

**Поликомпонентный композит на основе зерна пшеницы и семян кунжута***Куручкин А.А., Потапов М.А.*

**Аннотация.** Применение композитов на основе семян масличных культур позволяет обогащать пищевые продукты высокоценными липидами путем замены части пшеничной муки на экструдированную смесь зерна пшеницы и каких-либо семян масличных растений. При этом упрощается технологический процесс и снижается трудоемкость обработки нативного сырья. Объектом исследования являлась цельнозерновая смесь пшеницы и неизмельченных семян кунжута, которую подвергали экструдированию с помощью одношнекового экструдера ЭК-40. В работе представлены результаты экспериментального обоснования оптимальных значений массовой доли влаги в зерне пшеницы и семенах кунжута, а также содержания семян кунжута в экструдированной смеси. В качестве критерия оптимизации качества экструдата был принят его индекс расширения. В связи с тем, что зона с оптимальными значениями коэффициента взрыва экструдата не позволяет использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14%, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры, можно сделать вывод о том, что для получения поликомпонентного экструдата на основе семян кунжута массовая доля воды в этом ингредиенте должна быть увеличена до 40,0-42,0 % при его содержании в смеси не более 10 %.

**Ключевые слова:** поликомпонентный композит, зерно пшеницы, семена кунжута, экструдат, эксперимент.

**Для цитирования:** Куручкин А.А., Потапов М.А. Поликомпонентный композит на основе зерна пшеницы и семян кунжута // Инновационная техника и технология. 2020. № 2 (23). С. 11–16.

**Multi-component composite based on wheat grain and sesame seeds***Kurochkin A.A., Potapov M.A.*

**Abstract.** The use of composites based on oilseeds makes it possible to enrich food products with high-value lipids by replacing part of wheat flour with an extruded mixture of wheat grain and any oilseeds. This simplifies the process and reduces the complexity of processing native raw materials. The object of the study was a whole-grain mixture of wheat and non-ground sesame seeds, which was subjected to extrusion using a single-screw extruder EK-40. The paper presents the results of experimental substantiation of optimal values of the mass fraction of moisture in wheat grain and sesame seeds, as well as the content of sesame seeds in the extruded mixture. As a criterion for optimizing the quality of the extrudate, its expansion index was adopted. Due to the fact that the zone with optimal values of the extrudate explosion coefficient does not allow the use of wheat grain with a mass moisture content of 14%, corresponding to GOST R 52554-2006 basic conditions for this culture, it can be concluded that to obtain a multicomponent extrudate based on sesame seeds, the mass fraction of water in this ingredient must be increased to 40.0-42.0% with its content in the mixture of no more than 10 %.

**Keywords:** poly-component composite, wheat grain, sesame seeds, extrudate, experiment.

**For citation:** Kurochkin A.A., Potapov M.A. Multi-component composite based on wheat grain and sesame seeds. Innovative Machinery and Technology. 2020. No.2 (23). pp. 11–16. (In Russ.).

**Введение**

Большинство современных технологий пищевых продуктов включают элементы, способствующие выделению и выведению из состава нативного

сырья так называемых «балластных веществ», к числу которых зачастую относят целый ряд весьма ценных ингредиентов.

Например, муку высшего сорта получают путем удаления из продуктов помола зерна пшеницы

ту его часть, в которой содержатся биологически активные компоненты, диетическая клетчатка, витамины группы В и минеральные вещества.

В растительном масле в процессе его рафинирования существенно снижается концентрации биологически активных веществ и других ценных ингредиентов.

Таким образом, с целью увеличения сроков хранения, а также улучшения внешнего вида пищевого сырья и готовых продуктов, их состав зачастую существенно обедняется, что приводит к дефициту в рационе людей незаменимых пищевых ингредиентов.

Применение продуктов переработки семян масличных культур при производстве пищевых продуктов считается одним из действенных способов устранения дефицита незаменимых пищевых ингредиентов, а также снижения воздействия чужеродных для человеческого организма химических веществ, естественно не входящих в биотический круговорот (ксенобиотиков) [4].

В многочисленных работах, выполненных в последние годы, показано, что в качестве основы для таких продуктов переработки, применяемых в виде поликомпонентных композитов, может быть использовано растительное сырье с высоким содержанием липидов, белков и клетчатки (семена льна, расторопши пятнистой, тыквы, кунжута и др.) [1, 3, 9, 10].

