

УДК 631.3:159.9.072

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШНЕКА ПЕРЕМЕННОГО ШАГА ЭКСТРУДЕРА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ**

Припоров Игорь Евгеньевич  
канд. техн. наук, доцент  
SPIN-код автора: 4330-0224  
e-mail: [ya.krip10@ya.ru](mailto:ya.krip10@ya.ru)

Курасов Владимир Станиславович  
Д-р техн. наук, профессор  
SPIN-код автора: 7925-1853  
e-mail: [kurasoff@gmail.com](mailto:kurasoff@gmail.com)  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Целью исследований явилось определение рациональных конструктивных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера, которые позволят учесть физическое состояние и получить оптимальную плотность подсолнечного жмыха, как в рассыпном, так и гранулированном видах для крупного рогатого скота на основе психологического эксперимента или априорного ранжирования факторов. Перед началом исследования выбирали факторы, которые влияют на плотность подсолнечного жмыха. В начальной стадии изучения плотности подсолнечного жмыха помимо анализа литературных источников и ранее полученных материалов, проведем психологический эксперимент или априорное ранжирование факторов. Процедуру психологического эксперимента осуществляли следующим образом. Каждому специалисту при опросе предлагалось заполнить анкету, в которой были указаны факторы, их размерность и предполагаемые интервалы его варьирования. Специалист должен был назначить место каждого фактора, а также дополнить анкету другими, не включенными в рассмотрение факторами или высказать мнение об изменении интервалов варьирования. По результатам опроса вычисляли коэффициент конкордации и после его вычисления определяли его значимость по критерию Пирсона. После проверки коэффициента конкордации по критерию Пирсона была построена диаграмма рангов распределения факторов, влияющих на плотность подсолнечного жмыха по видам, отражающая коллективное мнение специалистов. На основании проведенной экспертной оценки, наиболее значимыми факторами, влияющими на плотность подсолнечного жмыха в рассыпном и гранулированном видах, являются: ( $x_1$ ) угол конусности шнека, ( $x_2$ ) шаг витка шнека 2-й, ( $x_3$ ) шаг витка шнека 1-й навивки. Предложенные конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера можно отнести к рациональным, так

UDC 631.3:159.9.072

Processes and machines of Agroengineering systems

**RATIONAL DESIGN PARAMETERS OF A SCREW WITH VARIABLE STEP EXTRUDER UPON RECEIPT OF SUNFLOWER OIL CAKE ON THE BASIS OF PSYCHOLOGICAL EXPERIMENT**

Priporov Igor Evgenevich  
Candidate of technical sciences, associate professor  
SPIN-code: 4330-0224  
e-mail: [ya.krip10@ya.ru](mailto:ya.krip10@ya.ru)

Kurasov Vladimir Stanislavovich,  
Doctor of technical sciences, professor  
SPIN-code: 7925-1853  
e-mail: [kurasoff@gmail.com](mailto:kurasoff@gmail.com)  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

The aim of the research was to determine rational design parameters of a screw with variable step of press-extruder, which will allow to consider their physical condition and to obtain optimal density of sunflower cake, in loose and granular types for cattle on the basis of a psychological experiment or a priori ranking factors. Before the start of the study chose the factors that affect the density of sunflower meal. In the initial stage of studying the density of sunflower cake in addition to the analysis of the literature and previously obtained materials, we will conduct a psychological experiment or a priori ranking factors. Procedure of a psychological experiment was carried out in the following way. Each expert in the survey was asked to complete a form, in which were the factors, their dimensions and the anticipated intervals of variation. A specialist had to appoint the place of each factor and to include in the questionnaire other, not included into consideration factors or to express an opinion about the change of intershafts of variation. According to the survey we have calculated the coefficient of concordance and after it is evaluated determined by its significance for the Pearson criterion. After checking of the coefficient of concordance according to the Pearson criterion we have plotted rank distribution of factors influencing the density of sunflower oilcake by types, reflecting the collective opinion of experts. On the basis of the conducted expert assessment, the most significant factors affecting the density of sunflower cake, crumbled and granulated types are: ( $x_1$ ) the angle of taper of the screw ( $x_2$ ) step spiral auger 2, ( $X_3$ ) step revolution of the screw of the 1st winding. The proposed design parameters of the variable pitch screw press extruder can be attributed to the rational, since they allow not only to obtain the desired density of sun-

