

Экспериментальное исследование процесса прессования масличного фуза

Савриев Й.С., Гафуров К.Х., Севинов У.Б.

Бухарский инженерно-технологический институт

ABSTRACT

В данной работе на основе экспериментального исследования процесса прессования смеси «масличный фюз – шелуха семян хлопчатника» получено регрессионное уравнение, описывающее зависимость остаточной масличности жмыха после прессования от влияющих факторов - процентного соотношения фуза в составе смеси и продолжительности перемешивания фуза и шелухи. Полученное уравнение позволяет с достаточной точностью определять остаточную масличность жмыха в исследуемом диапазоне изменения влияющих факторов, что необходимо для оптимизации процесса.

© 2019 Hosting by Central Asian Studies. All rights reserved.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 November 2020
Revised form 16 December 2020
Accepted 20 January 2020

Keywords:

фюз; шелуха; жмых;
прессование; перемешивание;
планирование эксперимента;
регрессионное уравнение.

1. INTRODUCTION

На сегодняшний день электронные тахеометры относятся к высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений нового поколения приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. На сегодняшний день во всём мире растёт объём производства растительных масел. Так по данным [1] производство растительных масел (в млн. тонн) в 2016/2017 годах составил 183; в 2017/2018 годах – 193,3; в 2018/2019 годах 198,1; в 2019/2020 годах (прогноз) – 200,9.

Основной объём выпуска растительных масел приходится на пальмовое и соевое масла. В сумме они составляют 63% от общего объёма мирового производства. На долю хлопкового масла же приходится 2 %, что составляет в 2019/2020 годах 4,018 млн. тонн.

Масло хлопковое – соломенно-жёлтая маслянистая жидкость, практически не имеющая запаха, с нежным, чуть ореховым вкусом. Химический состав хлопкового масла включает в себя: витамины B1, B2, B5, B6, B9, E и PP, а также насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты, являющиеся основным поставщиком омега-3 и омега-6 в организм человека. Масло хлопковое является отличным антиоксидантом, препятствует старению организма, влияет на работу сердца и эластичность сосудов. Жирные кислоты, входящие в состав масла хлопкового, обладают антигистаминными и противовоспалительными свойствами, положительно влияют на иммунитет [2].

В маслоэкстракционных заводах Узбекистана действует технологическая схема, которая включает предварительное обезжиривание масла путем форпрессования с последующим его извлечением путем экстракции бензином [3].

Отделившийся от форпрессового масла фуз из фузоотделителя подается в повторную переработку в верхние чаны жаровен прессовых агрегатов и прессование. Фуз из фильтр-прессов также подается в повторную переработку в верхние чаны жаровен прессовых агрегатов и прессование. При этом возвратный фуз влияет на одно из основных качеств получаемого хлопкового масла – кислотное число.

В этом плане научные исследования, направленные на совершенствование техники и технологии производства хлопкового масла с максимально сохранённой пищевой ценностью и предусматривающий замену процесса возврата фуза на влаготепловую обработку процессом прессования с целью получения масла, имеют важное значение.

Целью настоящего исследования является планирование и экспериментальное исследование процесса прессования фуза и получение регрессионного уравнения, описывающего зависимость выходного параметра от влияющих на процесс факторов: соотношения смеси «масличная фуза-шелуха семян хлопчатника» и продолжительности перемешивания смеси.

Методы исследования. Планирование экспериментов и исследования были выполнены с использованием современных измерительных приборов в лабораторных и производственных условиях, а адекватность выражения математической модели была проанализирована с использованием методов математической статистики.

Масличность фуза и жмыха, а также влажность фуза и шелухи определены по известным методикам [4,5].

Материал для экспериментов. Для проведения экспериментов использованы следующие материалы: фуз отделяемый на фузоотделителе прессового цеха завода ООО «Евроснар» Жондорского района Бухарской области масличностью 53 % и влажностью 25 %. Шелуха хлопковой семени влажностью 10 % (производство 15 – 25 апреля 2019 г.).

Экспериментальная установка. Для экспериментальных исследований определения вышеуказанных параметров и режимов нами

разработана экспериментальная установка, состоящая из рабочей камеры, прессующего шнека и приводной части (рис.1).

