

# ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

УДК 664.696

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕКОВ

Фролов Д.И.

В данной работе было проведено исследование влияния порошка семян пажитника и овсяной муки на физические и функциональные свойства экструдированного снекового продукта, таких как объемная плотность и коэффициент бокового расширения, с использованием оптимизационного плана. Результаты показали, что с увеличением содержания порошка семян пажитника наблюдалось увеличение значений объемной плотности, тогда как наблюдался отрицательный эффект порошка семян пажитника на коэффициент бокового расширения. Результаты показали повышенное влияние на объемную плотность и коэффициент бокового расширения экструдированного продукта. Результаты оптимизации показали, что смесь 2% порошка семян пажитника и 6% овсяной муки имела более высокие уровни предпочтительности по параметрам физических и функциональных характеристик.

**Ключевые слова:** *экструзия, снеки, физические и функциональные свойства, овес, пажитник.*

### Введение

Экструдированные снеки для завтрака, стали важной частью нашего ежедневного рациона. Существует растущий спрос на разработку экструдированных продуктов, обогащенных пищевой клетчаткой, из-за воздействия клетчатки на сердечно-сосудистую, диабетическую и иммунную системы. Пажитник (*Trigonella foenum-graecum*) - однолетнее растение, встречающееся в разных частях света. Исследования показали различные физиологические преимущества использования пажитника для здоровья, такие как противоопухолевые, антиретровирусные, антидиабетические, противопаразитарные, лактационные стимуляторы и гипохолестеролемические эффекты. Пажитник обладает более высоким содержанием пищевой клетчатки, чем зерновые и бобовые, что делает его интересным сырьем для разработки богатого клетчаткой экструдированного продукта. Был разработан экструдированный снек, обогащенный пажитником.

Овес – это богатые питательными веществами крупы, обладающие высокими концентрациями растворимой клетчатки и наполненный питательными веществами. Овес - хороший источник функ-

циональных ингредиентов, таких как  $\beta$ -глюкан, которые имеют преимущества для здоровья, такие как снижение холестерина в крови и гипогликемические эффекты. Овес используется в ряде продуктов, таких как готовые к употреблению закуски, хлебные и сухие завтраки. Таким образом, использование пажитника и овсяной муки в качестве функциональных ингредиентов в экструдированных снеках является хорошей идеей.

Применение экструзионной технологии для производства богатого волокнами экструдированного продукта является сложной задачей из-за высокого содержания волокон, приводящего к более низкому расширению, более твердой, более высокой плотности и менее хрустящей текстуре. В настоящем исследовании экструдированные снеки производились с использованием порошка семян пажитника и овсяной муки, а экструдаты оценивались по физическим и функциональным характеристикам.

**Целью** работы являлось исследование влияния порошка семян пажитника и овсяной муки на объемную плотность и коэффициент бокового расширения экструдированных снеков.

Таблица 1 – Значения независимых переменных на двух уровнях

Независимые переменные	Переменные	Уровни кодирования факторов				
		-1,414	-1	0	1	1,414
Порошок семян пажитника	A	1,586	2	3	4	4,414
Овсяная мука	B	4,758	6	9	12	13,242

### Объекты и методы исследований

Сырье, используемое при производстве готовых закусок, состояло из риса, нута, кукурузы, порошка семян пажитника и овсяной муки. Муку очищали просеиванием для удаления любых посторонних материалов, грязи, камня, проходя через сито 60 меш (размер частиц 0,251 мм). После очистки муку помещали в герметичный полиэтиленовый мешок до дальнейшего использования и хранили.

Методология поверхности отклика была применена с использованием центрального композитного ротатабельного плана. Все экспериментальные исследования экструдированного продукта проводились в трех повторях. В таблице 1 приведены независимые переменные, выбранные для экспериментов. Переменные, включая содержание порошка семян пажитника и овсяной муки и их уровни, были выбраны с использованием предварительных испытаний и изучения литературы. Композитная мука (рисовая мука: нутовая мука: кукурузная мука = 60: 30: 10) в качестве основного материала использовалась в соответствии с предварительными испытаниями. Критериями качества были объемная плотность и коэффициент бокового расширения. Эксперимент проводился для изучения влияния порошка семян пажитника (1-5%) и овсяной муки (3, 6, 9, 12 и 15%) на физические и функциональные свойства. Содержание влаги в смеси доводилось до 18%.