как они позволяют не только получить требуемую плотность подсолнечного жмыха, как в рассыпном, так и гранулированном видах для крупного рогатого скота, но и учесть его физико-механические свойства

flower cake, in loose and granular types for cattle, but also to consider its physical and mechanical properties

Ключевые слова: ПОДСОЛНЕЧНЫЙ ЖМЫХ, СЕМЕНА, КОРМОВОЙ МАТЕРИАЛ, ПРЕСС-ЭКСТРУДЕР, ШНЕК ПЕРЕМЕННОГО ШАГА, ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, КОЭФФИЦИЕНТ КОНКОРДАЦИИ, РАССЫПНОЙ И ГРАНУЛИРОВАННЫЙ, КРИТЕРИЙ ПИРСОНА

Keywords: SUNFLOWER CAKE, SEEDS, FEED MATERIAL, EXTRUDER, SCREW WITH VARIABLE STEP, PSYCHOLOGICAL EXPERIMENT DESIGN PARAMETERS, COEFFICIENT OF CONCORDANCE, LOOSE AND GRANULAR, PEARSON CRITERION

**Doi: 10.21515/1990-4665-137-006**

## Введение

В настоящее время при производстве кормов используется экструдирование, позволяющее повысить их качество [5], а также организация кормовой базы способствует увеличению в них протеина и аминокислот. Важным резервом по увеличению производства протеина являются семена масличных культур (подсолнечник, рапс, лен и другие), продуктом переработки которых является жмых, обладающий высокоэнергетическим и протеиновым компонентом для рациона сельскохозяйственных животных [3].

Процесс экструдирования заключается в приготовлении кормов для них и связан с переработкой семян в экструдере путем размягчения и придания кормам формы при продавливании через экструзионную головку. Применение таких кормов способствует повышению перевариваемости и питательной их ценности и сбалансированному питанию животных и др. [1,7].

Многие работы ученых [2] посвящены экструдированию различных материалов, проведенный анализ, которых показал, что рациональные параметры экструдеров могут быть обоснованы на базе теоретических исследований движения обрабатываемого кормового материала под действием их рабочих органов. С инженерной точки зрения такие исследования должны учитывать не только механическое воздействие шнека экструдера

на материал, но и изменения его физического состояния, связанного с нагревом. По мнению Фролова В.Ю. [8] шнек должен быть с переменным уменьшающимся шагом по мере передвижения вдоль его оси, обрабатываемого кормового материала (ОКМ) [6].

Целью исследования является определение рациональных конструктивных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера, которые позволят учесть физическое состояние и получить оптимальную плотность подсолнечного жмыха, как в рассыпном, так и гранулированном видах для крупного рогатого скота на основе психологического эксперимента или априорного ранжирования факторов.

### **Объекты и методы**

При предварительном изучении объекта исследования (плотность подсолнечного жмыха) проводили априорное ранжирование факторов, или «психологический эксперимент» [4].

Перед началом исследования выбирали факторы, которые влияют на плотность подсолнечного жмыха.

В начальной стадии изучения плотности подсолнечного жмыха помимо анализа литературных источников и ранее полученных материалов, проведем психологический эксперимент или априорное ранжирование факторов.

Сущность данного метода заключается в том, что исследователям, которые принадлежат к разным школам, предлагается расположить факторы, действующие в объекте, в порядке убывания величины вносимого ими вклада или влияния на критерий оптимизации [4].

Психологический эксперимент необходим для сокращения объема экспериментальной работы, так как несущественные факторы исключаются из дальнейшего рассмотрения, а также обсуждение различными специа-

листами одного вопроса и дискуссии, возникающие при бурном обсуждении, внесут новые сведения об изучаемом объекте.

