

Исследование влияния условий экструзии на свойства экструдата из смеси гречихи и кукурузы

Фролов Д.И., Юрна Д.А.

Аннотация. Исследовано влияние условий экструзии на физико-химические свойства гречнево-кукурузного экструдата. Были исследованы свойства: объемное расширение, показатель водопоглощения, индекс растворимости в воде, плотность, механическая прочность. Использовались следующие уровни переменных: влажность 12%, содержание гречихи 15, 30, 45, 60 и 100 %, температура цилиндра 120°C. Увеличение содержания влаги в сырье привело к более высокой плотности экструдата, меньшему расширению, более высокому показателю водопоглощения и более низкому индексу растворимости в воде. Более высокое содержание гречихи увеличивает расширение экструдата, индекс растворимости в воде и показатель водопоглощения, но снижает его механическую прочность.

Ключевые слова: экструдер, гречиха, физико-химические свойства, показатель водопоглощения, индекс растворимости в воде.

Для цитирования: Фролов Д.И., Юрна Д.А. Исследование влияния условий экструзии на свойства экструдата из смеси гречихи и кукурузы // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 3. С. 38–43.

Investigation of the influence of extrusion conditions on the properties of extrudate from buckwheat and maize mixture

Frolov D.I., Yurna D.A.

Abstract. The influence of extrusion conditions on the physicochemical properties of buckwheat-corn extrudate was studied. The following properties were studied: volumetric expansion, water absorption index, water solubility index, density, mechanical strength. The following variable levels were used: humidity 12%, buckwheat content 15, 30, 45, 60 and 100%, cylinder temperature 120°C. Increasing the moisture content of the feedstock resulted in higher extrudate density, lower expansion, higher water absorption rate and lower water solubility index. Higher buckwheat content increases extrudate expansion, water solubility index and water absorption index, but reduces its mechanical strength.

Keywords: extruder, buckwheat, physicochemical properties, water absorption index, water solubility index.

For citation: Frolov D.I., Yurna D.A. Investigation of the influence of extrusion conditions on the properties of extrudate from buckwheat and maize mixture . Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 3. pp. 38–43. (In Russ.).

Введение

В последние годы наблюдается широкий интерес к здоровому питанию, а именно к диетическим, безглютеновым, высокоцеллюлозным продуктам или обогащенным натуральными добавками высокой биологической ценности (например, гречка) [1].

Гречка известна и культивируется уже много лет. Нынешний мировой сбор гречихи составляет

больше 4 млн т. Такое увеличение обусловлено особыми свойствами гречки, которая содержит белки с выгодным аминокислотным составом и характеризуется более высокой биологической ценностью, чем молочный белок или мясо свинины. Зерно гречки содержит ряд микроэлементов: калий, магний, железо, хром, цинк, кобальт, а также витамины группы В и Е. Он также не содержит глютена и рекомендуется людям, страдающим диабетом или целиакией [2].

Возросшая популярность продуктов из гречки требует их более широкого разнообразия. Одним из возможных решений является экструзия гречки, позволяющая получать новые готовые к употреблению продукты, такие как экструдированные чипсы или крупоподобные продукты и многие другие [3, 4, 5].

До сих пор на гречневых смесях проведено лишь ограниченное количество исследований. Ученые исследовали экструдированные продукты, полученные из муки кукурузы, пшеницы и гречки в двухшнековом экструдере, где добавки гречки составляли 30, 40, 55%. Также было исследовано влияние условий экструзии в одношнековом экструдере на пищевую ценность кукурузной и гречневой крупы с добавлением казеина [6]. Установлено, что добавление 20% гречки повышает пищевую ценность экструдата [7, 8].

Целью проведенных исследований было определение влияния добавки гречневой крупы на технологические и физические свойства экструдированных гречнево-кукурузных смесей.

Объекты и методы исследования

Смесь, состоящую из кукурузного молотого зерна и гречневой крупы с содержанием: 0, 15, 30, 45, 60 и 100%, экструдировали при двух содержаниях влаги: 12% и 15%. Использовали одношнековый экструдер ЭК-40 со следующими параметрами: скорость шнека $n=200$ об/мин, отношение длины шнека к диаметру $L/D=4$ и диаметр выходного отверстия фильеры 5 мм.