Экструзионную варку проводили с использованием совместно вращающегося двухшнекового экструдера с отношением длины шнека к диаметру 8:1. На экструдере устанавливали матрицу диаметром 4 мм и запускали в течение 30 минут, для достижения заданной температуры 119°C. Скорость вращения шнека поддерживалась со скоростью 250 об/мин. Затем образцы загружали в загрузочный бункер, и скорость подачи была доведена до 8 кг/ч. Экструдаты разрезали острым ножом и оставляли для охлаждения при комнатной температуре в течение примерно 20 мин. Затем образцы упаковывали в полиэтиленовые мешки и хранили в эксикаторах до дальнейшего анализа.

Объемную плотность  $VH$  ( $г/см^3$ ) оценивали путем измерения фактических размеров экструдата. Далее ее рассчитывали по следующей формуле, предполагая цилиндрическую форму экструдата.

Было отобрано 10 частей экструдата, и регистрировалось среднее значение.

$$VH = \frac{4m}{\pi d^2 L} \quad (1)$$

где  $m$  – масса длины  $L$  экструдата, г;  
 $d$  – диаметр экструдата, см;  
 $L$  – длина, см.

Коэффициент бокового расширения ( $B$ ) определяли следующим образом, было отобрано около десяти длин экструдатов, затем диаметр экструдата измеряли с использованием штангенциркуля в разных положениях. Затем рассчитывали коэффициент бокового расширения, используя среднее значение измеренных диаметров в мм:

$$B = \frac{D_i - D_o}{D_o} 100 \quad (2)$$

где  $D_i$  – диаметр изделия, мм;  
 $D_o$  – диаметр отверстия, мм.

### Результаты и их обсуждение

В данном исследовании было рассмотрено влияние сырья, такого как порошок семян пажитника и овсяной муки на экструдированные снеки. Методология поверхности отклика была использована для оптимизации переменных для производства качественного экструдированного продукта на основе порошка семян пажитника и овсяной муки. Общий химический состав овсяной муки и порошка семян пажитника составляет: углеводов 66,77 и 47,64%, сырая клетчатка 2,61 и 7,09%, белок 13,91 и 27,75%, зольность 1,77 и 3,72% и содержание жира в 6,35 и 6,42%. В таблице 2 показан химический состав всех сырьевых ингредиентов, использованных в данном исследовании.

Объемная плотность является одним из важных физических свойств экструдированных закусок. Плотность является важной характеристикой в отношении требований к упаковке. В настоящем исследовании обнаружено, что объемная плотность находится в диапазоне 0,17-0,26  $г/см^3$  (таблица 3).

График поверхности отклика для объемной плотности как функции порошка семян пажитника и овсяной муки приведен на рисунке 1.

Увеличение значений содержания порошка семян пажитника и овсяной муки приводит к увеличению объемной плотности. Регрессионный анализ

Таблица 2 – Химический состав сырья

Параметры	Порошок семян пажитника	Овсяная мука	Нутовая мука	Кукурузная мука
Влажность (%)	7,38	8,59	11,57	8,4
Зольность (%)	3,72	1,77	1,43	2,79
Сырой протеин (%)	27,75	13,91	8,86	24,61
Жир (%)	6,42	6,35	4,32	4,64
Сырая клетчатка (%)	7,09	2,61	2	1,75
Всего углеводов (%)	47,64	66,77	73,82	57,78

Таблица 3 – Влияние порошка семян пажитника и овсяной муки на физические свойства экструдированных снеков при влажности 18%

№	A	B	Порошок семян пажитника (PSP)	Овсяная мука (ОМ)	Объемная плотность (ВН)	Коэффициент бокового расширения (KBL)
1	1	1	2	6	0,17	201
2	1	-1	4	6	0,25	170,5
3	-1	1	2	12	0,19	200
4	-1	-1	4	12	0,23	185,5
5	1,41	0	1,58	9	0,18	194,5
6	-1,414	0	4,41	9	0,26	169,2
7	0	1,414	3	4,75	0,19	205
8	0	-1,414	3	13,2	0,23	203
9	0	0	3	9	0,2	190
10	0	0	3	9	0,21	190
11	0	0	3	9	0,21	195
12	0	0	3	9	0,2	194,5
13	0	0	3	9	0,19	197

показал наличие значимых ( $p < 0,05$ ) положительных эффектов влияния содержания порошка семян пажитника и овсяной муки на объемную плотность полученных экструдатов (Таблица 4).