Семена кунжута являются хорошим источником липидов, углеводов, а также полноценного белка. Причем эти нутриенты в семенах очень хорошо сбалансированы. Калорийность семян составляет в среднем 570 ккал. Химический состав и пищевая

ценность семян кунжута приведены в табл. 1. Здесь же представлена рекомендуемая суточная доза тех или иных ингредиентов, рассчитанная на основании требований маркировки GDA (Guideline Daily Amount) [11].

В современных технологиях продуктов питания в качестве пищевой добавки функционального назначения семена кунжута применяются в виде муки, масла, шрота, а также в нативном виде.

Анализ ряда выполненных к настоящему времени работ, показывает высокую эффективность внесения кунжутной муки в рецептуры различных пищевых продуктов.

Например, замещение в рецептуре пшенично-ржаного хлеба «Славянский» 10% пшеничной муки второго сорта на аналогичное количество муки из семян кунжута способствовало увеличению содержания в хлебе жира в 5,7 раза и белка на 48%. При этом содержание в 100 г продукта магния повысилось в 2,8 раза, фосфора – 1,7, меди – в 2,5, цинка – в 2,2 раза. Содержание марганца возросло на 30, а железа – на 24%. Немаловажно, что все эти изменения протекали на фоне снижения глютеновой нагрузки на организм человека. При этом органолептические свойства полученной продукции остались на уровне контрольного образца [9].

Аналогичные результаты получены в другой работе, где была подтверждена целесообразность использования кунжутной муки в технологии булочных изделий в количестве, не превышающем 10 % взамен пшеничной муки [4].

Основным недостатком технологий пищевых продуктов, в которых применяются семена кунжута, является высокая трудоемкость получения муки

Таблица 1 – Химический состав и пищевая ценность семян кунжута, на 100 г съедобной части

Показатели	Семена кунжута сырые	Рекомендуемая суточная доза согласно GDA, %
Белки, г	18	35,5
Жиры, г	50	71
из них насыщенных	7	34,8
Углеводы (включая клетчатку), г	23	8,7
из них сахара	0,3	0,3
клетчатка	12	47,2
<i>Макроэлементы, незаменимые</i>		
Кальций, мг	975	122
Магний, мг	351	94
Фосфор, мг	629	90
Калий, мг	468	23
Натрий, мг	11	1
<i>Микроэлементы, незаменимые</i>		
Медь, мкг	4,1	408
Марганец, мг	2,5	123
Железо, мг	15	104
Селен, мкг	34	63
Цинк, мг	7,8	78
Йод, мкг	10	7



Рис. 1. Общий вид экструдера ЭК-40

и невозможность ее даже кратковременного хранения без существенного ущерба для качества.

Учитывая опыт применения экструдата семян тывкы и расторопши при получении пищевых добавок функционального назначения, можно сделать предположение, что разработка пищевого композита функционального назначения на основе семян кунжута представляется весьма актуальной. Однако реализация этой научной идеи сталкивается с технологическим противоречием – растительное сырье с относительно высоким содержанием липидов и клетчатки в нативном виде экструдировать невозможно [1, 2, 7].

Работы, выполненные авторами, показывают, что получить функциональный композит хорошего качества на основе такого сырья можно лишь путем его совместного экструдирования с высококрахмалистым компонентом, например с зерном пшеницы. При этом установлено, что в экструдатах с влажностью 10-14 % в обычных условиях сохраняются почти все полезные для человека свойства сырья, из которого они произведены [5, 6].

Ранее авторами была предложена технология получения поликомпонентного композита на основе семян кунжута с помощью модернизированного экструдера с вакуумной камерой [8]. При этом экструдирование семян кунжута с пониженной влажностью в данной работе не рассматривалось. Между тем влажность семян кунжута по нормативным документам должна составлять 9 %, а спецификация данного сырья, получаемого из Индии, предусматривает содержание в нем влаги не более 4,5 %.

Цель работы – экспериментальное обоснование технологии получения поликомпонентного

композита на основе зерна пшеницы и семян кунжута с помощью экструдера с малой производительностью, применяемого в лабораторных условиях.

### Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования были реализованы с помощью одношнекового пресс-экструдера ЭК-40 производства ВЦПО «Фавор» (г. Волгоград), общий вид которого приведен на рис. 1.

Объект исследования – смесь неизмельченных зерен пшеницы и семян кунжута, которую подвергали экструдированию в течение 10-15 с при температуре 120-140 °С.