Рабочая камера выполнена в виде горизонтального полого цилиндра, во внутренней части цилиндра по периметру расположены зерновые планки в виде четырехгранных пластинок, между зерновыми пластинами и внутренней поверхности цилиндра образуется кольцевая поверхность. Внутри зерновых пластинок установлен вал, в который надевается шнек, с уплотняющими размерами шага витков и диаметров. В конце цилиндра имеются подшипник и сальники для уплотнения вала шнека, на другом конце вала установлена шайба для поддержания центровки вала. Начальная часть цилиндра имеет патрубок для подачи сырья, поступающего из лотка, на другом конце внутренней части цилиндра имеется метровая резьба, где устанавливается кольцо с рукояткой. Кольцо имеет наружную метровую резьбу для обеспечения зазора между последним витком шнека и зерновыми пластинами. Внутренняя часть кольца имеет коническую поверхность, для плавного изменения зазора при его кручении.

Приводная часть пресса состоит из электродвигателя, ременной передачи двух шкивов различными диаметрами, редуктора с цилиндрическими зубчатыми передачами. Электродвигатель соединен с редуктором с помощью муфты. Вращательное движение от редуктора к валу пресса передается через ременную передачу со шкивами. Электродвигатель подключен к электрическому напряжению 380 В.

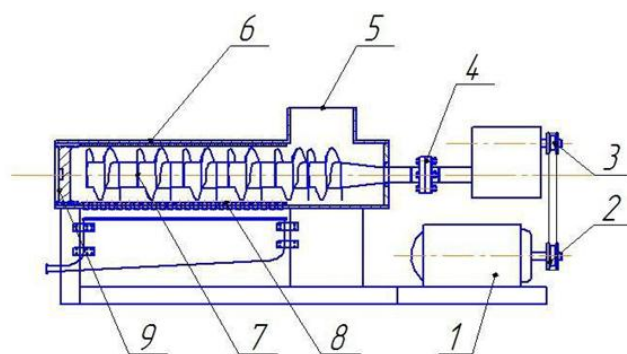


Рис.1. Аппарат для исследования процесса прессования масляного фуза

1-электродвигатель; 2-ведущий шкив; 3-ведомый шкив; 4-муфта; 5-бункер для загрузки сырья; 7-шнек; 8-зеерное устройство; 9-конус регулировки зазора

Проведение экспериментов в установке осуществлялось следующим образом: предварительно проверяется правильность соединения электродвигателя к источнику тока, затем работа пресса проверяется на холостом ходу, без загрузки материала. Убедившись в правильности работы пресса, начинается загрузка материала, при этом зазор между зеерными планками и шнеком должен быть максимальным. Постепенно уменьшается зазор между шнеком и зеерами закручиванием резьбового кольца в сторону шнеков. Закручивание резьбового кольца осуществляется до получения лепестка жмыха толщиной 3-4 мм после прессования. На выходе из пресса масляность жмыха составляет 8-8,5%. При этом наблюдается за изменением температуры цилиндра.

Условия проведения каждого опыта эксперимента в виде конкретного значения исследуемых факторов, а иногда и очередность проведения опытов, регламентируются планом эксперимента. По результатам опытов, следуя определенному алгоритму, получают соответствующее уравнение, характеризующее влияние факторов на эффективность исследуемого процесса [6].

Основными влияющими факторами на процесс выбираем процентное соотношение шелухи в составе смеси (в %) и продолжительность перемешивания (в мин.), так как от этих факторов зависит структура мезги, которая влияет на эффективность работы пресса, что определяет остаточную масляность жмыха (выход черного масла).

Из предварительных экспериментов, определили граничные значения этих факторов:

Первый фактор - процентное соотношение фуза в составе смеси.

Нижний уровень $x_{1\min}=25\%$; верхний уровень $x_{1\max}=35\%$.

Второй фактор - продолжительность перемешивания.

Нижний уровень $x_{2\min}=30$ мин; верхний уровень $x_{2\max}=40$ мин.

В общем случае эксперимент, в котором реализуются всевозможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом.

Самым простым симметричным $(\sum_{i=1}^n x_{iu} = 0)$ и ортогональным $(\sum_{i=1}^n x_{iu} x_{iu} = 0)$ планом является двухуровневый план полного факторного эксперимента ПФЭ_{2n}.

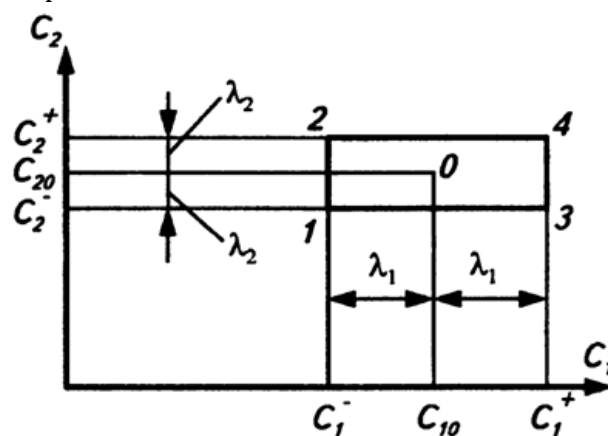


Рис.2. План ПФЭ₂₂ в натуральной размерности факторов

План предусматривает реализацию всех возможных опытов, условия проведения которых соответствуют любому сочетанию величин исследуемых факторов при их изменении лишь на двух уровнях: верхнем C_i^+ и нижнем C_i^- (см. рис.3) [6].

