

УДК 631.3:636

UDC 631.3:636

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**РАЗРАБОТКА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР**

**DEVELOPMENT OF AN EXTRUDER PRESS FOR LEGUMINOUS CROPS PROCESSING**

Фролов Владимир Юрьевич  
д.т.н., профессор

Frolov Vladimir Yuryevich  
Doctor of Technical Sciences, Professor

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

Klasner Georgy Georgiyevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
Scopus Author ID: 57209716710  
RSCI SPIN-code: 8043-8389  
[egor.klasner.91@mail.ru](mailto:egor.klasner.91@mail.ru)

Тарасов Владимир Сергеевич  
Магистрант  
[Vladimirtarasov1337@mail.ru](mailto:Vladimirtarasov1337@mail.ru)  
*Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13*

Tarasov Vladimir Sergeyevich  
Undergraduate student  
[Vladimirtarasov1337@mail.ru](mailto:Vladimirtarasov1337@mail.ru)  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В данной работе рассмотрены вопросы экструдирования зернобобовых культур, приведена информация о моделировании технологических процессов пресс-экструдеров, проведён анализ современного рынка пресс-экструдеров и выполнен патентный поиск существующих изобретений в области получения экструдата. Разработан пресс-экструдер для обработки зернобобовых культур и представлена детальная информация о разработанном пресс-экструдере. Проведен расчет соотношения мощности пресс-экструдера и числа оборотов в минуту

In this work, we consider the issues of extrusion of leguminous crops. There is information on modeling of process processes of press-extruders given, as well as analysis of the modern market of press-extruders and patent search of existing inventions in the field of extrudate production. A press extruder for processing leguminous crops has been developed and we present detailed information about the developed press extruder. The ratio of the extruder power to the number of revolutions per minute was also calculated

Ключевые слова: ЭКСТРУДИРОВАНИЕ, ПРЕСС-ЭКСТРУДЕР, ЗЕРНОБОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

Keywords: EXTRUSION, PRESS-EXTRUDER, LEGUMINOUS CROPS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-168-009>

**Введение.** Прогресс в области животноводческой деятельности невозможен без грамотного обеспечения стабильного кормопроизводства, которое соответствовало бы высоким нормам стандартов данной отрасли сельского хозяйства. Кроме того, следует особое внимание уделить разработке высокоэффективных и безопасных с экологической точки зрения технологий приготовления высокобелковых кормов для сельскохозяйственных животных.

Энергоэффективность и энергосбережение – два основных направления, по которым происходит развитие отрасли животноводства. Свойства сырья для приготовления высокобелковых кормов и степень воздействия рабочих органов на сырьё оказывают ведущую роль в модернизации проектируемого оборудования. Пресс-экструдеры необходимы в современных реалиях кормопроизводства ввиду того, что добиться высокого качества производимой продукции – высокобелкового корма – можно лишь в случае применения высокотехнологичных машин, которые конструируются на основе энергоёмких технологий, учитывающих не только физико-механические, но и реологические свойства высокобелковых кормов.

Стоит также отметить, что эффективность пресс-экструдеров для приготовления высокобелковых кормов напрямую зависит от грамотной их конструкции.

**Методика исследований.** Описание процесса экструдирования. Экструдирование является распространенным и эффективным способом тепловой обработки компонентов комбикормов, главная задача которого – глубокая клейстеризация крахмала, при этом происходит декструкция макромолекул крахмала с образованием различных декстринов и сахаров, в результате чего существенно повышается усвояемость комбикормов, причем ассимиляция питательных веществ происходит с меньшими энергетическими затратами.

Экструдирование идеально подходит для получения высокобелковых кормов, так как процесс на порядок увеличивает питательную ценность обрабатываемого материала. Кроме того, экструдирование даёт возможность применять побочную продукцию кормопроизводства, что увеличивает выход готовой продукции и способствует более ресурсоёмкому сельскохозяйственному производству. Экструдат практически полностью обеззараживается и отвечает жестким

требованиям экологичности, характерным для современного кормопроизводства.