В процессе реализации эксперимента применялась матрица экструдера с диаметром отверстия, равным 4 мм. Остальные пять отверстий матрицы (штатная комплектация экструдера) были заглушены. Для реализации эксперимента были выбраны следующие управляемые факторы: содержание семян кунжута в экструдруемой смеси (%) – X1, массовая доля влаги в зерне пшеницы – X2 (%), массовая доля влаги в семенах кунжута – X3 (%).

В качестве критерия оптимизации полученного экструдата был выбран коэффициент взрыва экструдата (индекс расширения) – Y (безразмерная величина). Эксперимент проводился в трехкратной повторности. В табл. 2 приведены матрица планирования и результаты эксперимента.

### Результаты и их обсуждение

Для изучения свойств поверхности отклика в окрестностях оптимума выполнено каноническое

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Планир. план	2**(3) центр. комп. план, nc=8 ns=6 n0=2 Опыт=16 ([Нет активного набора данных])			
	X1	X2	X3	Y
1	5	14	4,5	1,8
2	5	14	13,5	1,9
3	5	22	4,5	2,7
4	5	22	13,5	2,8
5	10	14	4,5	1,6
6	10	14	13,5	1,7
7	10	22	4,5	2,5
8	10	22	13,5	2,6
9	3,296	18	9	2,4
10	11,704	18	9	2,3
11	7,5	11,273	9	1,1
12	7,5	24,727	9	2,6
13	7,5	18	1,432	1,3
14	7,5	18	16,568	2,8
15 (C)	7,5	18	9	2,2
16 (C)	7,5	18	9	2,2

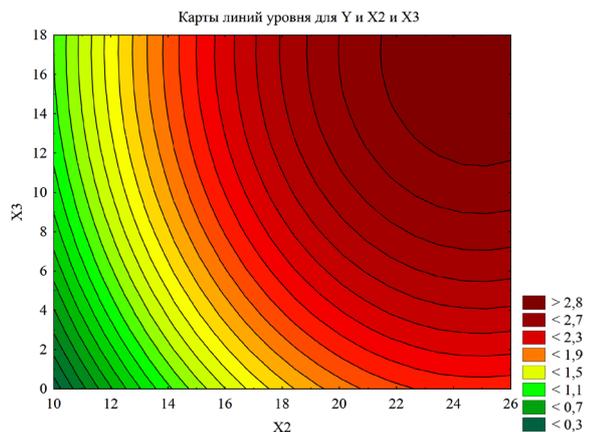


Рис. 2. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента взрыва от массовой доли влаги в зерне пшеницы (X2) и семенах кунжута (X3)

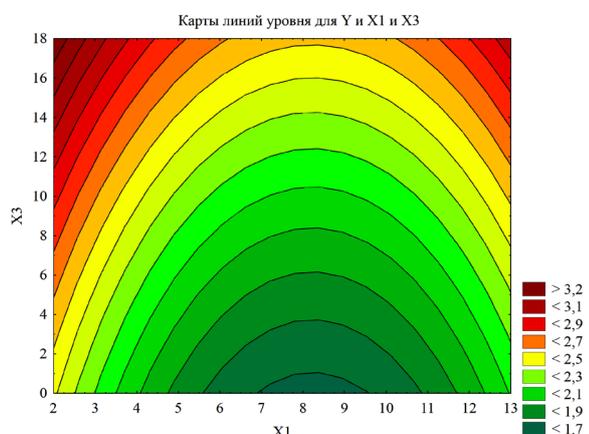


Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента взрыва от содержания семян кунжута (X1) и массовой доли влаги в нем (X3)

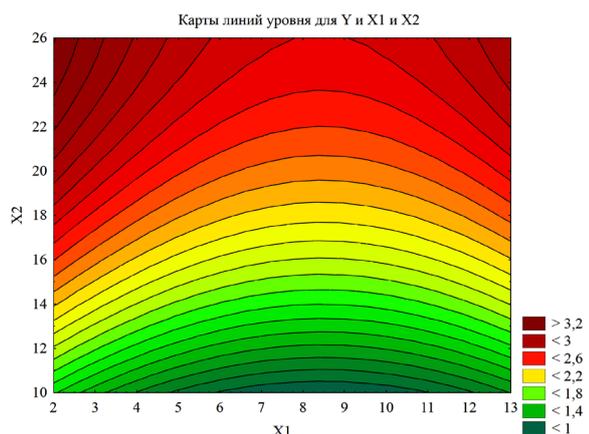


Рис. 4. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента взрыва от содержания семян кунжута (X1) и массовой доли влаги в зерне пшеницы (X2)

преобразование полученной математической модели. Анализ поверхности отклика проводили с помощью двумерных сечений.

