

УДК 631.3:636

UDC 631.3:636

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technology and mechanization of agriculture (technical sciences)

РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ ПРИЖИМНОГО УСТРОЙСТВА МЕХАНИЗМА КРЕПЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО АБРАЗИВНОГО ДИСКА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ЗЕРНА

CALCULATION OF THE STRENGTH OF CLAMPING SYSTEM OF THE MECHANISM OF THE UPPER ABRASIVE DISC IN A CORN SHREDER

Класнер Георгий Георгиевич
к.т.н., доцент
Scopus Author ID: 57209716710
РИНЦ SPIN-код: 8043-8389
egor.klasner.91@mail.ru

Klasner Georgy Georgiyevich
Cand.Tech.Sci., docent
Scopus Author ID: 57209716710
RSCI SPIN-code: 8043-8389
egor.klasner.91@mail.ru

Кремянский Владислав Франтишекович
к.т.н., доцент

Kremianskiy Vladislav Frantisekovich
Cand.Tech.Sci., docent

Клиновицкий Андрей Андреевич
Студент бакалавриата
Klinovitskiyklinovitsky@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13

Klinovitsky Andrey Andreevich
Undergraduate student
Klinovitskiyklinovitsky@yandex.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В настоящей статье будет рассмотрен вопрос запаса прочности механизма крепления верхней абразивной дисковой крышки разрабатываемого устройства для приготовления жидких, высокобелковых кормов. С учетом конструктивных особенностей, представлен расчет винтового соединения, работающего на сложное сопротивление – кручение, растяжение и сжатие

In this article we consider the question of the safety margin of the mechanism for fixing the upper abrasive disc cover of the device being developed for the preparation of liquid, high-protein containing feed. Taking into account the design features, we present the calculation of a screw connection operating on a complex resistance – torsion, tension and compression

Ключевые слова: СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ, АБРАЗИВНЫЙ КОНУС

Keywords: GRAIN MOTION SPEED, SHREDER PERFORMANCE, ABRASIVE TAPER

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-169-008>

Введение. Соевые семена являются высокоэффективным кормовым продуктом. Они в своем составе содержат растительный белок, аминокислоты и микроэлементы, которые отлично подойдут в употребление в корм животным. Во время кормления сельскохозяйственных животных соей такой набор веществ и витаминов значительно повышает биологическую ценность рациона и обеспечивает повышение их продуктивности. Одно из самых перспективных направлений подготовки зернобобовых к скармливанию сельскохозяйственным животным – приготовление соевого молока, не

уступающему цельному по биологической ценности. Молоко из зернобобовых культур обладает ценным биохимическим составом, в нём содержится сырая клетчатка, что благоприятно влияет на работу пищеварительной системы животных.

Методика исследований. Соевые цельные зерна, мука, торты и другие продукты переработки сои могут быть использованы для кормления скота и птицы (таблице 1).

Таблица 1 – Состав и переваримость соевого зерна и продуктов его переработки

Показатели	Вид корма			
	зерно	мука	жмых	шрот
В 100 кг корма содержится: К. Е. кг.	130,7	145,8	125,0	118,3
Переваримый протеин, кг	29,2	34,1	34,8	36,0
На 1 К.Е. приход. первар. протеина, г	223	224	278	300
Состав в % влага	11,4	9,2	14,9	14,6
протеин	33,2	38,3	38,7	40,0
белок	28,1	33,4	38,3	38,3
жир	15,3	19,7	9,8	2,0
клетчатка	7,3	3,1	2,7	6,4
БЭВ	27,6	25,5	27,9	31,9
зола	5,2	4,2	6,0	5,1
К-т пер. %, протеина	88	89	90	90
белка	88	89	88	90
жира	85	90	88	95
клетчатки	81	39	78	94

Биологическая ценность белка зависит не только от содержания аминокислот, но и от его степени разрушения при подготовке зерна к скармливанию сельскохозяйственным животным. Наиболее эффективно используется протеин, содержащий около 40-50% водорастворимых фракций (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание водо и солерастворимых фракций протеина и лизина в зерне различных культур, %

Культура	Сырого протеина	Водо- и солерастворимых фракций	Лизина к сырому протеину
Кукуруза	9–10	25–30	3,1–3,3
Пшеница	13–15	40–50	3,5–3,8
Ячмень	11–14	45–50	3,5–4,0
Овёс	11–13	55–60	4,2–4,5
Горох	18–24	80–85	3,5–5,8
Соя	32–45	80–90	7,5

Соевый белок богат аминокислотами, такими как лизин, тронин, но содержит не достаточное количество метионина и цистина.