Конструкция пресс-экструдеров для приготовления высокобелковых кормов (таблица 1) определяет технологический процесс. На данный момент применение пресс-экструдеров практически полностью сводят на нет негативные факторы, возникающие при термообработке кормов: процесс сухой экструзии занимает менее 30 с, при этом сырье стерилизуется и обеззараживается (болезнетворные микроорганизмы, грибки, плесень полностью уничтожаются); увеличивается в объеме, повышается усвояемость корма; томогенизируется (процессы измельчения и перемешивания сырья в стволе экструдера продолжаются, продукт становится полностью однородным); стабилизируется (нейтрализуется действие ферментов, вызывающих прогорание продукта, таких, как липаза и липоксигеназа, инактивируются антипитательные вещества [1, 2, 3].

Таблица 1 – Технические характеристики экструдеров

Наименование	Производительность, кг/ч	Мощность, кВт/ч
Экструдеры ЭТР (ООО «Стимул», г. Киров)		
Марка КО		
ЭТР	До 100	
ЭТР	До 200	
ЭТР	До 350	
ЭТР	До 500	
ЭТР	До 600	
ЭТР 700/55 Турбо	До 800	
Марка КФСО		
ЭТР	До 150	
ЭТР	До 300	
ЭТР	До 400	
ЭТР	До 500	
ЭТР 700/55 Турбо	До 700	
Экструдеры серии ПЭ (АО «Жаско», г. Волгоград)		
1100, 1100У, 1100С		
900, 900У, 900С		
750, 750У, 750С		
370У		
300У		

Моделирование технологических процессов пресс-экструдеров.

Существует схема, на которой описана математическая модель экструдеров для приготовления высокобелковых кормов (рис. 1). Схема даёт наглядное представление о динамическом состоянии системы, а что особенно важно – она не оказывает влияния на дифференцирование внутренней временной характеристики системы.



Рисунок 1 – Структура математической модели процесса кормоприготовления с помощью пресс-экструдера

Моделирование процессов пресс-экструдеров для приготовления высокобелковых кормов возможно с помощью схемы прессования, которая представлена на рисунке 2.

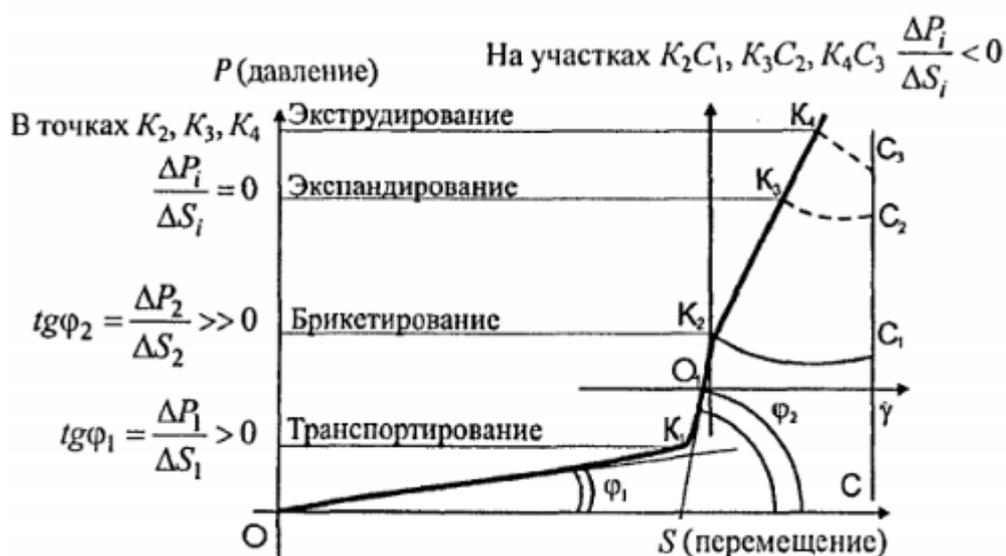


Рисунок 2 - Схема прессования для экструдера

Фундаментом моделирования процесса служит структурообразующий подход, который даёт характеристику системе

взаимодействия внешних и внутренних факторов. Это даёт возможность найти оптимальные значения параметров эффекта, которые демонстрируют собой симбиоз выходных результатов.

Научные исследования рабочего процесса технических средств для приготовления высокобелковых кормов, проведенные А.А. Артюшиным, И.З. Барфаковым, В.Г. Гопкой, Б.И. Вагиным, Г.М. Куктой, Л.М. Куцыным, С.М. Доценко, В.Ю. Фроловым, А.В. Бурмагой и другими, стали определяющими при разработке и совершенствовании существующей кормоприготовительной техники. Отмечено отсутствие универсального оборудования для приготовления кормов в условиях средних и малых животноводческих хозяйств.

