

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ПЕРЕМЕННОГО ШАГА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАССЫПНОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF A SCREW FOR THE VARIABLE PITCH OF A PRESS EXTRUDER IN THE PREPARATION OF A LOOSE SUNFLOWER MEAL

И.Е. ПРИПОРОВ, к.т.н.
В.С. КУРАСОВ, д.т.н.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия, ya.krip10@ya.ru

I.E. PRIPOROV, PhD in Engineering
V.S. KURASOV, DSc in Engineering

Kuban State Agrarian University named after Ivan Trubilin, Krasnodar, Russia, ya.krip10@ya.ru

Цель исследования – уменьшение энергоемкости экструдирования отходов семян подсолнечника при получении подсолнечного жмыха в рассыпном виде на основе планирования многофакторного эксперимента. Перед началом эксперимента факторы кодировали, осуществляя линейное преобразование факторного пространства с переносом начала координат в центр эксперимента и введением новых единиц измерения по осям. Определяли натуральное значение интервала варьирования фактора. С учетом проведенного обзора литературных источников, теоретических исследований и научно-технической информации были выбраны факторы варьирования для расчета плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде, полученного после обработки отходов семян на пресс-экструдере КМЗ-2. После расчета коэффициентов регрессии было получено уравнение регрессии, описывающее плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде. Провели исследование однородности дисперсий полученных откликов опыта по критерию Кохрена, а также проверили адекватность полученной математической модели с помощью критерия Фишера. На получение подсолнечного жмыха в рассыпном виде в пресс-экструдере КМЗ-2 влияют угол конусности шнека, шаг витка шнека 2-й навивки и в меньшей степени – 1-й навивки, в том числе парное взаимодействие между углом конусности и шагом витка шнека 1-й навивки. По результатам проведенного трехфакторного эксперимента были определены оптимальные конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера КМЗ-2, которые имеют следующие значения: угол конусности составляет 30° , шаг витка шнека 2-й навивки – 28 мм, шаг витка шнека 1-й навивки – 36 мм, которые позволяют получить рассыпной подсолнечный жмых плотностью 2139,4 кг/м³ и уменьшить энергоемкость экструдирования отходов семян подсолнечника.

Ключевые слова: конструктивные параметры, шнек переменного шага, пресс-экструдер, рассыпной подсолнечный жмых, отходы семян подсолнечника, планирование эксперимента, энергоемкость экструдирования.

The purpose of the study is to reduce the energy consumption of extruding sunflower seed waste when obtaining a sunflower meal in loose form on the basis of planning a multifactor experiment. Before the beginning of the experiment, the factors were encoded by performing a linear transformation of the factor space with the transfer of the origin to the center of the experiment and the introduction of new units of measurement along the axes. The natural value of the factor variation interval was determined. Taking into account the review of literature sources, theoretical studies and scientific and technical information, factors of variation were chosen to calculate the density of sunflower meal in the loose form obtained after treating the waste of seeds on a press extruder KMZ-2. After calculating the regression coefficients, a regression equation was obtained describing the density of the sunflower meal in the loose form. A study was made of the homogeneity of the variances of the experimental responses obtained by the Cochran test, and also checked the adequacy of the obtained mathematical model with the help of the Fisher criterion. The angle of conicity of the screw, the pitch of the auger of the 2nd coiling and, to a lesser extent, the 1st coiling, including the pair interaction between the taper angle and the pitch of the screw of the 1st winding, influence the obtaining of the sunflower meal in loose form in the extruder KMZ-2. Based on the results of the three-factor experiment, the optimum design parameters of the variable-pitch screw of the KMZ-2 press-extruder were determined, which have the following values: the cone angle is 30° , the pitch of the screw of the 2nd coiling is 28 mm, the pitch of the screw of the 1st coiling – 36 mm, which make it possible to obtain a loose sunflower meal with a density of 2139,4 kg / m³ and reduce the energy consumption of extruding sunflower seeds.