Соевое молоко, приготовленное на ферме, подается ко всем видам сельскохозяйственных животных. Телята начинают пить с 20-дневного возраста. При этом им сначала дают двести граммов соево-белковой суспензии, а затем равномерно повышают суточное потребление молока. Дойные коровы суточный рацион предусматривает потребление до 10 литров соево-белковой суспензии. При этом суточный надой отдельно взятой дойной коровы возрастает в среднем на 15-20%, а жирность получаемого от коровы молока увеличивается на 1,45%.

Результаты исследований в Одесской зональной Агротехнической лаборатории показывают, что в 1 кг соевого молока содержится 2,5% жира, 0,4 г кальция; 0,8 фосфора; 1,25 лизина; 1,44 метиона; 1,61 изолейсина; около 1% сахара. На одну кормовую единицу соевого молока приходится более 200 г перевариваемого белка, что в два раза больше, чем содержание всего коровьего молока с содержанием жира 3-5%.

Технические средства, предназначенные для производства соевого молока, производятся в Канаде, Китае, Южной Корее и других странах. В России и СНГ существует также несколько производителей соевых коров.

Эти комплекты оборудования примерно одинаковы по конструкции и производительности (40-1000 л/ч).

На рисунке 1 представлен прибор под названием "соевая корова", предназначенный для производства соевого молока. Отличительная черта "соевой коровы" заключается в том, что соевое молоко обрабатывается многократно, тем самым увеличивая себестоимость 1 литра молока, а в выходе получается более качественный продукт, применимый даже в качестве пищевой добавки общественного питания.



Рисунок 1 – Малая соевая корова

Исследовательская часть. Существует множество технологий [2], позволяющих получить белковую суспензию. При этом основными технологическими операциями при приготовлении экстрагента являются: измельчение, экстракция, разделение на жидкую и твердую фракции, термическая обработка, охлаждение и хранение. Все это ведет к необходимости приобретения целого комплекса крупногабаритных, энергоемких и дорогостоящих машин, который зачастую не по силам предприятиям малых форм хозяйственности, производящим на сегодняшний день более 50 % продукции животноводства и птицеводства.

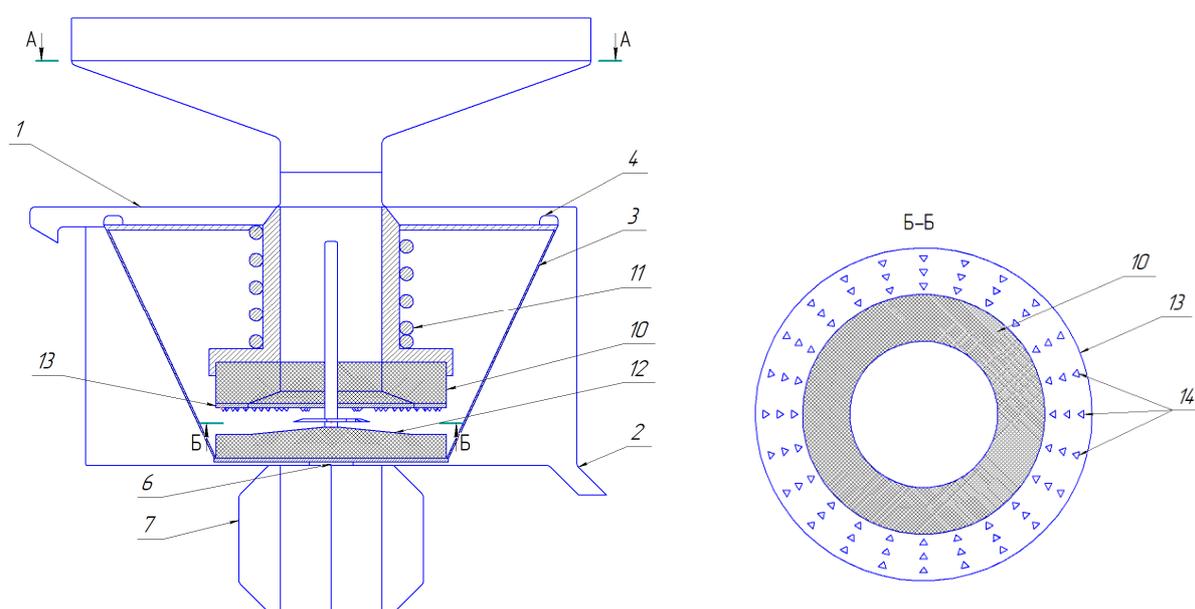
Таким образом, возникает потребность в разработке универсальной конструктивно-технологической схемы технического средства, совмещающего следующие технологические операции: измельчение, экстракции белка, разделение суспензии на фракции.