Современный рынок пресс-экструдеров.



Рисунок 3 - Пресс-экструдер ЭТР «Стимул»

Предназначен для производства высокоэффективных экструдированных кормов из зерна и соломы. Универсальные кормовые экструдеры ЭТР марки КФСО предназначены для производства кормов –

пребиотиков из зерна, зерносмеси, в том числе ржи, с возможностью добавления 30-50% сена, соломы, овса, отрубей, шелухи, мясокостной муки, жмыха и шрота. В комплекте с экструдерами марки КФСО идет кольцевая фильера, отсекающий стренга, бункер с ворошителем. За счет изменения геометрии шнеков и самой шнековой части: повышается производительность до 50%; экономится электроэнергия примерно на 25-30%; дольше работает сама шнековая часть; дешевле запчасти к экструдеру.

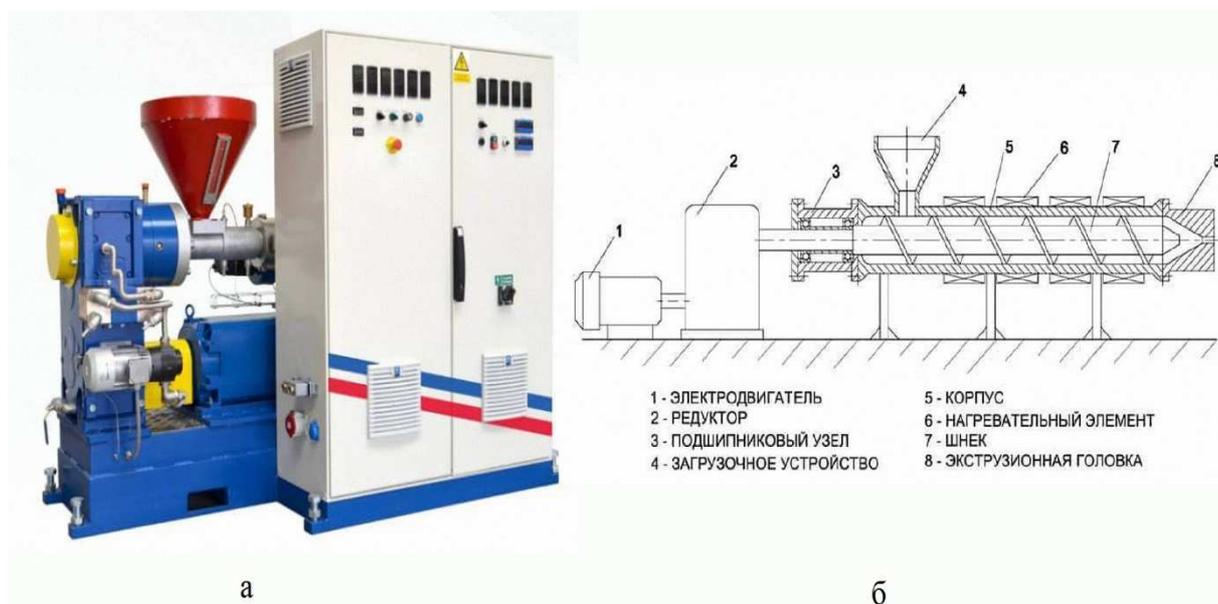


Рисунок 4 - Пресс-экструдер ПЭ-110 Жаско

Предназначен для приготовления полноценных кормов: из зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы и др.); из различных зерносмесей, в том числе, из смеси зерновых культур и соломы (камыш); из отходов переработки мяса, птицы и рыбы в смеси с растительным наполнителем; из

влажного залежалого зерна, уже имеющего запах аммиака. Экструдер ПЭ-100 оснащен: шнековой подачей сырья с частотным регулятором; магнитным уловителем; цельным центрированным валом; виброопорами.

Технические характеристики: производительность 80-130 кг/ч; установленная мощность 11,37 кВт; температура процесса экструдирования 115-170 °С; габаритные размеры 850x850x1500 мм; масса 250 кг.



а – пресс-экструдер, б – схема устройства пресс-экструдера

Рисунок 5 – Пресс-экструдер компании ENCE GmbH

Рабочая часть машин данного типа включает в себя набор шнеков, между которыми последовательно располагаются подпорные шайбы. Шнеки и шайбы закреплены на шпильке посредством болта, имеющего конусную головку. На внутренней поверхности кожуха рабочей части сделаны продольные каналы для того, чтобы сырье не вращалось по мере перемещения. На выходе кожух оснащен конусной гайкой с отверстием. Манипуляция зазором между конусами болта и гайки на выходе, либо

диаметром выходного отверстия, позволяет регулировать температуру перерабатываемого материала.