Keywords: constructive parameters, variable pitch auger, press extruder, loose sunflower meal, sunflower seed waste, experiment planning, energy consumption of extruding.

Введение

Для обеспечения прочной кормовой базы общественного поголовья в Краснодарском крае кроме основных кормов требуется повсеместно использовать отходы сельского хозяйства, в частности отходы подсолнечника [1].

Отходы подсолнечника получают при очистке вороха семян подсолнечника на воздушно-решетных зерноочистительных машинах типа МВУ-1500 (табл. 1), в которых содержится органическая примесь, а также битые, щуплые и обрушенные семена [2–5]. Данные отходы как раз и используются при откорме сельскохозяйственных в виде жмыха подсолнечного [6], получаемого на пресс-экструдере типа КМЗ-2 (рис. 1).

Проведенный анализ эффективности способов подготовки кормового материала (экструдата) показал, что наибольший практический и научный интерес представляет тепловой способ его обработки к скармливанию [7].

Проведенные исследования В.В. Новикова установили, что в процессе образования экструдата происходит его перемещение по всей длине рабочей камеры, образованной пространством между витками шнека и внутренней поверхностью корпуса, за счет чего получаемая смесь нагревается и уплотняется.

По результатам проведенных теоретических исследований было установлено, что шнек должен быть с переменным уменьшающимся шагом (рис. 1) по мере передвижения

Таблица 1

Основные показатели качества сортирования семян подсолнечника сорта Лакомка на серийной воздушно-решетной семяочистительной машине МВУ-1500

Показатель	Выход фракции, %	Семян основной культуры, %		Отход, %				Масса 1000 семян, г
		всего	в том числе обрушенных	всего	в том числе			
					органические примеси	битые	щуплые	
Исходный материал		92,01	1,2	7,99	6,39	0,49	1,11	90,2
1 аспирационный канал	4,6	51,05	–	49,95	49,61	0,05	0,29	
2 аспирационный канал	1,9	79,98	0,02	20,02	19,74	0,04	0,24	
Сход с верхнего стана решета	0,8	85,04	–	14,96	14,95	0,01	–	
Подсев верхнего стана решета	5,8	56,41	1,04	43,59	28,99	0,18	14,42	
Подсев нижнего стана решета	3,2	78,52	0,95	21,48	19,21	0,07	2,20	
Основной выход	83,7	97,61	1,29	2,39	1,83	0,41	0,15	102,8

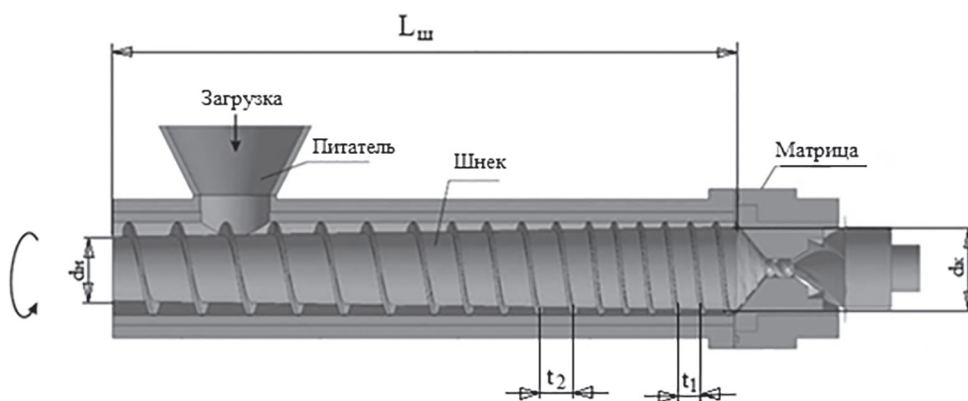


Рис. 1. Шнек переменного шага пресс-экструдера КМЗ-2 [4]

вдоль его оси обрабатываемого кормового материала (ОКМ), происходит уплотнение и принимает форму в соответствии с требованиями к процессу [7].