На основании проведенного патентного поиска технических средств и технологий приготовления жидких белковых кормов, нами предлагается безотходная технологическая линия переработки зерна бобовых культур на корм животным и птице. Основным элементом предлагаемой технологии, является устройство для измельчения зернобобовых культур в замоченном виде. Изобретение относится к области сельского хозяйства, а именно к устройствам для измельчения зернобобовых кормов.

Технический результат предлагаемой конструкции достигается тем, что в устройстве для измельчения зерна бобовых культур в замоченном виде, включающее корпус с патрубками для вывода готового материала, внутри которого установлено измельчающее устройство, конусообразное сито, обеспечивающее требуемую сепарацию, чистик для конусообразного сита и горловину в виде усеченного конуса для ввода обрабатываемого материала, дробящее устройство, установленное внутри горловины на валу привода согласно полезной модели дробящее устройство имеет шток, на который установлен нож с двумя противоположно направленными изогнутыми лезвиями, а измельчающее устройство выполнено из верхнего жернова с поджимной пружиной и нижнего жернова установленные друг над другом, с образованием зазора между ними, при этом верхний жернов неподвижен относительно нижнего жернова и на его периферии расположена съемная стальная перфорированная пластина в форме обода, на которой перфорация выполнена в виде рельефных насечек, с режущими кромками, позволяющие истирать частицы до мелкодисперсного состояния, причем

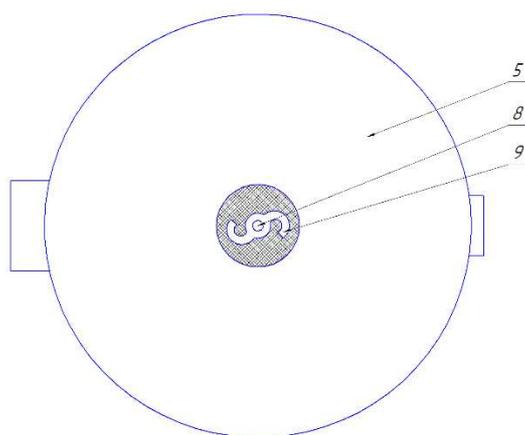
для обеспечения направления движения окаты и твердых остатков, чистик расположен на верхнем краю конусообразного сита, а нож штока расположен между жерновами.

Сущность модели поясняется чертежом (рисунок 2), где а) – общий вид устройства для измельчения зернобобовых кормов; б) – устройство для измельчения зернобобовых кормов вид сверху; в) – съемный стальной обруч с перфорацией в виде рельефных насечек с режущими кромками, сечение Б-Б.



а) Общий вид

б) Сечение Б-Б



в) Вид сверху

Рисунок 2 – Общий вид устройства для измельчения зерна бобовых культур в замоченном виде:

1 – содержит корпус, 2 – патрубки вывода готового материала. 3 – конусообразное сито, 4 – чистик, 5 – горловина, 6 – вал, 7 – привод, 8 – шток, 9 – нож, 10 – верхний жернов, 11 – поджимная пружина, 12 – нижний жернов, 13 – съемная стальная перфорированная пластина в форме обода. 14 – рельефные насечки с режущими кромками.