Процедура психологического эксперимента осуществляется следующим образом [4]. Каждому специалисту при опросе предлагалось заполнить анкету, в которой были указаны факторы, их размерность и предполагаемые интервалы его варьирования.

Специалист должен был назначить место каждого фактора, а также дополнить анкету другими, не включенными в рассмотрение факторами или высказать мнение об изменении интервалов варьирования.

По результатам опроса вычисляли коэффициент конкордации (согласования)  $W$ , который определяет степень согласованности мнений специалистов по формуле [4]:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^2 - k)}, \quad (1)$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений;

$m$  – число опрашиваемых специалистов ( $m=10$ );

$k$  – число факторов ( $k=7$ ).

Сумму квадратов отклонений вычисляли по формуле [4]:

$$S = \sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} - L \right)^2, \quad (2)$$

где  $a_{ij}$  – ранг (порядковый номер при опросе)  $i$ -го фактора у  $j$ -го специалиста;

$L$  – среднее значение сумм рангов по каждому фактору

$$L = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}. \quad (3)$$

При проведении априорного ранжирования факторов специалистам были предложены анкеты, в которых приведены основные факторы, влияющие на плотность подсолнечного жмыха в рассыпном (таблица 1) и гранулированном (таблица 2) видах.

Таблица 1 – Основные факторы, влияющие на плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде, обозначения и уровни их варьирования

Обозначение	Фактор	Уровень варьирования	
		нижний	верхний
$x_1$	Угол конусности шнека, град.	6	8
$x_2$	Шаг витка шнека 2-й навивки, мм	5	9
$x_3$	Шаг витка шнека 1-й навивки, мм	8	16
$x_4$	Температура экструдирования °С	135	145
$x_5$	Диаметр отверстия бункера, мм	10	20
$x_6$	Влажность продукта, %	5	7
$x_7$	Давление в пресс-экструдере, МПа	4	6

Таблица 2 – Основные факторы, влияющие на плотность подсолнечного жмыха в гранулированном виде, обозначения и уровни их варьирования

Обозначение	Фактор	Уровень варьирования	
		нижний	верхний
$x_1$	Угол конусности шнека, град.	20	40
$x_2$	Шаг витка шнека 2-й навивки, мм	20	36
$x_3$	Шаг витка шнека 1-й навивки, мм	24	48
$x_4$	Температура экструдирования °С	140	150
$x_5$	Диаметр отверстия бункера, мм	5	10
$x_6$	Влажность продукта, %	4	6
$x_7$	Давление в пресс-экструдере, МПа	3	5

### Результаты исследования

Матрица рангов для плотности подсолнечного жмыха в рассыпном и гранулированном видах представлена в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Матрица рангов для плотности подсолнечного жмыха в рас-сыпном виде

Специалист	Фактор						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1	2	1	1	4	2	3	3
2	1	2	2	3	3	3	2
3	2	1	1	2	3	2	3
4	1	2	2	3	2	3	3
5	1	2	3	3	3	2	4
6	1	2	1	2	2	2	3
7	2	1	1	1	1	3	2
8	2	1	1	3	2	1	1
9	1	1	1	1	3	3	1
10	1	2	2	2	2	3	7
$\sum_{j=1}^{j=m} a_{ij}$	14	15	15	24	23	25	29
$\Delta_i = \sum_{i=1}^m a_{ij} - L$	12	12,9	12,9	20,6	19,7	21,4	24,9
$\Delta_i^2$	144	165,3	165,3	423,2	388,7	459,2	617,9

Таблица 4 – Матрица рангов для плотности подсолнечного жмыха в грану-лированном виде

Специалист	Фактор						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1	2	1	1	3	2	3	3
2	1	2	2	3	3	3	2
3	2	1	1	2	3	2	3
4	1	2	2	3	2	3	3
5	1	2	3	3	4	2	5
6	1	2	1	2	2	3	3
7	2	1	1	1	1	3	2
8	1	2	1	3	2	2	1
9	1	1	1	1	3	3	1
10	1	2	2	2	2	3	7
$\sum_{j=1}^{j=m} a_{ij}$	13,0	16,0	15,0	23,0	24,0	27,0	30,0
$\Delta_i = \sum_{i=1}^m a_{ij} - L$	11,1	13,7	12,9	19,7	20,6	23,1	25,7
$\Delta_i^2$	124,2	188,1	165,3	388,7	423,2	535,6	661,2

Представим расчет коэффициента конкордации в виде таблицы 5 по вышеприведенным формулам (1)–(3).