Непостоянство физико-механических свойств смеси, поступающей на экструдирование, вызывает колебание давления внутри пресс-экструдера, и поэтому процесс нестабилен, получаемый продукт имеет неоднородный состав и свойства, и, как следствие, повышенную энергоёмкость [8–10].

Цель исследования

Целью исследования является уменьшение энергоёмкости экструдирования отходов семян подсолнечника при получении подсолнечного жмыха в рассыпном виде на основе планирования многофакторного эксперимента.

Материал и методика исследования

На начальном этапе рассмотрим конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера типа КМЗ-2 для получения подсолнечного жмыха в рассыпном виде.

Для этого определим угол конусности шнека (рис. 1) в зависимости от его диаметра и длины по выражению, полученному в работе И.Е. Приорова [10]:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(d_k - d_n)}{a^N b(z-1) + \sum_1^z \Delta b},$$

где d_n , d_k – начальный и конечный диаметр шнека переменного шага, соответственно, м; a – коэффициент пропорциональности, $a > 1$; b – шаг витка шнека переменного шага, м; N – число оборотов шнека переменного шага; z – количество витков шнека переменного шага по длине вала; Δb – ширина витка шнека переменного шага в нормальном сечении, м.

Шаг витка определяется по выражению [10]:

$$t = at_i,$$

где t_i – шаг i -х витков, м.

При повороте шнека переменного шага на угол $\varphi = 360N$ шаг витка будет:

$$t_N = at_{N-1} = a^N b.$$

На следующем этапе с целью оптимизации его конструктивных параметров проведем многофакторный эксперимент Бокса-Бенкина (B_k), представленный в работе [11]. Перед началом эксперимента факторы кодировали, осуществляя линейное преобразование факторного пространства с переносом начала координат в центр эксперимента и введением новых единиц измерения ϵ по осям. Кодирование факторов, а также определение натурального значения интервала их варьирования производились по известным формулам.

На основании проведенного обзора литературных источников, а также теоретических исследований и научно-технической информа-

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента для определения плотности рассыпного подсолнечного жмыха

№ опыта	Факторы						Критерий оптимизации, y_s , кг/м ³
	угол конусности шнека (x_1)		шаг витка шнека 2-й навивки (x_2)		шаг витка шнека 1-й навивки (x_3)		
	уровень	значение (α), град.	уровень	значение (t_2), мм	уровень	значение (t_1), мм	
1	+1	40	+1	36	+1	48	1800
2	+1	40	+1	36	-1	24	1960
3	-1	20	+1	36	+1	48	2110
4	-1	20	+1	36	-1	24	1890
5	+1	40	-1	20	+1	48	1850
6	+1	40	-1	20	-1	24	1950
7	-1	20	-1	20	+1	48	2120
8	-1	20	-1	20	-1	24	1840
9	0	30	0	28	+1	48	2250
10	0	30	0	28	-1	24	2280
11	+1	40	0	28	0	36	1900
12	-1	20	0	28	0	36	2000
13	0	30	+1	36	0	36	2020
14	0	30	-1	20	0	36	2010

ции были выбраны факторы варьирования для расчета плотности рассыпного подсолнечного жмыха, полученного после обработки семян на пресс-экструдере КМЗ-2 (табл. 2).

В литературных источниках приводится общее значение плотности подсолнечного жмыха, при этом значение ее величины в рассыпном виде отсутствует.

Для проведения планирования эксперимента была разработана программа, позволяющая рассчитать коэффициенты регрессии полученной математической модели.