Устройство для измельчения зерна бобовых культур в замоченном виде работает следующим образом. При включении электродвигателя привода начинают одновременно вращаться элементы которые расположены на валу 6, шток 8 с ножом 9, нижний жернов 12 и конусообразное сито 3. Замоченная масса подается через приемную горловину 5, одновременно с водой, и попадает в измельчающее устройство, где одновременно с подвижным нижним жерновом 12 работает шток 8 с ножом 9. Измельчение проходит ступенчато, жернова 10, 12 выставлены с требуемым зазором, нож 9 разрезает подаваемую массу, которая поступает в пространство между жерновами 10, 12, истирающие материал, и на их периферии происходит дополнительное мелкодисперсное истирание, благодаря съемной стальной перфорированной пластине 13. Полученная суспензия от истирания отбрасывается на конусообразное сито 3, расположенное по периметру измельчающей камеры, посредством которого происходит разделение на эмульсию и окару. Эмульсия стекает по выводному патрубку 2 в специальную ёмкость, а окара собирается чистиком 4 и посредством выводного патрубка собирается в другую ёмкость.

Предлагаемая конструкция по сравнению с прототипом (в качестве прототипа взята «Соевая корова» (рисунок 1) имеет следующие преимущества:

- увеличение производительности за счёт увеличения пропускной способности;
- увеличение качественных показателей процесса, а именно полная экстракция белка в суспензию за счёт ступенчатого измельчения зерна;

- повышение эксплуатационной надежности за счёт дополнительного измельчающего элемента – съемная стальная перфорированная пластина в форме обода.

В предлагаемом устройстве основной технологической операцией является истирание замоченного зерна до мелкодисперсного состояния, по средствам рабочего диска, выполненного в виде усеченного конуса и нанесенным абразивом по всей его поверхности (рисунок 3).

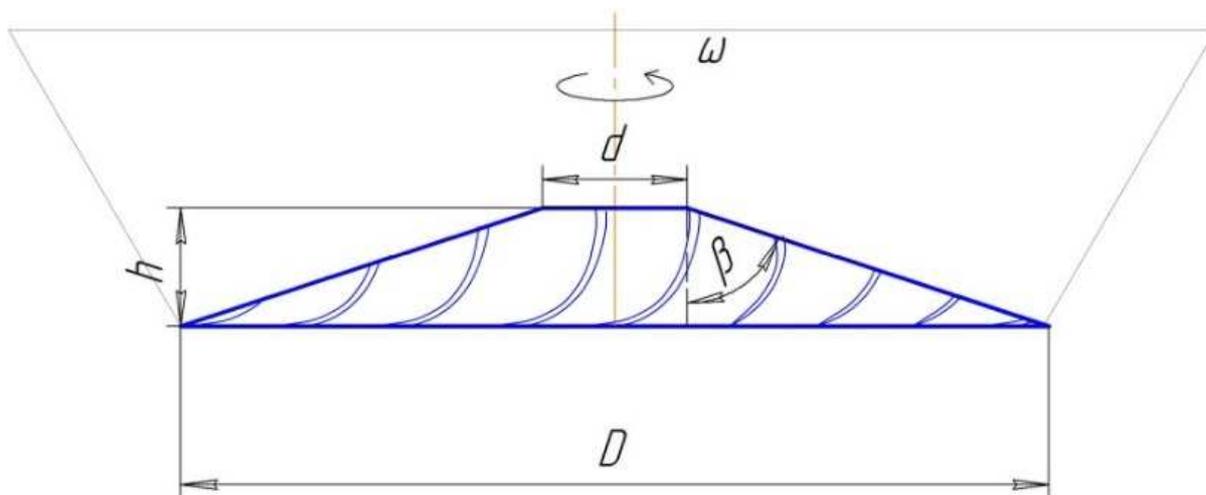


Рисунок 3 – Общий вид. Схема подвижного абразивного диска с криволинейными бороздками

Вычислим обобщенные силы Q_r и Q_θ , рассмотрим от чего зависит положение зерна сои на конической поверхности (рисунок 4)

Рассчитаем влияние обобщенных сил Q_r .