Центр эксперимента

$$C_{i0} = \frac{C_i^+ + C_i^-}{2} \quad (1)$$

соответствует нулевому ($x_i=0$) уровню величины факторов, от него рассчитывают интервалы варьирования λ_i :

$$\lambda_i = C_i^+ - C_{i0} = C_{i0} - C_i^- \quad (2)$$

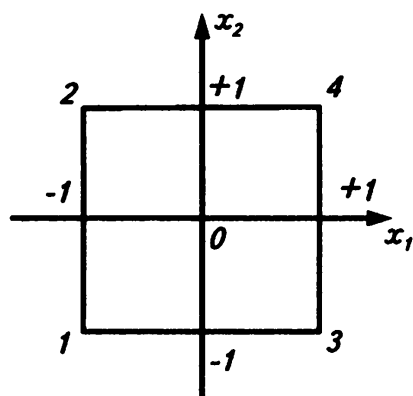


Рис.3. План ПФЭ22 в безразмерном выражении факторов

Интервалом варьирования факторов называется некоторое число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание – нижний уровни фактора. Другими словами, интервал варьирования – это расстояние на координатной оси между основным и верхним (или нижним) уровнем. Таким образом, задача выбора уровней сводится к более простой задаче выбора интервала варьирования.

Для первого фактора центр эксперимента:

$$C_{10} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{4} = \frac{25 + 30 + 35 + 40}{4} = 30 \%$$

Для второго фактора центр эксперимента:

$$C_{20} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{4} = \frac{25 + 30 + 35 + 40}{4} = 35 \text{ мин}$$

Для первого фактора интервал варьирования:

$$\lambda_1 = C_1^+ - C_{10} = 35 - 25 = 10 \%$$

Для второго фактора интервал варьирования:

$$\lambda_2 = C_2^+ - C_{20} = 40 - 30 = 10 \text{ мин}$$

При составлении равномерных планов многофакторного и многоуровневого исследования безразмерную величину факторов получают по формуле:

$$x_{iu} = \frac{C_{iu} - C_{i0}}{\lambda_i} \quad (3)$$

C_{iu} -величина i -го фактора в u -ом опыте [6].

Число опытов планов ПФЭ2 n соответствует числу сочетаний из n элементов при их изменении на двух уровнях:

$$N = 2^n. \quad (4)$$

Для нашего двухфакторного эксперимента число опытов равно $N = 2^2 = 4$.

В соответствии с (2) и (3) найдем числовые значения верхнего x_i^+ и нижнего x_i^- уровней факторов в безразмерном выражении [6].

$$\begin{aligned} x_i^+ &= \frac{C_i^+ - C_{i0}}{\lambda_i} = \frac{C_i^+ - C_{i0}}{C_i^+ - C_{i0}} = +1; \\ x_i^- &= \frac{C_i^- - C_{i0}}{\lambda_i} = \frac{C_i^- - C_{i0}}{C_{i0} - C_i^-} = -1. \end{aligned} \quad (5)$$

Сначала записывают планы ПФЭ2 n в безразмерном выражении величины факторов, а потом по ним составляют рабочий план в натуральной размерности факторов.

Табл.1. План двухфакторного эксперимента

u	x_{1u}	x_{2u}
1	-	-
2	-	+
3	+	-
4	+	+
C_{i0}	30	35
λ_i	10	10

Перевод величины фактора в натуральную размерность осуществляют с учетом (3) по формуле [6]:

$$C_{iu} = C_{i0} + \lambda_i x_{iu}. \quad (6)$$

Обработка результатов экспериментов.

Результаты проведенных экспериментов приведены в табл.2. В качестве выхода мы

рассматриваем остаточную маслячность жмыха после прессования у, %.

Табл.2. Результаты проведенных экспериментов по схеме 22.