Показатель водопоглощения и индекс растворимости в воде определяли по следующей методи-

ке. Методика заключалась в тщательном смешивании измельченного экструдата (масса 2,5 г, размер частиц 180-250 мкм) с 25 мл дистиллированной воды. Избыток воды отделяли на центрифуге при 3000 об/мин в течение 10 мин, затем пробу взвешивали и сушили при 105°C.

Исследуемые показатели рассчитывались следующим образом:

Показатель водопоглощения:

$$WAI = \text{вес осадка} / \text{вес сухого остатка}$$

Индекс растворимости в воде:

$$WSI(\%) = \text{масса растворенных твердых веществ} / \text{вес сухих веществ}$$

Механическую прочность экструдата измеряли с использованием универсальной испытательной машины. Экструдаты подвергали испытанию и измеряли пиковое усилие. Прочность на разрыв экструдата ($H/\text{см}^2$) была рассчитана путем деления силы сдвига на общую площадь поперечного сечения экструдата, подвергнутого сдвигу. Результаты отдельных испытаний записывались на компьютер с использованием программного обеспечения.

Параметры цвета: L^* (яркость), a^* (параметр красного/зеленого цвета), b^* (параметр желтого/синего цвета) определялись по методике. Измерения проводились на исследовательском стенде, состоящем из световой камеры, оснащенной люминесцентными лампами дневного света с цветовой температурой 6500 К и фотокамерой Canon, где баланс белого производился по белому образцу. Полученные образцы фотографировались и записывались в формате TIF. Для цветового анализа случайным образом были выбраны десять фрагментов несколь-

Таблица 1 - Результаты теста дисперсионного анализа по влиянию добавки гречки на показатели качества

Эффект	Односторонний дисперсионный анализ				
	SS	Степень свободы	MS	f	p
Расширение					
Свободный член	1696,42	1,00	1696,42	5758,80	0,00
Содержание гречки (%)	15,09	5,00	3,02	10,24	0,00
Содержание влаги (%)*	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
WAI					
Свободный член	411,32	1,00	411,32	5016,60	0,00
Содержание гречки (%)	4,99	5,00	1,00	12,16	0,00
Содержание влаги (%)	0,99	1,00	0,99	12,07	0,00
WSI					
Свободный член	12899,31	1,00	12899,31	1461,80	0,00
Содержание гречки (%)	243,23	5,00	48,65	5,51	0,00
Содержание влаги (%)	751,56	1,00	751,56	85,17	0,00
Механическая сила					
Свободный член	0,18	1,00	0,18	2595,84	0,00
Содержание гречки (%)	0,01	5,00	0,00	28,26	0,00
Содержание влаги (%)*	0,00	1,00	0,00	0,14	0,71

* значения статистического показателя незначимы при $p < 0,05$

Таблица 2 - Результаты теста дисперсионного анализа на влияние добавления гречки на цветовые характеристики

Эффект	Односторонний дисперсионный анализ				
	SS	Степень свободы	MS	F	p
L*					
Свободный член	768660,5	1	768660,5	86058,05	0
Содержание гречки (%)	397,1	1	397,1	44,46	0
Содержание влаги (%)	1418,3	5	283,7	31,76	0
a*					
Свободный член	6578,445	1	6578,445	308,66	0
Содержание гречки (%)*	60,941	1	60,941	2,8594	0,093
Содержание влаги (%) *	180,96	5	36,192	1,6982	0,140
b*					
Свободный член	159742,2	1	159742,2	39466,07	0
Содержание гречки (%)	581,7	1	581,7	143,71	0
Содержание влаги (%)*	850,2	5	170	42,01	0

* значения статистического показателя незначимы при $p < 0,05$

ких элементов, отмеченных кружком диаметром 10 мм, без учета пустых мест. Цветовой анализ проводился с использованием Adobe Photoshop, где значения параметров L^* , a^* , b^* были получены с помощью функции гистограммы.

Полученные результаты были обработаны статистически с использованием модуля ANOVA по основным эффектам в программе Statistica.

Результаты и их обсуждение

Установлено влияние добавки гречихи на качественные показатели гречнево-кукурузного экструдата. В качестве оценки принимали средние значения показателей качества: расширения, WAI, WSI, механической прочности и коэффициентов цвета L^* , a^* , b^* при уровне значимости $p < 0,05$. Были выдвинуты следующие гипотезы: H_0 - добавка гречки не влияет на указанные выше показатели качества: расширение, WAI, WSI, механическую прочность; H_1 - влажность сырья не влияет на указанные выше показатели качества: расширение, WAI, WSI, механическая прочность; H_2 - добавка гречки и содержание влаги не влияют на показатели цвета L^* , a^* , b^* .