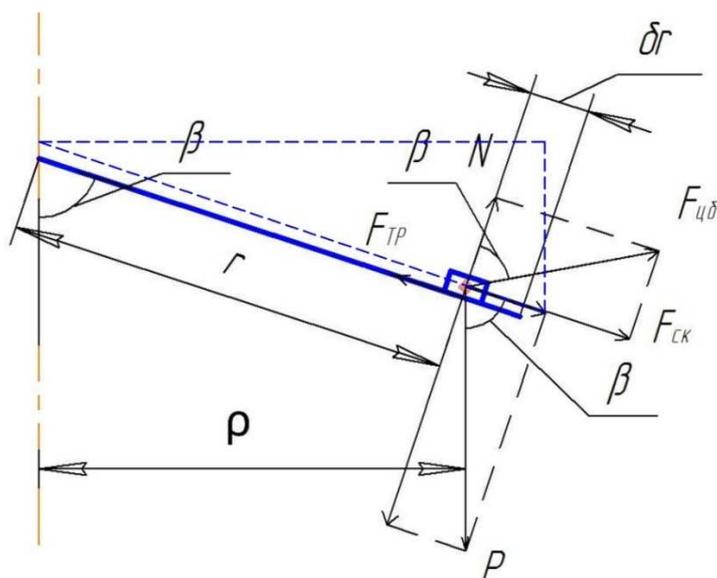


Рисунок 4 – Силы, действующие на зерно при его перемещении в радиальном направлении

На зерно действует сила тяжести $P = mg$ (g – ускорение свободного падения), нормального давления со стороны верхнего диска и центробежная сила. Силу тяжести можно разложить на скатывающую силу $F_{ск} = mg \cos \beta$ и на силу нормального давления $N = mg \sin \beta$.

Центробежная сила направлена по горизонтали и равна:

$$F_{цд} = m\omega^2 \rho = m\omega^2 r \sin \beta; \quad (1)$$

Эту силу также можно разложить на составляющую $F_{цд} \sin \beta$, действующую вдоль поверхности конуса и составляющую $F_{цд} \cos \beta$, действующую перпендикулярно поверхности конуса.

Следовательно, суммарная сила, действующая вдоль образующей поверхности конуса равна:

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

Сила нормального давления зерна на поверхность конуса, равна:

$$N = mg\sin\beta - m\omega^2 r\sin^2\beta\cos\beta. \quad (3)$$

Следовательно радиальная составляющая сил трения $F_{\text{тр}}^r$ равна

$$F_{\text{тр}}^r = -fN = -f(mg\sin\beta - m\omega^2 r\sin\beta\cos\beta); \quad (4)$$

где f – коэффициент трения

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

$$\delta A_n = (F_r + F_{\text{тр}}^r)\delta r = (mg\cos\beta + m\omega^2 r\sin^2\beta)\delta r - f(mg\sin\beta - m\omega^2 r\sin\beta\cos\beta)\delta r. \quad (5)$$

Обобщенная сила Q_r связана с элементарной работой δA_r равенством:

$$\delta A_r = Q_r \delta r; \quad (6)$$

Следовательно:

$$Q_r = mg\cos\beta + m\omega^2 r\sin^2\beta - fmg\sin\beta + fm\omega^2 r\sin\beta\cos\beta; \quad (7)$$

Сила нормального давления N направлена перпендикулярно возможному перемещению поэтому в обобщенную силу Q_r не вошла.

К явному виду обобщенной силы Q_r можно сделать следующие замечания:

Во-первых, если конус не вращается, то $\omega = 0$, и сумма обобщенных сил Q_r^0 равна:

$$Q_r^0 = mg\cos\beta - fmg\sin\beta; \quad (8)$$

то есть совпадают с обычным выражением для скатывающей силы при движении груза по наклонной плоскости с той лишь разницей, что

угол наклона плоскости отсчитывается от вертикали, а не от горизонтали, как обычно.