Таблица 5 – Расчет коэффициента конкордации

Наименование показателя	Вид подсолнечного жмыха	
	рассыпной	гранулированный
Сумма квадратов отклонений (S)	2363,5	2486,2
Коэффициент конкордации (W)	0,84	0,89

Величина коэффициент конкордации отличается от нуля между видами подсолнечного жмыха, поэтому принимаем, что мнения специалистов согласованы.

После вычисления коэффициента конкордации определяли его значимость по критерию Пирсона  $\chi^2$  с числом степеней свободы  $f=k-1$ . Расчетное значение  $\chi^2$ -распределения определяли по формуле [4]:

$$\chi^2 = m(k - 1)W. \quad (4)$$

Подставив числовые значения в формулу (4) получим значения  $\chi^2$ -распределения по видам подсолнечного жмыха:

- рассыпного  $\chi^2 = 50,647$  ,
- гранулированного  $\chi^2 = 53,276$  .

Для 5%-ного уровня значимости при  $f=6$  степеней свободы табличное значение критерия Пирсона . Так как , то с 95%-й вероятностью можно утверждать, что мнения специалистов относительно степени влияния факторов оцененный коэффициентом конкордации  $W = 0,84$  для рассыпного и  $W = 0,89$  гранулированного вида подсолнечного жмыха и согласованность ими неслучайна.

После проверки коэффициента конкордации по критерию Пирсона была построена диаграмма рангов распределения факторов, влияющих на плотность подсолнечного жмыха по видам (рисунок 1), отражающая кол-

лективное мнение специалистов. Для этого по оси абсцисс наносили суммы рангов для соответствующего фактора, а по оси ординат – факторы в порядке убывания их ранга [4].

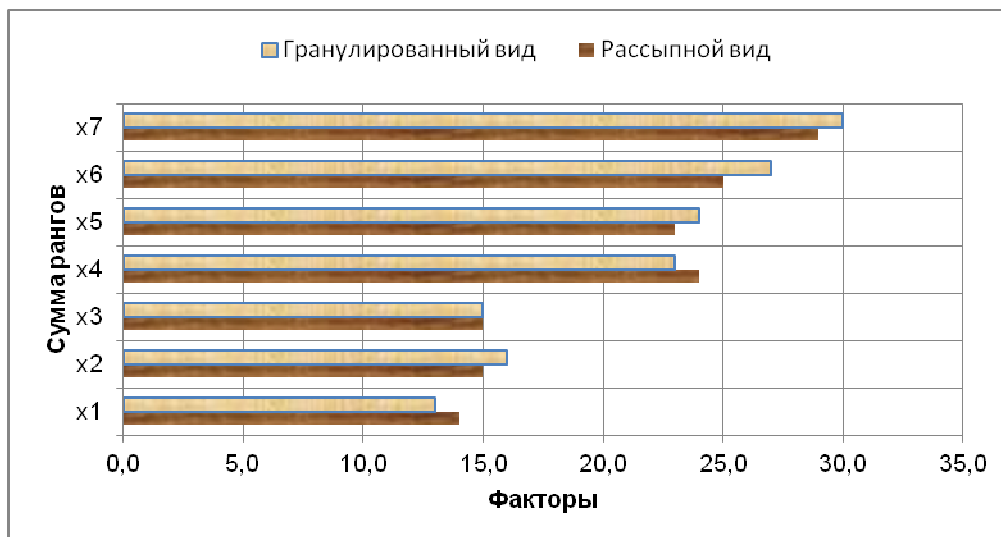


Рисунок 1 – Средняя априорная диаграмма рангов

В обоих случаях наблюдается неравномерное убывание диаграммы по типу экспоненциального распределения и для дальнейшего рассмотрения отбираем факторы  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  (рисунок 1).