На основании полученных результатов (таблица 1) гипотезу H_0 об отсутствии влияния содержания гречихи на коэффициент объемного расширения можно отвергнуть, следовательно, между этими факторами имеется статистически значимая зависимость. Было обнаружено, что увеличение содержания влаги до 15% не влияет на степень расширения (рис. 1). Однако при обоих значениях влажности: 12% и 15%, когда содержание гречихи увеличивалось, степень расширения значительно увеличивалась. Наибольшее значение этого коэффициента было при влажности 12% и содержании гречихи 100%.

Результаты теста позволяют отвергнуть гипотезу H_0 об отсутствии влияния содержания гречки на показатель механической прочности. Однако гипотезу H_1 нельзя отвергнуть; это означает, что увеличение влажности с 12% до 15% не влияет на исследуемый показатель. Установлено, что увеличение содержания гречки (рисунок 2) вызывало снижение механической прочности, а наибольшая разница при 100% содержании гречихи и 100% содержании кукурузы составила 0,046 Дж/мм² при влажности 12%.

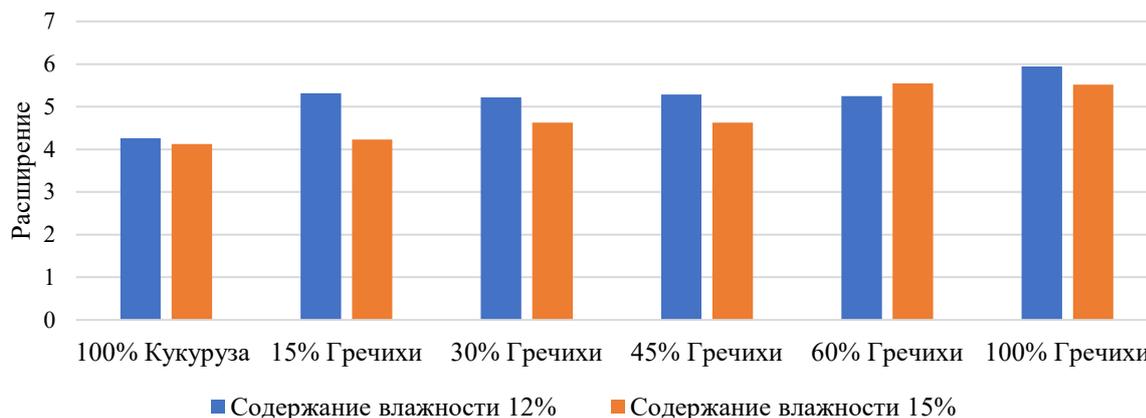


Рис. 1. Влияние содержания влаги на степень расширения экструдата кукурузы и гречихи.

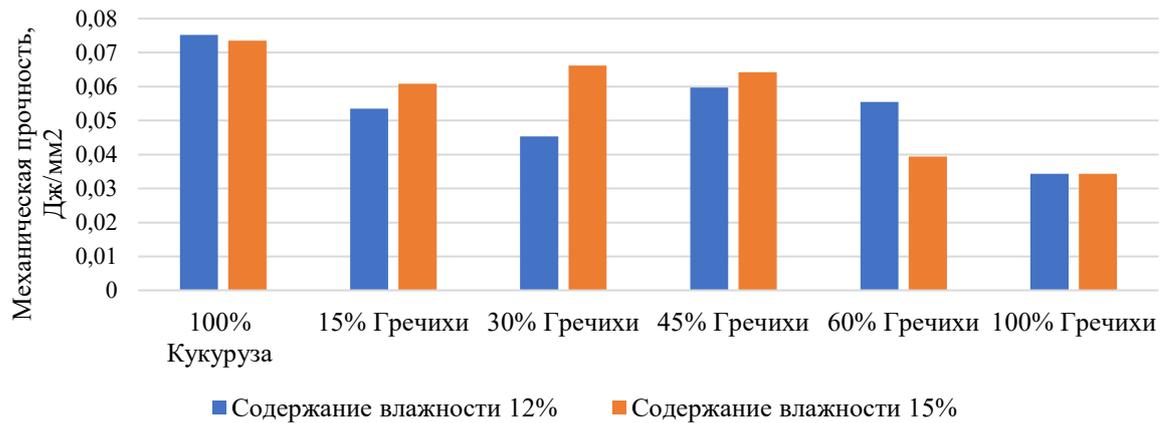


Рис. 2. Влияние влажности на механическую прочность кукурузно-гречневого экструдата