Во-вторых, силы нормального давления обращаем в нуль при:

$$g - \omega^2 r \cos\beta = 0; \quad (9)$$

последнее равенство является условием отрыва зерна от поверхности конуса. Критичное значение кривой при заданной геометрии устройства равно:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r \cos\beta}}. \quad (10)$$

На нижнем краю конуса достигается максимальное значение координаты r , равное:

$$r_{max} = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2} \quad (11)$$

что дает для критической скорости вращения ω величину около 200 рад/с.

Таким образом, выбранная скорость вращения является оптимальной: ее снижение приведет к уменьшению производительности устройства, а повышение – к ухудшению качества дробления зерен.

В опытном образце измельчителя зерна в замоченном виде (рисунок 4), на базе которого проведен ряд многофакторных экспериментов с целью экспериментального обоснования конструктивно-режимных параметров измельчителя, механизм крепления верхней абразивной дисковой крышки выполнен в форме болт-гайка.



Рисунок 5 – Общий вид измельчителя замоченного зерна сои



Рисунок 6 – Абразивные диски

Механизм крепления верхней абразивной дисковой крышки выполнен в форме болт-гайка. Наиболее частой причиной того, что болты и гайки выходят из строя, является износ их канавок. Поэтому основным критерием работоспособности является износостойкость. Другим критерием работоспособности является прочность. При проектном расчете винта и гайки на износостойкость пользуются формулой:

$$d_c = \sqrt{\frac{2P}{\lambda + [P]}}, \text{ где} \quad (12)$$

d_c – средний диаметр резьбы;

P – осевая сила, нормальное давление N , действующее на винт и гайку;

$$N = mg, \text{ где} \quad (13)$$

m – масса;

g – ускорение свободного падения;

$\psi = \frac{H}{d_c}$ – отношение высоты гайки H к среднему диаметру резьбы d_c ;

$[P]$ – допускаемое удельное давление для резьбы.

Значение ψ принимается в пределах 1,2 – 2,5 для целых гаек.

Допускаемое удельное давление $[P]$ рекомендуется принимать: для закаленной стали по бронзе $[P] = 10 - 13$ Мпа; для незакаленной стали по чугуну $[P] = 5 - 6$ МПа.

По величине d_c используя соответствующий ГОСТ для стандартной резьбы принимаются все остальные размеры и параметры резьбы:

D – наружный диаметр

n – высота профиля

S – шаг резьбы

Винты работают на сложное сопротивление – на кручение и растяжение или сжатие.

Винт, работающий на растяжение (сжатие) и кручение, проверяется на прочность исходя из \square теории прочности:

$$G_{\text{п}} = \sqrt{\left(\frac{4P}{\pi d_c^2}\right)^2 + 4\left(\frac{T_k}{0,2d_c^3}\right)^2} \leq [G]_p, \text{ где} \quad (14)$$

G_n – приведенное напряжение по \square теории прочности

$[G]_p$ – допускаемое напряжение на растяжение (сжатие)

T_k – крутящий момент винта

Для трапецеидальной и треугольной резьбы по формуле:

$$T_k = 0,5 d_c P \operatorname{tg}(\beta + \varphi) \quad (15)$$

φ – угол трения определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = f, \text{ где} \quad (16)$$

f – коэффициент трения в резьбе при смазке для стали по бронзе 0,1; по чугуну 0,15.

β – угол наклона резьбы, принимается по среднему диаметру резьбы d_c

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{S}{\lambda d_c}, \text{ где} \quad (17)$$

S – шаг резьбы

h – высота профиля резьбы

$$S = 2h \quad (18)$$

$$\operatorname{tg}\beta = 0,7$$

Исходя из конструктивных особенностей устройства измельчения зерна осевая сила P_c – действующая в передаче винт – гайка.

$P_c = 10500$ Н, подставив найденное значение в формулу прочности, определим d_c

$$d_c = \sqrt{\frac{2P_c}{\lambda\psi[P]}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10500}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 5 \cdot 10^6}} = 29,86 \text{ мм} \quad (19)$$

$$d_c = 2,98 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

$$d_c = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Принимаем по ГОСТ 9484-81 $d_c = 30$ мм.