В пищевой промышленности широко применяются экструдеры, оснащенные шнеками полного зацепления, которые совершают вращательные движения в одном направлении. В такой конструкции вершины одного шнека заходят во впадины другого.

Двухшнековые самоочищающиеся экструзионные машины характеризуются более быстрым запуском шнека и работой на повышенных скоростях. В таких агрегатах реже поднимается давление, т.к. продукт не накапливается. В одношнековых агрегатах, за счет того, что материал может накапливаться в витках, подъемы давления происходят чаще. Результатом этого является неравномерный выпуск изделий из экструдера.



Рисунок 6 – Пресс-экструдер КМЗ-2У

Экструдер широко используется для переработки сои, ячменя, гороха, пшеницы, кукурузы, а также для различных смесей из бобовых и зерновых культур. Принцип действия экструдера заключается в выдавливании перерабатываемого продукта в специальные фильеры,

устроенные в стволе экструдера, при этом перерабатываемая смесь подвергается высокой температуре (100–150 градусов) и высокому давлению (свыше 50 атмосфер).

В результате процесса экструдирования зерно, благодаря большому перепаду давления на выходе из экструдера, многократно увеличивается в объеме и повышается энергетическая ценность продукта.

Технические характеристики: производительность, при плотности исходного сырья 0,65 кг/л составляет 250-400 кг/ч; установленная мощность 55 кВт; температура процесса экструдирования 110-135 °С; габаритные размеры 1630x1500x1500 мм; масса 1065 кг; удельные затраты энергии на 1 кг продукта 0,085–0,22 кВт.

**Исследовательская часть.** Обратимся к патентному поиску конструкций пресс-экструдеров. Известно устройство для обработки кормов, содержащее снабженный загрузочной горловиной корпус, в котором расположен шнек, имеющий ступенчатый вал и установленные на нем спиральные витки разного внутреннего диаметра, навитые вокруг соответствующей ступени вала, причем концы витков, обращенные к выгрузной горловине, закреплены на валу с возможностью возвратно-поступательного перемещения его в осевом направлении (а.с. №1123626, А23N 17/00, 1981 г.).

Недостатками существующего устройства является высокая энергоемкость процесса, неоднородность частиц по вещественному составу получаемого комбикорма.

Также известен экструдер для приготовления комбикормов, включающий корпус с размещенным в нем шнеком и устройством для изменения давления внутри корпуса, выполненный в виде втулки, установленной в корпусе с возможностью левого перемещения, в виде водила, прикрепленного к выходному концу шнека, и роликов на концах водила, перекатывающих по внешнему торцу втулки, а втулка со

стороны внешнего конца поджата упругим элементом, причем отношение наружного диаметра втулки к диаметру шнека составляет 1,2-1,4 (а.с. №1572489, А23N 17/00, 2017 г.).

Недостатками известного устройства является сложность конструкции.

Наиболее близким по технической сущности (авторами принят за прототип) является пресс-экструдер для переработки зерновой смеси, содержащий цилиндрический корпус с загрузочным бункером, установленный в полости цилиндрического корпуса цилиндрический шнек и матрицу с регулируемой фильерой, установленную на торце цилиндрического корпуса, который с внутренней стороны выполнен с продольными ребрами с вырезами и имеет зону подачи зерновой смеси и зону ее пластификации. (пат. RU 2686439 С1 Кл В30В 9/18, 2019 г.).

Недостатками данного устройства является высокая энергоемкость рабочего процесса, плохое качество измельчения зерновой массы.

Изобретение относится к области сельского хозяйства, а именно к устройствам для приготовления комбикормов на животноводческих фермах, комплексах и птицефабриках.

Технический результат заключается в повышении качества измельчения за счет большего удельного давления на измельчаемый материал.