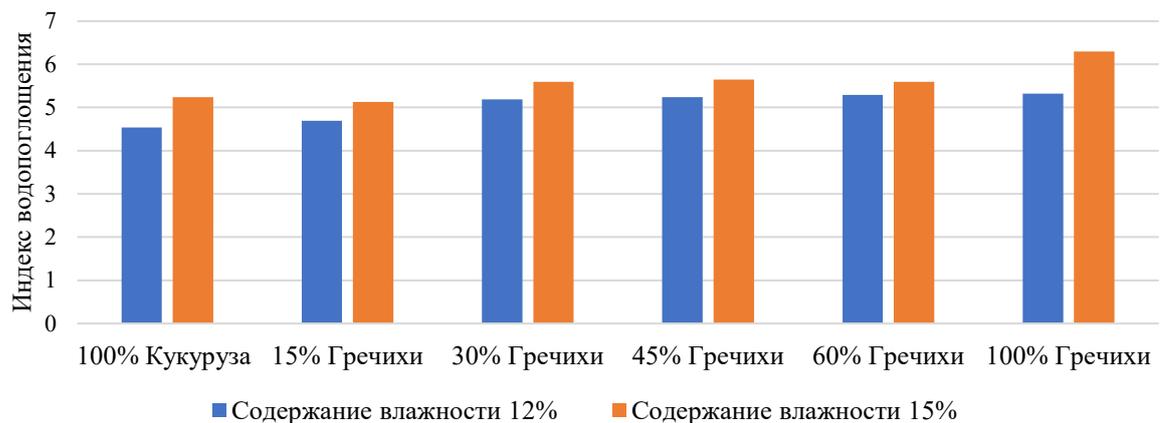


Рис. 3. Влияние содержания влаги на индекс водопоглощения (WAI) кукурузно-гречневого экструдата

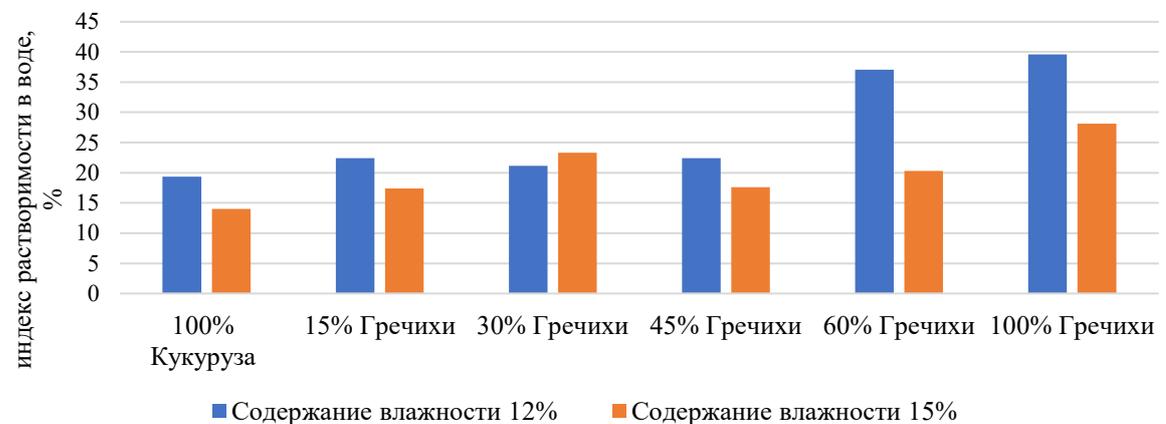


Рис. 4. Влияние содержания влаги на индекс растворимости в воде (WSI) экструдата кукурузы и гречихи

Учитывая значения индекса водорастворимости (WSI) и показатель водопоглощения (WAI), можно обнаружить, что гипотезы H0 и H1 об отсутствии влияния содержания гречки на Коэффициенты WSI и WAI могут быть отклонены. Значения WSI (рисунок 3) увеличиваются с увеличением содержания гречки при обоих значениях влажности, особенно при содержании гречихи 60% и 100% при влажности 12% (максимальные значения составили 37,9% и 39,6% соответственно).

