

## УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ЗАКУСОК

Фролов Д.И., Блинохватова Ю.В.

В работе было исследовано влияние порошка семян пажитника и овсяной муки на физические свойства экструдированных снеков, таких как индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде с использованием методологии поверхности отклика. Результаты показали, что с увеличением содержания порошка семян пажитника наблюдалось увеличение значений индекса водопоглощения и показателя растворимости воды. Выявлено отрицательное влияние овсяной муки на индекс растворимости в воде и повышенное влияние на индекс водопоглощения экструдированного продукта. Результаты численной оптимизации показали, что смесь 3% порошка семян пажитника и 7% овсяной муки имела более высокие уровни предпочтительности по параметрам физических характеристик и может быть рекомендована для экструдирования с целью получения приемлемых по качеству закусок.

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

### Введение

Экструдированные закуски и хлопья для завтрака, произведенные по технологии экструзии, 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. Семена и листья растения пажитника в основном используются в качестве кулинарных специй, а также для лечения различных проблем со здоровьем в Египте, Греции, Италии и Южной Азии. Пажитник обладает более высоким содержанием пищевой клетчатки, чем зерновые и бобовые, что делает его интересным сырьем для разработки богатой клетчаткой экструдированных закусок. Пажитник использован для разработки экструдированных продуктов. Был разработан экструдированный закуской продукт, обогащенный пажитником, обладающим более высокой антиоксидантной активностью.

Овес обладает многими полезными свойствами. Его применяют в качестве противовоспалительного средства при воспалениях различных органов, в том числе и желудочно-кишечного тракта. В овсе содержится фермент, который улучшает усвоение углеводов. Овес – это богатые питательными веществами крупы, обладающие высокими концентрациями растворимой клетчатки и наполненными питательными веществами. Овес – хороший источник функциональных 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 ingredi-

ентов в экструдированных пищевых продуктах для улучшения качества питания и обеспечения полезных эффектов для здоровья является актуальным.

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 снековые продукты производились с использованием порошка семян пажитника и экструдатов и оценивались по физическим характеристикам.

**Целью** работы являлось исследование влияния порошка семян пажитника и овсяной муки на индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде экструдированных закусок.

### Объекты и методы исследований

В качестве сырья, применяемого при экструзии закусок, использовался рис, нут, кукуруза, порошок семян пажитника и овсяная мука. Муку очищали просеиванием для удаления любых посторонних материалов через сито 60 меш (размер частиц 0,251 мм). После очистки муку помещали в герметичный мешок до дальнейшего использования и хранили.

В качестве плана, был применен центральный композитный ротатабельный план. Все экспериментальные исследования экструдированного продукта проводились в трех повторах. В таблице 1 приведены независимые переменные. 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. За

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

Таблица 2 – Химический состав сырья

Параметры	Порошок семян пажитника [1]	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

критерии оптимизации были выбраны индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде. Эксперимент проводился для изучения влияния порошка семян пажитника (1-5%) и овсяной муки (3, 6, 9, 12 и 15%) на физические свойства экструдата. Содержание влаги в смеси доводилось до 18%.

Экструдирование проводили с использованием 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 120 °С. Скорость вращения шнека поддерживалась со скоростью 240 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.

Индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде определяли следующим образом. Измельченную экструдированную пробу (2,5 г) диспергировали в 25 г дистиллированной воды с последующим перемешиванием в течение получаса с использованием вихревых движений. Затем всю смесь промывали в центрифужной пробирке и добавляли дистиллированную воду для увеличения объема до 32,5 г. Затем следовало центрифугирование при 4000 об/мин в течение 15 мин. В итоге вычисляли индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде, используя следующие уравнения (1) и (2), соответственно

$$WAI = \frac{P_o}{P_s} \quad (1)$$

где WAI – индекс водопоглощения, г/г;

$P_o$  – масса осадка, г;

$P_s$  – сухой вес экструдата, г;

$$WSI = \frac{P_w}{P_s} 100 \quad (2)$$

где  $P_w$  – масса растворенных твердых частиц в супернатанте, г;

WSI – индекс растворимости в воде, %.

В качестве независимых переменных были выбраны содержания порошка семян пажитника и овсяной муки в итоговой смеси и были закодированы на двух уровнях варьирования.

### Результаты и их обсуждение

В результате экспериментальных исследований было рассмотрено влияние сырья (порошок семян пажитника и овсяной муки) на экструдированные закуски. Для оптимизации переменных для производства качественного экструдированного продукта на основе порошка семян пажитника и овсяной муки была использована методология поверхности отклика. 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.

При проведении двухфакторного эксперимента был составлен центральный композиционный план, представленный в таблице 3. В качестве критериев качества выступают две переменные индекс водопоглощения (WAI) и индекс растворимости в воде (WSI).