Графическая интерпретация зависимости коэффициента взрыва от массовой доли влаги в зерне

пшеницы (X2) и семенах кунжута (X3) представлена на рис. 2 (цифры показывают численные значения коэффициента взрыва экструдата в рассматриваемых областях поверхности отклика). Как видно из рисунка, область с относительно высокими значениями коэффициента взрыва получаемого экструдата находится для первого фактора в интервале 18-26%, для массовой доли влаги в семенах кунжута – 6-18%. При этом эксперимент показал, при содержании в экструдированной смеси семян кунжута свыше 10 % коэффициент взрыва ограничивается величиной 2,0 и меньше. Увеличение содержания в экструдате семян кунжута до 25 % приводит к прекращению вспучивания смеси на выходе из экструдера, т.е. коэффициент взрыва равен 1.

Зависимости коэффициента взрыва от содержания семян кунжута (X1) и массовой доли влаги в нем (X3) в графическом виде показана на рис. 3. Ее анализ позволяет сделать вывод о том, что приемлемые значения коэффициента взрыва могут быть получены в том случае, если с увеличением доли семян кунжута в экструдированной смеси увеличивать содержание массовой влаги в семенах.

Анализ двумерного сечения поверхности отклика, приведенного на рис. 4, показывает, что коэффициент взрыва экструдата существенно увеличивается при повышении влажности обрабатываемого сырья и имеет значение, близкое к максимальному, полученному в эксперименте (2,8) при влажности зерна пшеницы 20,0-24,0 % и содержании в экструдированной смеси семян кунжута до 10 %.

Результаты экспериментальных исследований показывают весьма важную в практическом плане закономерность: с уменьшением массовой доли влаги в семенах кунжута, процесс экструдирования смеси ухудшается, и соответственно коэффициент взрыва получаемого экструдата уменьшается.

В связи с тем, что зона с оптимальными значениями коэффициента взрыва экструдата не позволяет использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14%, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры, можно сделать вывод о том, что для получения поликомпонентного экструдата на основе семян кунжута массовая доля воды в этом ингредиенте должна быть увеличена до 40,0-42,0 % при его содержании в смеси не более 10 %.

### Выводы

Приемлемое (с позиции коэффициента взрыва) содержание воды в экструдированной смеси зерна пшеницы и семян кунжута должно быть в пределах 20-24 %. С этой целью при наличии ингредиентов с базисной массовой долей влаги предпочтительней повышать массовую долю влаги в семенах кунжута, чем в зерне пшеницы. При этом количество добавляемой в семена кунжута воды должно обеспечить их влажность в интервале 40,0-42,0 %.

**Список литературы**

- [1] Инновации в экструзии /А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, А.А. Блинохватов. [и др.]. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 247 с.
- [2] Зимняков, В.М. Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В.М. Зимняков, О.Н. Кухарев, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов //Нива Поволжья. – 2017. – № 4 (45). – С. 157-163.
- [3] Егорова, Е.Ю. Разработка рецептур сухих смесей из амарантовой и кунжутной муки для изготовления безглютеновых оладий /Е.Ю. Егорова, Л.А. Козубаева //Хлебопродукты. – 2018. – №2. – С. 40-42.
- [4] Кузьмина, С.С. Использование кунжутной муки в технологии булочных изделий /С.С. Кузьмина // Ползуновский вестник. – 2019. – № 4. – С. 12-16.
- [5] Курочкин, А.А. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой /А.А. Курочкин, Д.И. Фролов //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 76–81.
- [6] Курочкин, А.А. Функциональный композит на основе экструдированной смеси пшеницы и семян тыквы /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина //Инновационная техника и технология. – 2015. – № 2 (03). – С. 5–11.
- [7] Курочкин, А. А. 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 технологии пищевых производств. – 2016. – Т. 42, № 3. – С. 104-111.
- [8] Курочкин, А. А. Технология получения поликомпонентного композита на основе семян кунжута / А.А. Курочкин, А.В. Чушкина, М.К. Бралиев //Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию юбилею А.Н. Кшникаткиной, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, Заслуженного работника сельского хозяйства РФ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020. – С. 18-20.
- [9] Наумова, Н.Л. Применение кунжутной муки в рецептуре хлеба «Славянский» /Н.Л. Наумова, О.М. Бурмистрова, Е.А. Бурмистров, Т.В. Савостина, Э.А. Черниязова //Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – №3. – С. 95-102.
- [10] Пашенко, Л.П. Семена кунжута – натуральный обогатитель хлебобулочных продуктов пониженной влажности /Л.П. Пашенко, С.Н. Остробородова, В.Л. Пашенко // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6. – С. 45–46.
- [11] Кунжут, сырой, неочищенный (семена кунжута, цельные) <https://www.diet-health.info/ru/recipes/ingredients/in/to3889-kunzut-syroj-neocisennyj-semena-kunzuta-celnye> (дата обращения 6.05.2020 г).

