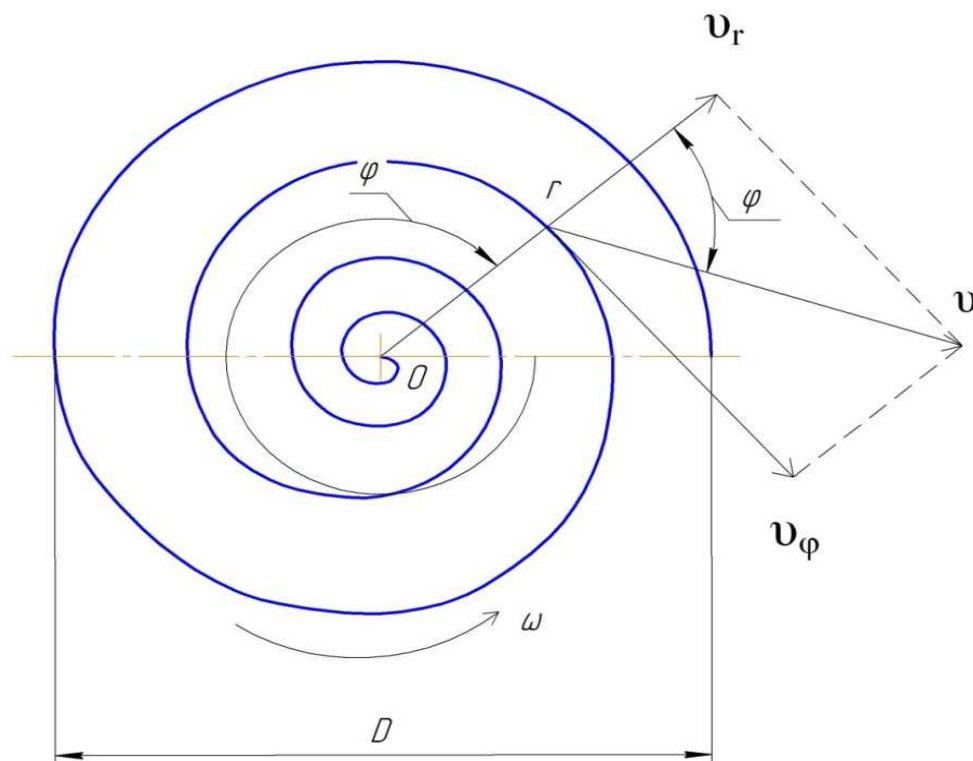


Рисунок 4 –Траектория движения отдельно взятого зерна
(спираль Архимеда)

D – диаметр рабочего органа (абразивного диска), v_φ – радиальная и азимутальная компонента скорости v , ψ – промежуток между вектором скорости v и образующей r .

На отдельно взятое зерно [1] приложены две силы – сила тяжести $P = mg$ и центробежная, направленная по касательной к периферии нижнего абразивного диска. Сила тяжести P , получена из векторной совокупности скатывающей силы $F_{ск} = mg\cos\beta$ и силы нормального давления $N = mg\sin\beta$ (рисунок 5).

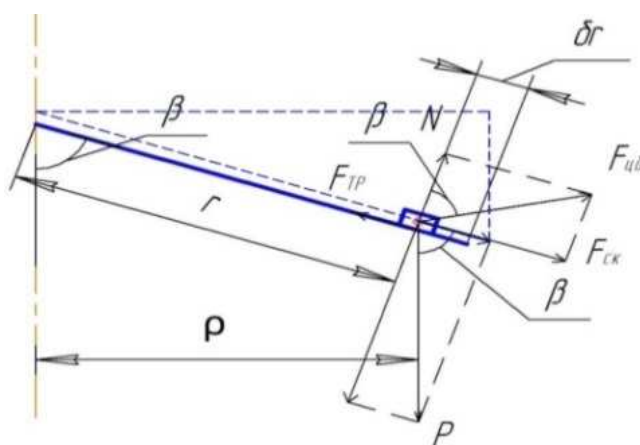


Рисунок 5 – Направление действия сил на на отдельно взятое зерно

Центробежная сила направлена по горизонтали и равна:

$$F_{ц\delta} = m\omega^2\rho = m\omega^2r\sin\beta; \quad (5)$$

где m – масса, кг; ρ – плотность, кг/м³; ω – угловая скорость, мин⁻¹

Результирующая сила, действующая вдоль образующей рабочей поверхности будет найдена как:

$$F_r = mg\cos\beta + m\omega^2r\sin^2\beta; \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Сила нормального давления [1] отдельно взятого зерна на поверхность:

$$N = mg\sin\beta - m\omega^2r\sin^2\beta\cos\beta; \quad (7)$$

Отсюда составляющая $F_{тр}^r$:

$$F_{\text{тр}}^r = -fN = -f(mg\sin\beta - m\omega^2 r\sin\beta\cos\beta); \quad (8)$$

где f – коэффициент трения

Сила N работы не производит, поэтому элементарная работа δA_r при движении отдельно взятого зерна на расстояние δr при $\delta\theta = 0$, равно:

$$\delta A_n = (F_r + F_{\text{тр}}^r)\delta r; \quad (9)$$

или

$$(mg\cos\beta + m\omega^2 r\sin^2\beta)\delta r - f(mg\sin\beta - m\omega^2 r\sin\beta\cos\beta)\delta r. \quad (10)$$

Объемная производительность устройства для измельчения зернобобовых культур Q напрямую зависит от радиальной составляющей скорости отдельно взятого зерна сои и диаметра абразивного диска:

$$Q = \pi D Z v_r; \quad (11)$$

где Z – зазор образованный двумя абразивными дисками, мм; v_r – линейная скорость зерна, м/с.

При допущении, что за единичный оборот в 360^0 кинетическая энергия вращения практически полностью теряется и должна быть возвращена за счет каких-то сопутствующих сил, например, вращения электродвигателем, потребную мощность сможем определить, как:

$$N_3 = E_k^{\text{вр}} \cdot \omega \quad (12)$$

где E_k – кинетическая энергия, Дж;

ω – угловая частота вращения диска, рад/с.

Поскольку $E_k^{\text{вр}} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$, где $J = m \cdot r^2$ то уравнение (12) можно записать в виде:

$$N_3 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \omega^3 \quad (13)$$

Благодарности. Материал для статьи получен при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ - договор № 075-15-2022-589 (№ МК-349.2022.5))

Заключение

1. На основе анализа технологий приготовления жидких высокобелковых кормов (кормового соевого молока) предложена, безотходна технология получения жидких кормов применимая в условиях ведения ЛПХ и КФХ, в основе которой лежит лишь одно техническое средство, благодаря которому объединен целый ряд технологических операций таких как истирание зерна в мелкофракционные частицы, смешивание с водой, отделение высокобелковой суспензии на жидкую (соевое молоко) и твердую (соевую окару) фракции в отдельные емкости. А продуктом переработки зерна сои будет жидкая белковая суспензия (кормовое соевое молоко), а при изменении кислотности, выделении сыворотки и выпадении осадка – «Тофу».

2. В результате теоретических исследований получены: уравнение движения отдельно взятого зерна по поверхности рабочего абразивного диска $r = r_0 \left(\operatorname{ch} \left(\frac{b}{a} \sqrt{2\varphi} \right) \right)$; производительность, как по массе $G = \rho Q$, так и по объему $Q = \pi D Z v_r$, мощность необходимая для измельчения зерна $N_3 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \omega^3$.

Список литературы

1. В. Ю. Фролов Оптимизация параметров измельчителя замоченного зерна сои / В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, Г. Г. Класнер. // Сельский механизатор. – 2015. – № 3. – С. 24 – 27.

References

1. V. Ju. Frolov Optimizacija parametrov izmel'chitelja zamochennogo zerna soi / V. Ju. Frolov, D. P. Sysoev, G. G. Klasner. // Sel'skij mehanizator. – 2015. – № 3. – S. 24 – 27.