### Выводы

1. На основании проведенной экспертной оценки, наиболее значимыми факторами, влияющими на плотность подсолнечного жмыха в рассыпном и гранулированном видах, являются: ( $x_1$ ) угол конусности шнека, ( $x_2$ ) шаг витка шнека 2-й, ( $x_3$ ) шаг витка шнека 1-й навивки.

2. Преложенные конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера можно отнести к рациональным, так как они позволяют не только получить требуемую плотность подсолнечного жмыха, как в рассыпном, так и гранулированном видах для крупного рогатого скота, но и учесть его физико-механические свойства.



### Список литературы

1. Денисов С.В. Повышение эффективности кормосмеси на основе стебельчатого корма и обоснование параметров пресс-экструдера: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. - 24 с.
2. Курочкин А. А. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков, С. В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 6(10). – С. 46-54.
3. Лошкормойников, И. А. Резервы увеличения производства высокопротеиновых кормов и рациональное их использование при кормлении крупного рогатого скота и птицы: дис. ... док. с.-х. наук: 06.02.02 / Лошкормойников Иван Анатольевич. – Омск: Ом. гос. аграр. ун-т, 2009. – 437 с. Режим доступа: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/454439.html>.
4. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алёшкин, П. М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
5. Орстик О.Л. О влиянии конусности направителя на продвижение смеси в пресс-экструдере // Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). С. 73 – 78.
6. Припоров, И.Е. Обоснование рациональных конструкционных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 12. – С. 27-30.
7. Припоров И.Е. Теоретические исследования процесса прессования кормов на основе подсолнечного жмыха // Вестник Ижевской ГСХА. – 2017. – № 2(51). – С. 58-63.
8. Фролов В.Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты разработки технологий и технических средств, приготовления коцентрированных кормов на основе соевого белка. Краснодар: КубГАУ, 2010. 140 с.

### References

1. Denisov S.V. Povyshenie jeffektivnosti kormosmesi na osnove stebel'chato-go korma i obosnovanie parametrov press-jekstrudera: avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk. Saratov, 2006. S. 3.
2. Kurochkin A. A. Metodologicheskie aspekty teoreticheskijh issledovanij press-jekstrudеров dlja obrabotki rastitel'nogo krahmalsoderzhashhego syr'ja / A. A. Ku-rochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov, S. V. Denisov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. – 2013. – № 6(10). – S. 46-54.
3. Loshkormojnikov, I. A. Rezervy uvelichenija proizvodstva vysoko-proteinovyh kormov i racional'noe ih ispol'zovanie pri kormlenii krupnogo rogatogo skota i pticy: dis. ... dok. s.-h. nauk: 06.02.02 / Loshkormojnikov Ivan Anatol'evich. – Omsk: Om. gos. agrar. un-t, 2009. – 437 s. Rezhim dostupa: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/454439.html>.
4. Mel'nikov S. V. Planirovanie jeksperimenta v issledovanijah sel'skohozhaj-stvennyh processov / S. V. Mel'nikov, V. R. Aljoshkin, P. M. Roshhin. – L.: Kolos, 1980. – 168 s.
5. Orsik O.L. O vlijanii konusnosti napravitelja na prodvizhenie smesi v press-jekstrudere // Niva Povolzh'ja. 2014. № 3 (32). S. 73 – 78.
6. Priporov, I.E. Obosnovanie racional'nyh konstrukcionnyh parametrov shneka peremennogo shaga press-jekstrudera // Traktory i sel'hozmashiny. – 2016. – № 12. – S. 27-30.
7. Priporov I.E. Teoreticheskie issledovanija processa pressovanija kormov na osnove podsolnechnogo zhmyha // Vestnik Izhevskoj GSHA. – 2017. – № 2(51). – S. 58-63.

8. Frolov V.Ju. Teoreticheskie i jeksperimental'nye aspekty razrabotki tehno-logij i tehnikeskikh sredstv, prigotovlenija koncentrirovannyh kormov na osnove soevogo belka. Krasnodar: KubGAU, 2010. 140 s.