Высота гайки $H = 30 \cdot 2 = 60$ мм.

Проверим прочность по \square теории прочности:

$$G_{\Pi} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]; \quad (20)$$

$$\sigma = \frac{4P}{\lambda d_c^2};$$

$$\tau = \frac{T_k}{0,2 d_c^2};$$

$$T_k = 0,5 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10500 \cdot 0,85 = 133,8 \text{ Нм.}$$

$$G_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 10500}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + 4 \left(\frac{133,8}{0,2 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}\right)^2} \leq [G]_p \leq 160 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\Pi} = 1,4 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа.}$$

Прочность устройства будет обеспечена.

Выводы.

1. На основании проведенного патентного поиска технических средств и технологий приготовления жидких белковых кормов, нами предлагается безотходная технология переработки зерна бобовых культур на корм животным и птице, с возможностью объединения основных технологических операций.

2. Предложена конструкция устройства для переработки зерна на корм сельскохозяйственным животным и птице. Благодаря конструктивным особенностям объединены такие технологические операции как: измельчение зерна до мелкодисперсного состояния, смешивание измельченных частиц с коагулянтом (с водой), разделение полученной суспензии на фракции.

3. Рассмотрена кинематика движения зерна сои в замоченном виде по абразивной поверхности конуса с нанесенными криволинейными бороздками. Представлена расстановка сил действующих на зерно сои при его перемещении в радиальном направлении по поверхности конуса. Получено уравнение движения отдельного зерна по боковой поверхности конусного абразива. С учетом конструктивных особенностей представлен расчет винтового соединения, работающего на сложное сопротивление – кручение, растяжение и сжатие. В результате проеденных расчетов механизма крепления верхней абразивной дисковой крышки

4. Проведенные расчеты запаса прочности винтового соединения, механизма крепления верхней абразивной дисковой крышки работающего на сложное сопротивление – кручение, растяжение и сжатие, подтверждают, что прочность устройства будет обеспечена.

Литература

1. Фролов В.Ю. Ресурсосберегающая, безотходная технология глубокой переработки сои / Фролов В.Ю., Сысоев Д.П., Класнер Г.Г// В сборнике: Актуальные вопросы ветеринарной и зоотехнической науки и практики – 2015. с. 344–350.

2. Класнер Г.Г. Аналитические аспекты приготовления высокобелковых кормов /В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2014. -№99(05). -Шифр Информрегистра: IDA [article ID]: 0991405058. -Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=3699>.

3. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. 11-е изд., стереотипное, М.: Изд-во «Лань», 2009, 736 с.

4. Класнер Г.Г. Теоретическое обоснование процесса приготовления кормов на основе зерна сои / Класнер Г.Г., Тумаев Е.Н., Фролов В.Ю., Сысоев Д.П.// Научное обозрение. 2017 № 5 с. 78-82.

References

1. Frolov V.Ju. Resursosberegajushhaja, bezothodnaja tehnologija glubokoj pererabotki soi / Frolov V.Ju., Sysoev D.P., Klasner G.G// V sbornike: Aktual'nye voprosy veterinarnoj i zootehnicheskoy nauki i praktiki – 2015. s. 344–350.
2. Klasner G.G. Analiticheskie aspekty prigotovlenija vysokobelkovyh kormov /V.Ju. Frolov, D.P. Sysoev // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. -Krasnodar: KubGAU, 2014. -№99(05). -Shifr Informregistra: IDA [article ID]: 0991405058. -Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=3699>.
3. Butenin N.V., Lunc Ja.L., Merkin D.R. Kurs teoreticheskoy mehaniki. 11-e izd., stereotipnoe, M.: Izd-vo «Lan'», 2009, 736 s.
4. Klasner G.G. Teoreticheskoe obosnovanie processa prigotovlenija kormov na osnove zerna soi / Klasner G.G., Tumaev E.N., Frolov V.Ju., Sysoev D.P.// Nauchnoe obozrenie. 2017 № 5 s. 78-82.