**References**

- [1] Innovations in extrusion /A. A. Kurochkin, P. K. Garkina, A. A. Blinokhvatov [et al.] Penza: RIO PGU, 2018. – 247 p.
- [2] Zimnyakov, V. M. Rational technological parameters in the production of a polycomponent composite based on flax seeds / V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov //Niva Of The Volga Region. – 2017. – № 4 (45). – P. 157-163.
- [3] Egorova, E. Yu. Development of recipes for dry mixes from amaranth and sesame flour for making gluten-free pancakes /E. Yu. Egorova, L. A. Kozubayeva // Bread Products. – 2018. – No.2. – P. 40-42.
- [4] Kuzmina, S. S. The Use of sesame flour in the technology of bakery products /S. S. Kuzmina //Polzunovsky Vestnik. – 2019. – No. 4. – P. 12-16.
- [5] Kurochkin, A. A. Poly-Component extrudate based on wheat grain and milk Thistle seeds /A. A. Kurochkin, D. I. Frolov //Proceedings of the Samara state agricultural Academy, 2015. – No. 4. – P. 76-81.
- [6] Kurochkin, A. A. Functional composite based on an extruded mixture of wheat and pumpkin seeds /A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina //Innovative equipment and technology. – 2015. – No. 2 (03). – P. 5-11.
- [7] Kurochkin, A. A. Extrudates from vegetable raw materials with increased content of lipids and dietary fibers / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov //Technique and technology of food production. – 2016. – Vol. 42, No. 3. – P. 104-111.
- [8] Kurochkin, A. A. Technology for obtaining a polycomponent composite based on sesame seeds /A. A. Kurochkin, A.V. Chushkina, M. K. Braliev //Innovative technologies in agriculture: theory and practice: collection of articles of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of A. N. Kshnikatkina, doctor of agricultural Sciences, Professor, Honored worker of agriculture of the Russian Federation. – Penza: RIO PGU, 2020. – P. 18-20.

- [9] Naumova, N. L. Application of sesame flour in the recipe of bread «Slavic» /N. L. Naumova, O. M. Burmistrova, E. A. Burmistrov, T. V. Savostina, E. A. Cherniyazova //Far Eastern agrarian Bulletin, 2018. No. 3. – P. 95-102.
- [10] Paschenko, L. P. Sesame Seeds-natural fortifier of low-humidity bakery products /L. P. Paschenko, S. N. Ostrobodova, V. L. Paschenko // Modern science-intensive technologies, 2006. – No. 6. – P. 45-46.
- [11] Sesame, raw, unrefined (sesame seeds, whole) <https://www.diet-health.info/ru/recipes/ingredients/in/to3889-kunzut-syroj-neocisennyj-semena-kunzuta-celnye> (accessed 6.05.2020).

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<b>Курочкин Анатолий Алексеевич</b> доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 <b>Тел.:</b> +7(927) 382-85-03 <b>E-mail:</b> anatolii_kuro@mail.ru	<b>Kurochkin Anatoly Alekseevich</b> D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University <b>Phone:</b> +7(927) 382-85-03 <b>E-mail:</b> anatolii_kuro@mail.ru
<b>Потапов Максим Александрович</b> аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440045, Пенза, ул. Ульяновская, д. 36, кв. 37 <b>Тел.:</b> +7(962) 473-86-96 <b>E-mail:</b> torrentskachat@mail.ru	<b>Potapov Maxim Alexandrovich</b> postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University <b>Phone:</b> +7(962) 473-86-96 <b>E-mail:</b> torrentskachat@mail.ru