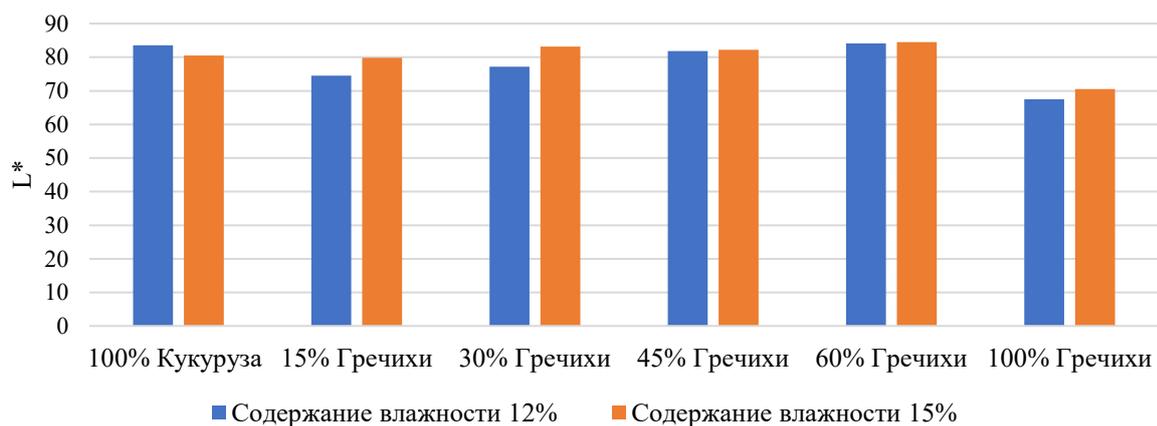
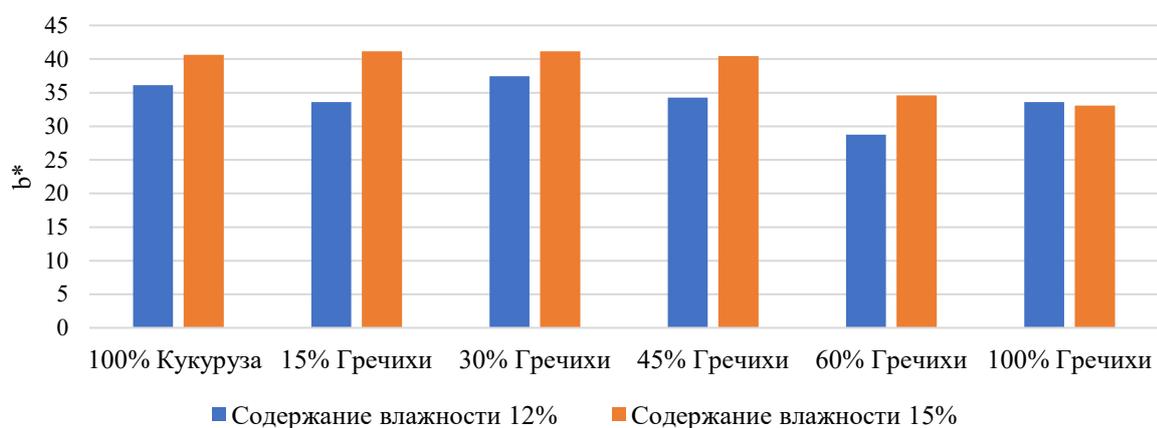
Значения коэффициента WAI увеличивались также с увеличением содержания гречихи и при влажности 15 % были выше, чем при 12 % (рис. 4).

В таблице 2 представлены результаты цвето-

вых исследований для коэффициента яркости L*. Гипотезу H2 об отсутствии влияния содержания гречки на значение параметра L* можно отвергнуть. Линейная тенденция в значениях этого параметра наблюдается до 60% содержания гречки (рис. 5), затем значения значительно снижаются (уменьшается яркость продукта).

По результатам анализа коэффициента цвета a* установлено, что гипотезу H2 нельзя отвергнуть. Таким образом, как содержание гречихи, так и влажность существенно не влияли на изменение исследуемого коэффициента.

При анализе цветового коэффициента b* гипотеза H2 была отвергнута. При обоих значениях

Рис. 5. Влияние влажности на коэффициент цветности L^* кукурузно-гречневого экструдатаРис. 6. Влияние влажности на коэффициент цветности b^* кукурузно-гречневого экструдата

влажности значения коэффициента b^* уменьшались с увеличением содержания гречихи (рис. 6).