Результаты исследования

После проведения опыта, расчета коэффициентов регрессии по составленной программе было получено уравнение регрессии, описывающая плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде (кг/м³):

$$y_s = -1156,5 + 144x_1 + 123,3x_2 - 30,1x_3 - 0,13x_1x_2 - 0,79x_1x_3 - 0,16x_2x_3 - 1,95x_1^2 - 2,03x_2^2 + 0,83x_3^2 \quad (1)$$

Анализ уравнения (1) показывает, что наибольшее влияние на плотность рассыпного подсолнечного жмыха при обработке семян в пресс-экструдере КМЗ-2 оказывают угол конусности шнека, шаг витка шнека 2-й навивки и, в меньшей степени, 1-й навивки, в том числе парное взаимодействие между углом конусности и шагом витка шнека 1-й навивки.

Провели исследование однородности дисперсий полученных откликов опыта по критерию Кохрена, значение которого составило $G_{теор} = 0,2092$. Полученное теоретическое значение критерия Кохрена сравнивали с табличным $G_{табл} = 0,3067$ при числе степеней свободы $f_1 = 6$ и $f_2 = 9$. Поскольку теоретическое значение критерия Кохрена меньше табличного, то дисперсии откликов опыта однородны.

Адекватность полученной математической модели была проверена с помощью критерия Фишера. Табличное значение критерия Фишера при 5%-м уровне значимости и числе степеней свободы $f_1 = 6$, $f_2 = 5$ и $F_{0,05} = 5,0$. Критерий Фишера при расчетах составил