Полученное уравнение регрессии зависимости добавки порошка семян пажитника и овсяной муки на объемную плотность ( $R=0,956$ ;  $R^2=0,915$ ;  $p < 0,005$ ):

$$BH = 0,0975 + 0,0125PSP + 0,007OM + 0,0078PSP^2 - 0,003PSP \times OM + 0,001OM^2 \quad (3)$$

Полученное уравнение регрессии зависимости добавки порошка семян пажитника и овсяной муки на коэффициент бокового расширения ( $R=0,962$ ;  $R^2=0,926$ ;  $p < 0,005$ ):

$$KBL = 235,633 + 17,9PSP - 12,478OM - 6,672PSP^2 + 1,333PSP \times OM + 0,498OM^2 \quad (4)$$

Увеличенное влияние на объемную плотность может быть благодаря более высокому содержанию волокна и протеина как в порошке семян пажитника так и в овсяной муке. Другие исследователи также обнаружили аналогичные результаты для экструдированных продуктов, богатых волокнами, это происходит вероятно из-за того что молекулы волокон, разрушают клеточные стенки, как только пузырьки газа увеличиваются [1-5].

В этом эксперименте расширение экструдата из смеси порошка семян пажитника и овсяной муки варьировалось от 169,2 до 205% (таблица 3).

Из уравнений регрессии видно, что содержание порошка семян пажитника оказывает отрицательное ( $p < 0,05$ ) влияние на коэффициент бокового расширения, тогда как добавка овсяной муки оказывает положительное влияние на этот параметр. Рисунок 2 также показал значительное снижение эффекта порошка семян пажитника на коэффициент бокового расширения по сравнению с овсяной

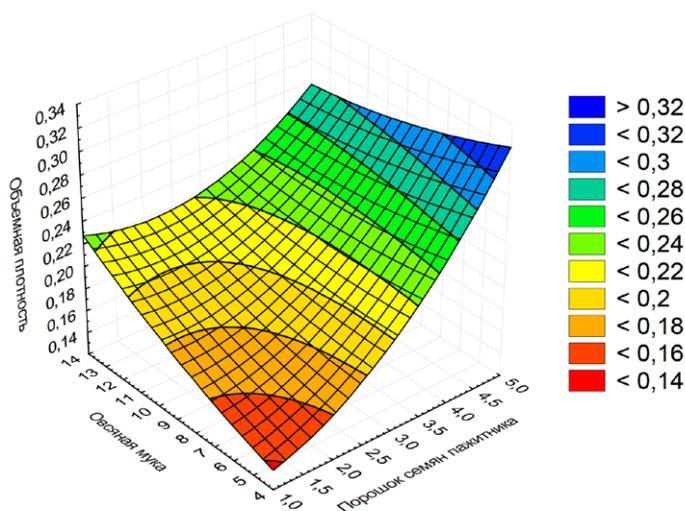


Рис. 1. График поверхности отклика для объемной плотности как функции порошка семян пажитника и овсяной муки

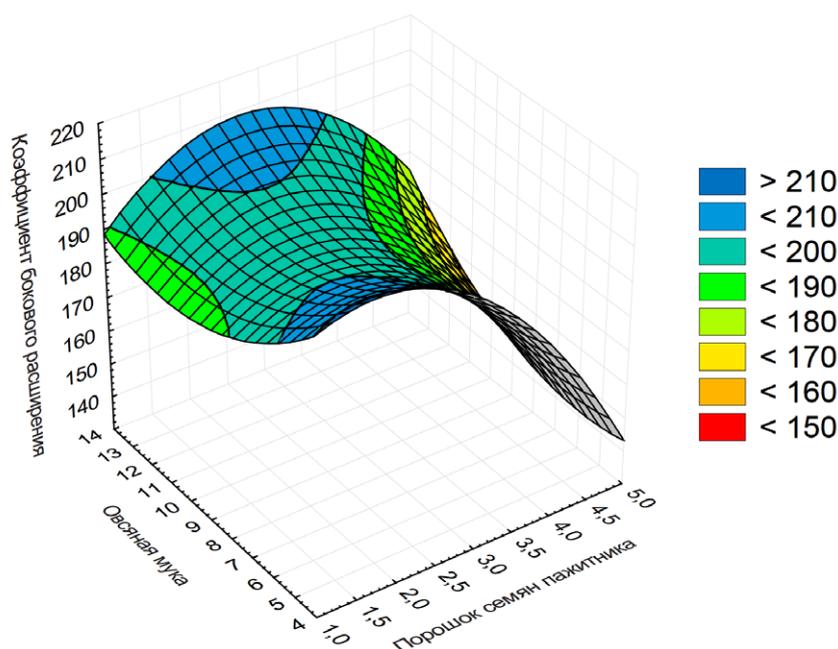


Рис. 2. График поверхности отклика для коэффициента бокового расширения как функции порошка семян пажитника и овсяной муки

Таблица 4 – Оценки параметров (критерий объемная плотность)