Индекс водопоглощения измеряет количество воды, поглощенной полисахаридом, высвобождаемым из компонента крахмала после экструзии. В

Таблица 3 – Влияние добавки порошка семян пажитника и овсяной муки на физические свойства экструдированных снеков

№	A	B	Порошок семян пажитника (PSP)	Овсяная мука (OM)	WAI	WSI
1	1	1	2	6	1,25	2,6
2	1	-1	4	6	2,55	3,8
3	-1	1	2	12	3,2	3
4	-1	-1	4	12	3,57	2,6
5	1,41	0	1,58	9	2,32	2,6
6	-1,414	0	4,41	9	3,59	2,6
7	0	1,414	3	4,75	1,16	3,8
8	0	-1,414	3	13,2	3,18	2,6
9	0	0	3	9	2,58	2,6
10	0	0	3	9	2,4	2,7
11	0	0	3	9	2,23	2,6
12	0	0	3	9	2,24	2,8
13	0	0	3	9	2,2	2,9

Таблица 4 – Коэффициенты модели и другие статистические характеристики индекса водопоглощения и индекса растворимости в воде

Эффект	WAI, Парам.	WAI, Ст. Ош.	WAI, t	WAI, p	WSI, Парам.	WSI, Ст. Ош.	WSI, t	WSI, p
Св. член	-0,786	0,874	-0,899	0,398	1,844	1,312	1,405	0,203
Порошок семян пажитника	-0,862	0,356	-2,419	0,046	1,506	0,534	2,817	0,026
Порошок семян пажитника <sup>2</sup>	0,332	0,049	6,760	0,000	-0,034	0,074	-0,465	0,656
Овсяная мука	0,592	0,119	4,961	0,002	-0,237	0,179	-1,326	0,226
Овсяная мука <sup>2</sup>	-0,006	0,006	-1,170	0,280	0,030	0,008	3,592	0,009
Порошок семян пажитника* Овсяная мука	-0,078	0,022	-3,582	0,009	-0,133	0,032	-4,107	0,005

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции, детерминации, критерий Фишера и уровень значимости моделей

Зависимая переменная	Множест. R	Множест. R <sup>2</sup>	F	p
WAI	0,991	0,983	80,801	0,000
WSI	0,940	0,884	10,673	0,004

этом эксперименте индекс водопоглощения варьировался от 1,16 до 3,39 г/г (таблица 3).

Регрессионная модель хорошо подобрана с экспериментальными результатами. Индекс водопоглощения показал значительный ( $p < 0,05$ ) положительный эффект для обеих переменных. Из графика поверхности отклика (рис. 1) видно, что при увеличении содержания порошка семян пажитника и овсяной муки значительно возрастает ( $p < 0,05$ ) значение индекса водопоглощения экструдированного снекового продукта. Увеличение значения индекса водопоглощения с увеличением содержания порошка семян пажитника и овсяной муки может быть связано с высокой водопо-

глошающей способностью волокна, присутствующего в пажитнике и овсе, поскольку поглощение воды является характерной особенностью муки, обогащенной волокном. Наши результаты согласуются с результатами аналогичных исследований других исследователей [2–6]. Было обнаружено, что волокна связывают молекулы воды с помощью различных типов взаимодействий, таких как гидрофобное, водородное связывание и полярные взаимодействия.

В таблице 4, 5 приведены коэффициенты модели и другие статистические характеристики индекса водопоглощения. Регрессионное уравнение зависимости добавки порошка семян пажитника и

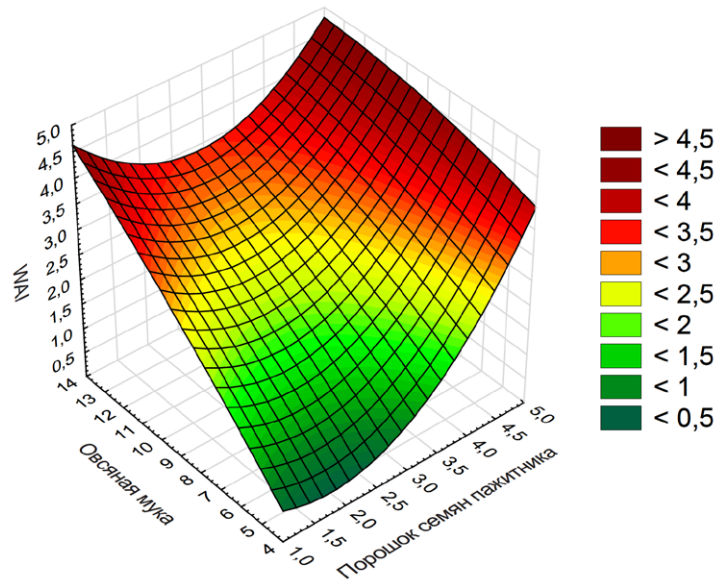


Рис. 1. График поверхности отклика для индекса водопоглощения как функции порошка семян пажитника и овсяной муки