Технический результат предлагаемого изобретения достигается тем, что в пресс-экструдере, содержащем корпус с загрузочным бункером, установленные в полости корпуса шнек и матрицу, расположенную на торце корпуса, в котором с внутренней стороны расположены продольные рёбра с вырезами, имеет зону подачи и зону пластификации, согласно изобретению, корпус и матрица выполнены заодно и имеют конусообразную форму, при этом диаметр корпуса уменьшается по направлению вращения шнека, увеличивающегося в диаметре по

направлению своего вращения, а шаг навивки шнека уменьшается по всей его длине, боковые стенки матрицы оснащены равномерно расположенными конусообразными отверстиями для выхода готовой продукции, продольные рёбра, выполнены ромбовидной формой и расположены в шахматном порядке, причем корпус со стороны большего диаметра перед загрузочным бункером снабжен крышкой с фланцем, в нижней части которого расположен приемник в виде ниши с выходным отверстием для стока отжимаемой жидкости.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где: на фиг. 1. — показан общий вид пресс-экструдера, на фиг. 2 — показан фрагмент внутренней стороны корпуса, на котором расположены продольные ребра.

Пресс-экструдер состоит из корпуса 1 (фиг.1) с загрузочным бункером 2 (фиг.2), установленные в полости корпуса шнек 3 (фиг.1) и матрицу 4 (фиг.1), расположенную на торце корпуса, в котором с внутренней стороны расположены продольные рёбра 5 (фиг.1) с вырезами 6 (фиг.2), имеет зону подачи 7 (фиг.1) и зону пластификации 8 (фиг. 2). Корпус и матрица выполнены заодно и имеют конусообразную форму, при этом диаметр корпуса уменьшается по направлению вращения шнека, увеличивающегося в диаметре по направлению своего вращения, а шаг навивки шнека уменьшается по всей его длине, боковые стенки матрицы оснащены равномерно расположенными конусообразными отверстиями 9 (фиг.1) для выхода готовой продукции, продольные рёбра, выполнены ромбовидной формой и расположены в шахматном порядке, причем корпус имеет канавку 10 (фиг.1) а также со стороны большего диаметра перед загрузочным бункером снабжен крышкой с фланцем 13 (фиг.1), в нижней части которого расположен приемник в виде ниши 11 (фиг.1) с выходным отверстием 12 (фиг.1) для стока отжимаемой жидкости.



удаляется из полости корпуса. Величина давления регулируется изменением величины выходного отверстия конусной насадки 4.

Конусообразный пресс-экструдер, технический результат которого зависит от прочности и надёжности шнека, установленного в полости корпуса, выполненного с продольными рёбрами с внутренней стороны и имеющего зоны подачи и пластификации зерновой смеси. Шнек выполнен с уменьшающимся диаметром по направлению его вращения. При работе в точках расположения рёбер, выполненных в виде парных элементов ромбовидной формы, возникает на валу шнека крутящий момент [4]:

Суммарный крутящий момент:

$$\sum_{i=1}^u T_i \quad (1)$$

Вал рассчитывается на прочность:

$$\sum_{i=1}^u T_i = W_p [\tau] \quad (2)$$

где  $W_p$  – полярный момент сопротивления.

Для сплошного вала:

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (3)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \sum T_i}{\pi [\tau]}} \quad (4)$$

Для полого вала, где  $d = \frac{d}{D}$ :

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \sum T_i}{\pi[\tau](hd)}} \quad (5)$$

$$T_i = F_i R_i \quad (7)$$

где  $R_i$  – расстояние ребра относительно оси вала

$F_i$  – окружное усилие.

Часто приходится определять диаметр вала по мощности  $N$  и числу оборотов в минуту  $n$ .

$$\tau_{max} = \frac{\sum T_{imax}}{W_p} \leq [\tau] \quad (8)$$

где  $\sum T_{imax} = 7162 \frac{N}{n}$  Нм, если  $N$  в кВт:

$$\sum T_{imax} = 9550 \frac{N}{n} \text{ Нм};$$

$$\frac{\pi d^3}{16} [\tau] = \sum T_{max} = 7162 \frac{N}{n};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{7162 * 16 * T_{max}}{\pi[\tau]n}} = \sqrt[3]{\frac{36000}{[\tau]} * \sqrt[3]{\frac{N}{n}}} \quad (9)$$

Из формулы следует, что при данной мощности  $N$  увеличение числа оборотов  $n$  ведёт к уменьшению диаметра вала.

Принимая  $[\tau] = 20,0$  Мпа (справочные данные), получаем значение:

$$d = 12 \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \quad (10)$$

Чтобы уменьшить прогиб, принимаем вместо указанного  $[\tau] = 20,0$  Мпа  $[\tau] = 12,0$  Мпа, следовательно:

$$d = 14,4 \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \quad (11)$$

Этой формулой пользуются на практике.