Эффект	Объемная плотность, Парам.	Объемная плотность, Ст. Ош.	Объемная плотность, t	Объемная плотность, p
Св. член	0,098	0,069	1,406	0,202
Порошок семян пажитника	0,012	0,028	0,442	0,672
Порошок семян пажитника <sup>2</sup>	0,008	0,004	1,995	0,086
Овсяная мука	0,007	0,009	0,738	0,485
Овсяная мука <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,686	0,515
Порошок семян пажитника*Овсяная мука	-0,003	0,002	-1,942	0,093

мукой. Сниженный эффект порошка семян пажитника может быть обусловлен увеличением содержания белка и клетчатки, поскольку белки влияют на распространение воды в среде и из-за структуры, которая влияет на экстенсивные свойства экструдированных расплавов. Кроме того, изменение вязкоупругих свойств из-за конкуренции за доступность воды между волокном и крахмалом привело к задержке в желатинизации крахмала, что привело к более низкому расширению продуктов.

Для определения оптимального сочетания порошка семян пажитника и овсяной муки применялся численный метод оптимизации с несколькими ответами. Предполагалось разработать продукт, который будет иметь минимальную объемную плотность и максимальный коэффициент бокового расширения. Ответы были предсказаны статистическим программным обеспечением для этих оптимальных условий. Результат показал, что смесь 2% порошка семян пажитника и 6% овсяной муки может быть использована для разработки качественного экструдата с желательностью 0,91. Оптимальные экструдированные снеки, полученные таким образом, обладают расчетными физическими

и функциональными характеристиками, как указано выше. Пригодность разработанной модели для прогнозирования оптимальных значений отклика проверялась с использованием рекомендованных оптимальных условий, а также использовалась для проверки экспериментальных и прогнозируемых значений.

### Выводы

В заключение можно отметить, что на свойства полученного экструдированного снека влияют добавки в различных пропорциях порошка семян пажитника и овсяной муки. Из результатов можно сделать вывод, что различные уровни содержания порошка семян пажитника и овсяной муки могут быть использованы для разработки экструдированного продукта в зависимости от желаемых свойств конечного продукта. Смесь 2% порошка семян пажитника и 6% овсяной муки экструдированного при 119°C, 250 об/мин и влажности 18% имела более высокую желательность для параметров объемной плотности и коэффициента бокового расширения.

### Список литературы

- [1] Курочкин А. А., Фролов Д. И., Воронина П. К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.
- [2] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29–34.
- [3] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 104–111.
- [4] Способ производства хлебобулочных изделий: пат. 2579488 Российская Федерация: МПК А 21 D8/02 / Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, Н. Н. Шматкова; 2014146596/13; заявл. 19.11.2014; опубл. 10.4.2016, Бюл. № 10. 8 с.
- [5] Курочкин А. А., Фролов Д. И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян раторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.

## INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF SNACKS

*Frolov D.I.*

In this paper, a study was conducted of the effect of fenugreek seed powder and oatmeal on the physical and functional properties of an extruded snack product, such as bulk density and lateral expansion coefficient, using an optimization plan. The results showed that with an increase in the powder content of fenugreek seeds, an increase in bulk density values was observed, whereas a negative effect of fenugreek seed powder on the lateral expansion coefficient was observed. The results showed an increased effect on bulk density and lateral expansion coefficient of the extruded product. The optimization results showed that a mixture of 2% fenugreek seed powder and 6% oatmeal had higher levels of preference in terms of physical and functional characteristics.

**Keywords:** *extrusion, snacks, physical and functional properties, oats, fenugreek.*

### References

- [1] Kurochkin A. A., Frolov D. I., Voronina P. K. Opredelenie osnovnykh parametrov vakuumnoi kamery modernizirovannogo ekstrudera // Vestnik Ul'yankovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. No. 4 (32). pp. 172–177.
- [2] Teoreticheskoe opisanie protsessa vzryvnogo ispareniya vody v ekstrudere s vakuumnoi kameroy / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. K. Voronina // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya. 2015. No. 1 (02). pp. 29–34.
- [3] Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym sodержaniem lipidov i pishchevykh volokon / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2016. No. 3 (42). pp. 104–111.
- [4] Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii: pat. 2579488 Rossiiskaya Federatsiya: MPK A 21 D8/02 / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov, N. N. Shmatkova; 2014146596/13; zayavl. 19.11.2014; opubl. 10.4.2016, Byul. № 10. 8 p.
- [5] Kurochkin A. A., Frolov D. I. Polikomponentnyi ekstrudat na osnove zerna pshenitsy i semyan rastoropshi pyatnistoi // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. No. 4. pp. 76–81.