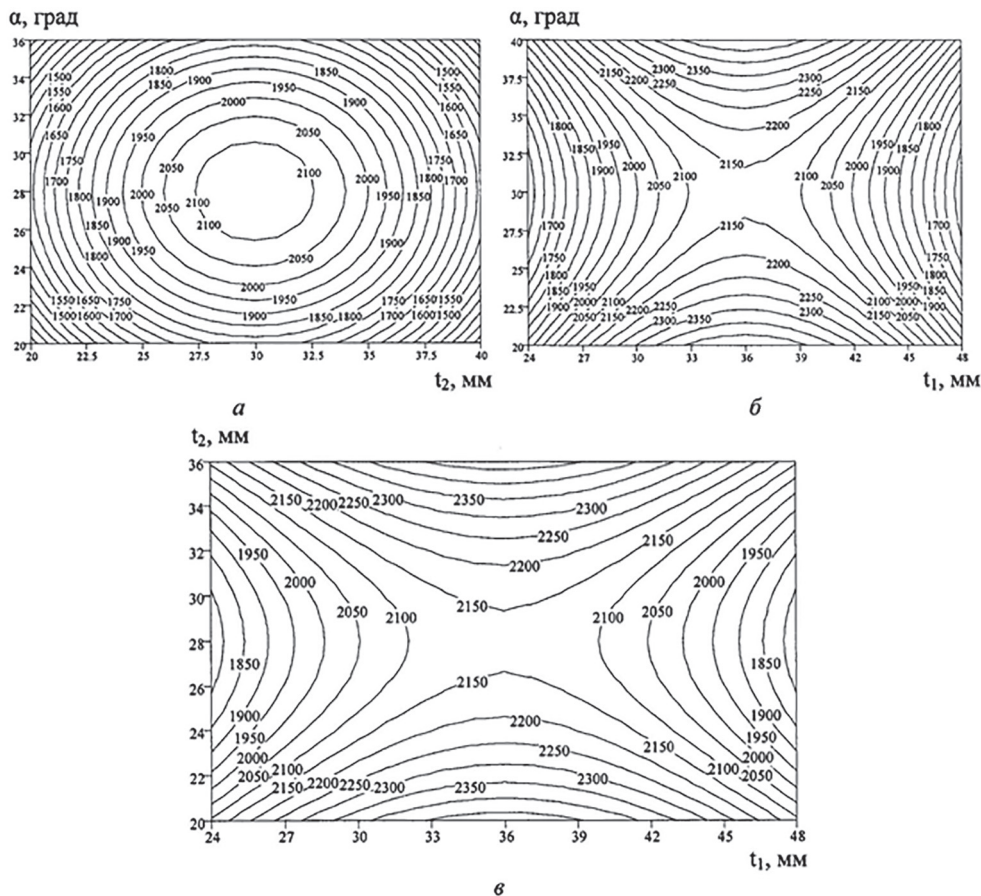


Рис. 2. Двумерные сечения поверхностей зависимости плотности рассыпного подсолнечного жмыха в зависимости от:
 а – угла конусности и шаг витка шнека 2-й навивки; б – угла конусности и шаг витка шнека 1-й навивки; в – шага витка шнека 2-й и 1-й навивки

$F_{\text{расч}} = 3,67$, то есть адекватность математической модели подтверждена.

Для нахождения максимума функции отклика приравняем к нулю ее частные производные и решим полученную систему уравнений [12].

Подставив полученные результаты кодированных значений ($x_1 = -0,103$; $x_2 = 0,01$; $x_3 = -0,115$) в уравнение (1), определим максимальное значение плотности рассыпного подсолнечного жмыха, полученного из семян после обработки на пресс-экструдере КМЗ-2, которое составило $y_s = 2139,4$ кг/м³.

По результатам обработки многофакторного эксперимента для плотности рассыпного подсолнечного жмыха были получены следующие уравнения регрессии в канонической форме для угла конусности шнека и шага витка шнека 2-й навивки, угла конусности шнека и шаг витка шнека 2-й навивки и шага витка шнека 2-й навивки и шага витка шнека 1-й навивки, соответственно, представленные на рис. 2:

$$\begin{aligned}y - 2139,4 &= -195X_1^2 - 130,1X_2^2, \\y - 2139,4 &= -195X_1^2 + 119,7X_3^2, \\y - 2139,4 &= -130,1X_2^2 + 119,7X_3^2.\end{aligned}$$

Выводы

1. На получение подсолнечного жмыха в рассыпном виде в пресс-экструдере КМЗ-2 влияют угол конусности шнека, шаг витка шнека 2-й навивки и, в меньшей степени, 1-й навивки, в том числе парное взаимодействие между углом конусности и шагом витка шнека 1-й навивки.

2. По результатам проведенного трехфакторного эксперимента были определены оптимальные конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера КМЗ-2, которые имеют следующие значения: угол конусности составляет 30°, шаг витка шнека 2-й навивки – 28 мм, шаг витка шнека 1-й навивки – 36 мм, позволяющие получить рассыпной подсолнечный жмых плотностью 2139,4 кг/м³ и уменьшить энергоемкость экструдирования отходов семян подсолнечника.

Литература

1. Абилов Б.Т., Крючков П.Г., Джафаров Н.М. Использование отходов подсолнечника в рационах откормочного молодняка крупного рогатого скота // Сб. науч. тр. ВНИИ овцеводства и козоводства, 2004. Т. 2. № 2–2. С. 28–30.

2. Припоров И.Е. Параметры усовершенствованного процесса разделения компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в воздушно-решетных зерноочистительных машинах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2012. 24 с.
3. Трубилин Е.И., Припоров И.Е. Технические средства для послеуборочной обработки семян подсолнечника. Краснодар, 2015. 29 с.
4. Припоров И.Е. Механико-технологическое обоснование процесса разделения компонентов вороха семян подсолнечника на воздушно-решетных зерноочистительных машинах. Краснодар: КубГАУ, 2016. 212 с.
5. Шафоростов В.Д., Припоров И.Е. Влияние толщины, ширины и индивидуальной массы семян подсолнечника на скорость их витания // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2010. № 1 (142–143). С. 76–80.
6. Припоров И.Е. Использование подсолнечного жмыха в рационе крупного рогатого скота // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 5 (15). С. 184–187.
7. Фролов В.Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты разработки технологий и технических средств, приготовления концентрированных кормов на основе соевого белка. Краснодар: КубГАУ, 2010. 140 с.
8. Коновалов В.В., Орси́к И.Л., Успенская И.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров направлятеля пресс-экструдера по неравномерности давления в зоне загрузки // Вестник Ульяновской ГСХА. 2015. № 2 (30). С. 161–165.
9. Припоров И.Е. Обоснование рациональных конструктивных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 12. С. 27–30.
10. Припоров И.Е. Обоснование винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера // Известия Оренбургского ГАУ. 2017. № 1 (63). С. 67–70.
11. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
12. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов. Краснодар: КубГАУ, 2004. 239 с.