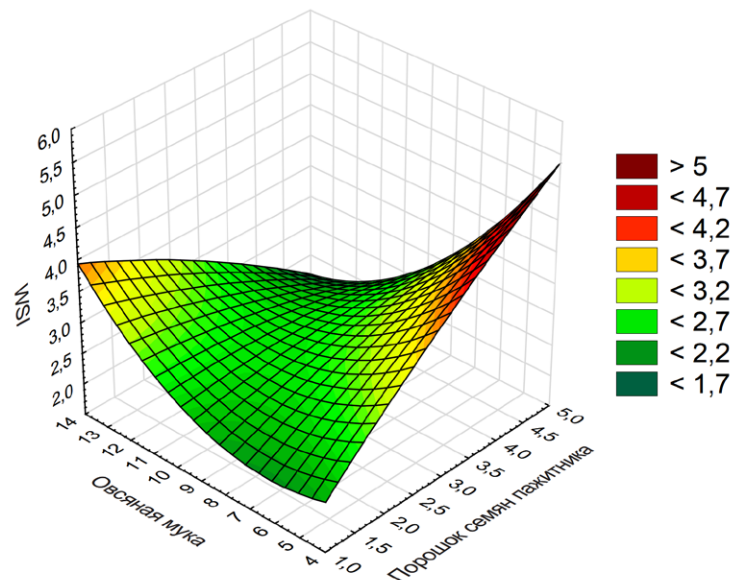


Рис. 2. График поверхности отклика для индекса растворимости в воде как функции порошка семян пажитника и овсяной муки

овсяной муки на индекс водопоглощения выглядит следующим образом:

$$WAI = -0,7865 - 0,8615PSP + 0,5916OM + 0,3323PSP^2 - 0,0775PSP \times OM - 0,0064OM^2 \quad (3)$$

Было обнаружено, что индекс растворимости в воде снекового экструдата находится в диапазоне 2,6-3,8% (таблица 3). Из отчета коэффициента регрессии для индекса растворимости в воде было замечено, что индекс растворимости в воде экструдированного снекового продукта проявляет отрицательный ( $p < 0,05$ ) эффект с овсяной мукой. График поверхности отклика (рис. 2) показал, что индекс растворимости в воде снекового продукта увеличивается с увеличением значения содержания порошка пажитника. Также наблюдалось значительное ( $p < 0,05$ ) увеличение значений индекса растворимости в воде экструдированных продуктов, получен-

ных из пажитника и пажитника полисахаридного, по сравнению с таковыми, приготовленными из смеси нут-риса.

Регрессионное уравнение зависимости добавки порошка семян пажитника и овсяной муки на для индекс растворимости в воде выглядит следующим образом:

$$WSI = 1,8441 + 1,5056PSP - 0,2374OM - 0,0343PSP^2 - 0,1333PSP \times OM + 0,0297OM^2 \quad (4)$$

Оптимальные экструдированные снеки, полученные таким образом, обладают расчетными физическими и функциональными характеристиками. Пригодность разработанной модели для прогнозирования оптимальных значений отклика проверялась с использованием рекомендованных оптимальных условий переменных, а также исполь-

зовалась для проверки экспериментальных и прогнозируемых значений.

### Выводы

В ходе проведенного исследования было выявлено влияние порошка семян пажитника и овсяной муки на индекс водопоглощения и индекс

растворимости в воде экструдированных закусок. Из полученных 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.

### Список литературы

- [1] Босак В. Н., Сачивко Т. В. особенности аминокислотного состава и биологическая ценность белка бобовых овощных культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 37–40.
- [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] Курочкин А. А., Фролов Д. И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.

## IMPROVED CHARACTERISTICS OF EXTRUDED SNACKS

*Frolov D.I., Blinokhvatoва Yu.V.*

---

The work investigated the effect of fenugreek seed powder and oatmeal on the physical properties of extruded snacks, such as water absorption index and water solubility index using response surface methodology. The results showed that with an increase in the powder content of fenugreek seeds, an increase in the water absorption index and water solubility index was observed. The results showed a negative effect of oatmeal on the water solubility index and an increased effect on the water absorption index of the extruded product. Numerical optimization results showed that a mixture of 3% fenugreek seed powder and 7% oatmeal had higher levels of preference over physical parameters and could be extruded to produce acceptable, high-quality extrudates.

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

---

### References

- [1] Bosak V.N., Sachivko T.V. osobennosti aminokislotojnogo sostava i biologicheskaya tsennost' belka bobovykh ovoshchnykh kul'tur // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2018. No. 1. pp.37-40.
- [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] 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.
- [4] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Opredelenie osnovnykh parametrov vakuumnoi kamery modernizirovannogo ekstrudera // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. No. 4 (32). pp. 172–177.

- [5] 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.
- [6] Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii : pat. 2579488 Rossiiskaya Federatsiya : MPK A 21 D 8/02 / 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.