Кроме того, во избежание колебаний вала ставится требование, чтобы угол закручивания не превосходил  $1/4^\circ$  на 1 погонный метр.

Расчёт в этом случае ведется по допустимой деформации:

$$\varphi_i^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} * \frac{T_{max} * 100}{GY_p} = 1/4^\circ$$

Подставив значения  $Y_p = \frac{\pi d^4}{32}$ ,  $T_{max} = 7162 \frac{N}{n}$  и  $G = 8 * 10^4$  Мпа, получаем:

$$d = 12 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \quad (12)$$

Необходимо рассчитать вал, чтобы он удовлетворял условию прочности и условию жесткости на кручение. Чтобы выполнено было условие прочности для вала, необходимо провозвести расчет по формуле

$d = 14,4 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ , а по условию допустимой деформации требуется значение

$$d = 12 \sqrt[4]{\frac{N}{n}}.$$

Можем найти значение  $\frac{N}{n}$ , при котором оба условия будут выполнены:

$$14,4 \left(\frac{N}{n}\right)^{\frac{1}{3}} = 12 \left(\frac{N}{n}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Или

$$\frac{12}{14,4} = \left(\frac{N}{n}\right)^{\frac{1}{12}}$$

Откуда

$$\frac{N}{n} \approx 0,11$$

Таким образом, соотношение мощности  $N$  пресс-экструдера к числу оборотов в минуту  $n$  должно составлять 0,11.

### **Выводы.**

1. Проведённые исследования свидетельствуют, что разработанный пресс-экструдер для обработки зернобобовых культур способен выполнять требуемые операции на высоком уровне, не имеет недостатков, обнаруженных у сходных по строению пресс-экструдеров. Произведен расчет одного из основных параметров пресс-экструдера – соотношения мощности пресс-экструдера к числу оборотов в минуту.

2. Современный рынок пресс-экструдеров при значительном росте в последнем десятилетии далёк от оптимальных параметров. Процесс экструдирования кормов на данный момент является весьма перспективной технологией для получения высокобелковых кормов для сельскохозяйственных животных. Помимо этого, машиностроительные компании останавливают вектор своего внимания именно на разработку пресс-экструдеров для сельскохозяйственного производства. Экструдирование является наиболее прогрессивным методом кормообработки ввиду экологичности процесса и повышения концентрации полезных веществ и витаминов по сравнению с исходным материалом.

## Литература

1. Высоцкий, В.Г. Медико-биологические аспекты пищевого использования соевых белковых продуктов: Сб. докладов форума «Пищевые ингредиенты». М. -2001.- С. 48-49.
2. Кокаева, Ф. Ферментированный соевый жмых в комбикормах для карпа / Ф. Кокаева, Л. Стамболиди // Комбикорма.- 2009.- № 6.- С.81.
3. Класнер, Г.Г. Совершенствование процесса приготовления высокобелковых кормов на основе соевого зерна / Класнер Г.Г., Фролов В.Ю., Сысоев Д.П. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Коцаев. 2016. С. 346-347.
4. Кремьянский, Ф.В., Дробот В.А. расчет на прочность элементов конструкций при простом и сложном сопротивлении / сост. Ф.В. Кремьянский, В.А. Дробот. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 47 с.

## References

1. Vysockij, V.G. Mediko-biologicheskie aspekty pishhevogo ispol'zovanija soevyh belkovyh produktov: Sb. dokladov foruma «Pishhevye ingredienty». M. -2001.-S. 48-49.
2. Kokaeva, F. Fermentirovannyj soevyj zhmyh v kombikormah dlja karpa / F. Kokaeva, L. Stambolidi // Kombikorma.- 2009.- № 6.- S.81.
3. Klasner, G.G. Sovershenstvovanie processa prigotovlenija vysokobelkovyh kormov na osnove soevogo zerna / Klasner G.G., Frolov V.Ju., Sysoev D.P. // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa Sbornik statej po materialam IX Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh. Otvetstvennyj za vypusk: A.G. Koshhaev. 2016. S. 346-347.
4. Kremjanskij, F.V., Drobot V.A. raschet na prochnost' jelementov konstrukcij pri prostom i slozhnom soprotivlenii / sost. F.V. Kremjanskij, V.A. Drobot. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 47 s.