№ эксперимента	Факторы		Эффекты взаимодействия факторов	Результаты опытов			Среднее результатов x, %
	x ₁	x ₂		y ₁	y ₂	y ₃	
1	-	-	+	12,7	13,2	14,1	13,333
2	-	+	-	10,5	12,2	11,7	11,466
3	+	-	-	8,4	7,54	8,2	8,0466
4	+	+	+	18,3	18,7	17,5	18,166
Σx ₁							51,01

По результатам двухфакторного эксперимента составим уравнение, в котором помимо линейных членов будет член, учитывающий эффект парного межфакторного взаимодействия.

Уравнение регрессии в этом случае имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (7)$$

Коэффициенты регрессии рассчитывают по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}.$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{1u} x_{2u} \bar{y}_u}{N}.$$

Результаты расчетов приведены в табл.3.

Табл.3. Результаты расчетов значений регрессионных коэффициентов

Коэффициенты	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₂
Значения	12,75	0,35	2,06	2,99

Определяем значимость этих коэффициентов по формуле [6]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_n)^2}{N(n-1)}, \quad (9)$$

где N – число опытов в эксперименте; n – число повторных наблюдений в каждом опыте.

$$S_{\{y\}}^2 = 0,4606$$

Результаты расчетов приведены в табл.4.

Табл.4. Расчет дисперсии воспроизводимости

j	y ₁	y ₂	y ₃	x̄	(y ₁ - x̄) ²	(y ₂ - x̄) ²	(y ₃ - x̄) ²	s _{восп} ²
1	12,700	13,200	14,100	13,333	0,4011	0,0178	0,5878	0,5033
2	10,500	12,200	11,700	11,467	0,9344	0,5378	0,0544	0,7633
3	8,400	7,540	8,200	8,047	0,1248	0,2567	0,0235	0,2025
4	18,300	18,700	17,500	18,167	0,0178	0,2844	0,4444	0,3733
Сумма:								1,8425

Среднее квадратическое отклонение коэффициентов:

$$S_{\text{коэф}} = \frac{S_{\text{восп}}}{\sqrt{N}}$$

$$S_{\text{коэф}} = 0,24$$

Расчетное значение критерия Стьюдента определяется по формуле:

$$t_{\text{кр}} = \frac{|b_j|}{S_{\text{коэф}}}$$

Из таблиц распределения Стьюдента [6] по числу степеней свободы n(m-1)=4·2=8 при уровне значимости α = 0,05 находим t_{кр}=1,44.

Расчетное значение критерия Стьюдента определяется по формуле (11) $|b_j| = t_{\text{кр}} \cdot S_{\text{коэф}} = 1,44 \cdot 0,2400 = 0,346$.

Сравнивая полученное значение 0,346 с коэффициентами уравнения регрессии, получаем что все коэффициенты больше по абсолютной величине $|b_j|$. Следовательно, все коэффициенты кроме b₁₂ значимы.

Таким образом, данный коэффициент исключается из уравнения регрессии.

Тогда уравнение регрессии (7) имеет вид:

$$y = 12,75 + 0,35x_1 + 2,06x_2 + 3,0x_1x_2 \quad (12)$$

Проверена адекватность полученного уравнения регрессии, используя критерий Фишера [6].

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}$$

где остаточная дисперсия рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_{r_i})^2}{N - L}$$

где L- число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Если расчетное значение критерия Фишера меньше табличного, то полученное уравнение регрессии адекватно описывает эксперимент.

Для нашего случая $S_{\text{ост}}^2 = 1,49813$.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степеней свободы $k_1 = n - r = 4 - 3 = 1$ и $k_2 = n(m - 1) = 8$ $F_{\text{табл}} = 5,32$ [6].

Расчетное значение критерия Фишера по формуле (13) $F_{\text{расч}} = 3,25$.

Значит, $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$. Исходя из этого можно сделать вывод, что полученная модель адекватно описывает процесс.

Заключение. Полученное регрессионное уравнение позволяет с достаточной точностью определять остаточную масличность жмыха после прессования в исследуемом диапазоне изменения факторов. С помощью этого уравнения можно выявить степень влияния каждого исследуемого фактора на конечный

результат, что необходимо для оптимизации процесса.

Использованная литература

1. Мировой рынок растительных масел в 2019/20. Электронный ресурс: <https://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/1506275>
2. Масло хлопковое. Электронный ресурс: <https://calorizator.ru/product/butter/cotton-seed-oil>.
3. Технологический регламент на производство нерафинированного хлопкового масла ТР 18121-3-120-14.
4. Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. ГОСТ ISO 734-1-2016. Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/120013864>.
5. Семена масличные. Метод определения влажности. Oil seeds. Method for determination of moisture content. Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/gost-10856-96>
6. Грачев Ю. П., Плаксин Ю. М. Математические методы планирования эксперимента. - М.: ДеЛи принт, 2005. - 296 с.