Выводы

На основании проведенных исследований проанализированы зависимости между показателями качества и содержанием гречихи в кукурузно-гречневой смеси. Установлено, что различное содержание гречихи и влажность существенно влияют на показатели качества экструдата, в том числе на цветовые коэффициенты L^* , a^* , b^* , определяющие качество продукции. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо искать зависимости между отдельными физическими свойствами экструдата, чтобы правильно моделировать качество смесей, перерабатываемых при экструзии.

Установлено, что содержание гречки в смеси дифференцирует все исследованные показатели. Увеличение процентного содержания гречки вызы-

вало иногда быстрый рост (расширение, WSI, WAI), или снижение исследуемых показателей (механическая прочность, цветовые коэффициенты L^* , b^*). Установлено, что изменение содержания гречихи не повлияло на коэффициент окраски a^* , тогда как содержание влаги повлияло на все показатели, за исключением степени расширения, механической прочности и коэффициента окраски a^* .

Увеличение содержания влаги до 15% вызывало снижение индекса растворимости в воде (WSI). При одинаковом содержании влаги значения WAI были выше (более высокое водопоглощение).

В смесях, содержащих до 60% гречки, яркость продукта не менялась, однако выше этого значения значение L^* быстро снижалось, вероятно, из-за характерных свойств гречки или более длительного времени пребывания смеси в экструдере. Цветовой параметр b^* увеличивался с увеличением содержания гречки, тогда как параметр a^* не зависел ни от содержания гречихи, ни от содержания влаги.

Литература

- [1] Mäkilä L. et al. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks //LWT-Food Science and Technology. – 2014. – Т. 57. – №. 2. – С. 618-627.
- [2] Kowalski R. J., Li C., Ganjyal G. M. Optimizing twin-

References

- [1] Mäkilä L. et al. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks //LWT-Food Science and Technology. – 2014. – Т. 57. – No. 2. – pp. 618-627.
- [2] Kowalski R. J., Li C., Ganjyal G. M. Optimizing twin-

- screw food extrusion processing through regression modeling and genetic algorithms //Journal of Food Engineering. – 2018. – Т. 234. – С. 50-56.
- [3] Bravo V. L., Hrymak A. N., Wright J. D. Study of particle trajectories, residence times and flow behavior in kneading discs of intermeshing co-rotating twin-screw extruders //Polymer Engineering & Science. – 2004. – Т. 44. – №. 4. – С. 779-793.
- [4] Zhang Z. et al. Effects of extrusion on structural properties, physicochemical properties and in vitro starch digestibility of Tartary buckwheat flour // Food Hydrocolloids. – 2023. – Т. 135. – С. 108197.
- [5] Gao L. et al. Effect of improved extrusion cooking technology modified buckwheat flour on whole buckwheat dough and noodle quality // Food Structure. – 2022. – Т. 31. – С. 100248.
- [6] Ninomiya K. et al. Physicochemical and functional properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) albumin //Future Foods. – 2022. – Т. 6. – С. 100178.
- [7] Технологические аспекты регулирования выхода экстракта при получении пивного сусла / П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 2. С. 13–20. EDN DYYWZS.
- [8] Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 79–83. EDN SQJBHD.
- screw food extrusion processing through regression modeling and genetic algorithms // Journal of Food Engineering. – 2018. – Т. 234. – P. 50-56.
- [3] Bravo V. L., Hrymak A. N., Wright J. D. Study of particle trajectories, residence times and flow behavior in kneading discs of intermeshing co-rotating twin-screw extruders // Polymer Engineering & Science. – 2004. – Т. 44. – No. 4. – pp. 779-793.
- [4] Zhang Z. et al. Effects of extrusion on structural properties, physicochemical properties and in vitro starch digestibility of Tartary buckwheat flour // Food Hydrocolloids. – 2023. – Т. 135. – P. 108197.
- [5] Gao L. et al. Effect of improved extrusion cooking technology modified buckwheat flour on whole buckwheat dough and noodle quality // Food Structure. – 2022. – Т. 31. – P. 100248.
- [6] Ninomiya K. et al. Physicochemical and functional properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) albumin //Future Foods. – 2022. – Т. 6. – P. 100178.
- [7] Technological aspects of regulating the yield of extract when producing beer wort / P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2020. Vol. 8. No. 2. pp. 13–20. EDN DYYWZS.
- [8] Prospects for the use of extruded buckwheat in brewing and baking / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // News of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No. 4. pp. 79–83. EDN SQJBHD.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>
<p>Юрна Диана Андреевна студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Yurna Diana Andreevna student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>