References

1. Abilov B.T., Kryuchkov P.G., Dzhafarov N.M. Use of sunflower waste in rations of fattening young

- cattle. Sb. nauch. tr. VNII ovcevodstva i kozovodstva [Collection of scientific works of All-Russian scientific research institute], 2004. Vol. 2, No 2–2, pp. 28–30 (in Russ.).
2. Priporov I.E. Parametry usovershenstvovannogo processa razdeleniya komponentov voroha semyan krupnoplodnogo podsolnechnika v vozdushno-reshetnyh zernoochistitel'nyh mashinah: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Parameters of the improved process of separation of heap components of large-fruited sunflower seed in air-screen grain cleaning machines: Dissertation for degree of candidate of technical sciences]. Krasnodar, 2012. 24 p.
 3. Trubilin E.I., Priporov I.E. Tekhnicheskie sredstva dlya posleuborochnoj obrabotki semyan podsolnechnika [Technical means for post-harvest treatment of sunflower seeds]. Krasnodar, 2015. 29 p.
 4. Priporov I.E. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie processa razdeleniya komponentov voroha semyan podsolnechnika na vozdushno-reshetnyh zernoochistitel'nyh mashinah [Mechanic-technological justification of the process of separation of components of a heap of sunflower seeds on air-screen grain cleaning machines]. Krasnodar: KubGAU Publ., 2016. 212 p.
 5. Shaforostov V.D., Priporov I.E. Influence of thickness, width and individual mass of sunflower seeds on their soar. Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten' Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnyh kul'tur [Oilseeds. Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds]. 2010. No 1 (142–143), pp. 76–80 (in Russ.).
 6. Priporov I.E. Use of sunflower meal in the ration of cattle. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. No 5 (15), pp. 184–187 (in Russ.).
 7. Frolov V.YU. Teoreticheskie i ehksperimental'nye aspekty razrabotki tekhnologij i tekhnicheskikh sredstv, prigotovleniya kocentrirovannykh kormov na osnove soevogo belka [Theoretical and experimental aspects of the development of technologies and technical means, the preparation of concentrated fodders based on soy protein]. Krasnodar: KubGAU Publ., 2010. 140 p.
 8. Konovalov V.V., Orsik I.L., Uspenskaya I. V. Optimization of constructive and technological parameters of the extruder guide for uneven pressure in the loading zone. Vestnik Ul'yanovskoj GSKHA. 2015. No 2 (30), pp. 161–165 (in Russ.).
 9. Priporov I.E. Substantiation of rational design parameters of a screw of variable pitch of a press extruder. Traktory i sel'hozmashiny. 2016. No 12, pp. 27–30 (in Russ.).
 10. Priporov I.E. Substantiation of the screw surface of the screw of the variable pitch of a press extruder. Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2017. No 1 (63), pp. 67–70 (in Russ.).
 11. Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. Planirovanie ehksperimenta v issledovaniyah sel'skohozyajstvennykh processov [Planning an experiment in research on agricultural processes]. Leningrad: Kolos Publ., 1980. 168 p.
 12. Yudin M.I. Planirovanie ehksperimenta i obrabotka ego rezul'tatov [Planning an experiment and processing its results]. Krasnodar: KubGAU Publ., 2004. 239 p.