

Исследование влияния вакуумной экструзии на коэффициент расширения экструдатов из рисовой муки

Фролов Д.И., Рыжова А.А.

Аннотация. В статье проведено исследование влияния вакуумной экструзии на коэффициент расширения экструдатов и общее содержание фенольных соединений в зависимости от параметров процесса экструзии. Все эксперименты по экструзии проводили с использованием одношнекового лабораторного экструдера ЭК-40. Параметры экструзии были следующими: скорость вращения шнека (200-400 об/мин), температура в стволе экструдера (70-100°C) и вакуум в вакуумной камере (0-53 кПа). На коэффициент расширения (КР) экструдата рисовой муки значительно повлияли параметры процесса вакуумной экструзии. Оптимизированными условиями были температура ствола экструдера 77,5°C, влажность сырья 32,5%, скорость вращения шнека 350 об/мин и уровень вакуума 40 кПа. Экструзия с использованием вакуума оказывает заметное влияние на коэффициент расширения по сравнению с обычной экструзией.

Ключевые слова: экструзия, вакуум, рис, мука, коэффициент расширения, фенольные соединения.

Для цитирования: Фролов Д.И., Рыжова А.А. Исследование влияния вакуумной экструзии на коэффициент расширения экструдатов из рисовой муки // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 1. С. 15–20. EDN: FIEPYM.

Study of the effect of vacuum extrusion on the expansion index of rice flour extrudates

Frolov D.I., Ryzhova A.A.

Abstract. The article studies the effect of vacuum extrusion on the expansion coefficient of extrudates and the total content of phenolic compounds, depending on the parameters of the extrusion process. All extrusion experiments were carried out using a single-screw laboratory extruder EK-40. The extrusion parameters were as follows: screw speed (200-400 rpm), temperature in the extruder barrel (70-100°C) and vacuum in the vacuum chamber (0-53 kPa). The expansion coefficient (EC) of the rice flour extrudate was significantly affected by the parameters of the vacuum extrusion process. Optimized conditions were barrel temperature of 77.5°C, raw material moisture content of 32.5%, screw speed of 350 rpm and vacuum level of 40 kPa. Vacuum extrusion has a significant effect on the expansion coefficient compared to conventional extrusion.

Keywords: extrusion, vacuum, rice, flour, expansion coefficient, phenolic compounds.

For citation: Frolov D.I., Ryzhova A.A. Study of the effect of vacuum extrusion on the expansion index of rice flour extrudates. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 1. pp. 15–20. EDN: FIEPYM. (In Russ.).

Введение

Экструзия - это сложный процесс, в котором небольшие изменения в условиях обработки влияют на переменные процесса, а также на качество продукта. Качество продукта с точки зрения структуры и питательных свойств значительно варьируется в зависимости от типа экструдера, конфигурации шнека, температуры процесса, содержания жира и влаги сырья. Доказано, что структурные свойства экструдатов очень важны для потребителей. Более

того, питательные свойства также приобретают все большее значение в последнее время в связи с сознательным отношением потребителей к своему здоровью. Однако сохранение функциональных качеств экструдатов затруднено из-за высокотемпературной обработки, которая вызывает нежелательные эффекты, вызывая потери термолабильных биологически активных соединений, окисление липидов, разрушение или снижение доступности аминокислот и других, чувствительных к температуре питательных веществ. Ряд исследований был

Таблица 1 – План эксперимента с независимыми и зависимыми параметрами

№	Температура (Т), °С	Влажность сырья (W), %	Скорость вращения шнека (n), об/мин	Вакуум (p), кПа	Коэффициент расширения (КР)	Содержание фенолов (СФ), мг ГКЭ/100 г
1	70	30	300	27	1,16	35,68
2	77,5	27,5	350	13	1,17	22,02
3	77,5	32,5	350	40	1,88	48,04
4	85	30	400	27	1,18	28,06
5	77,5	27,5	250	13	1,04	38,5
6	85	30	300	27	1,13	30,25
7	85	30	300	27	1,53	38,25
8	100	30	300	27	1,11	26,66
9	92,5	32,5	250	40	1,13	30,91
10	77,5	32,5	350	13	0,99	30,76
11	85	30	300	27	1,33	29,25
12	92,5	27,5	250	40	1,5	29,21
13	85	25	300	27	1	24,94
14	92,5	27,5	250	13	1,1	41,46
15	92,5	32,5	350	40	1,17	20
16	92,5	27,5	350	40	1,32	29,63
17	85	30	300	27	1,13	34,25
18	85	30	300	27	1,38	30,25
19	92,5	32,5	250	13	1,21	26,61
20	77,5	32,5	250	13	1,01	33,7
21	85	30	300	0	1,06	37,97
22	85	30	300	53	1,9	27,41
23	77,5	27,5	250	40	0,98	54,04
24	85	30	200	27	1,58	38,42
25	77,5	27,5	350	40	1,5	34,94
26	85	30	300	27	1,43	34,25
27	92,5	27,5	350	13	1,06	22,92
28	92,5	32,5	350	13	1,09	29,78
29	77,5	32,5	250	40	1,89	36,62
30	85	35	300	27	1,41	16,85

проведен с целью улучшения функциональных характеристик экструдированных продуктов [4, 5]. Однако сохранение биоактивных соединений в экструдате все еще остается проблемой.

Влияние процесса экструзии с использованием вакуума на характеристики продукта зависит от нескольких переменных параметров экструзии, таких как: влагосодержание сырья, температура процесса и уровень вакуума [1, 3]. Конфигурация экструзионной варочной камеры также влияет на качество получаемого продукта [2]. Поэтому, чтобы получить оптимальные условия процесса для получения высокоценного продукта, необходимым условием является выяснение взаимосвязей и важности переменных в процессе экструзии.

Целью исследования было изучение влияния переменных процесса на экструзию муки из риса с использованием вакуумной камеры и сравнение с процессом экструзии при атмосферном давлении. Анализ переменных и оптимизация процесса экс-

трузии был проведен с помощью методологии поверхности отклика.

Объекты и методы исследования

Смеси были приготовлены из рисовой муки, которая закупалась на местном рынке или в магазине. Влажность сырья варьировалась от 25% до 35%. При выполнении работы были использованы общепринятые стандартные методы исследований.

Все эксперименты по экструзии проводили с использованием одношнекового лабораторного экструдера ЭК-40 (диаметр шнека 40 мм) с использованием фильеры диаметром 3 мм.

Параметры экструзии были следующими: скорость вращения шнека (200-400 об/мин), температура в стволе экструдера (70-100°C) и вакуум в вакуумной камере (0-53 кПа). Во время экструзии параметры варьировались, как показано в таблице 1.

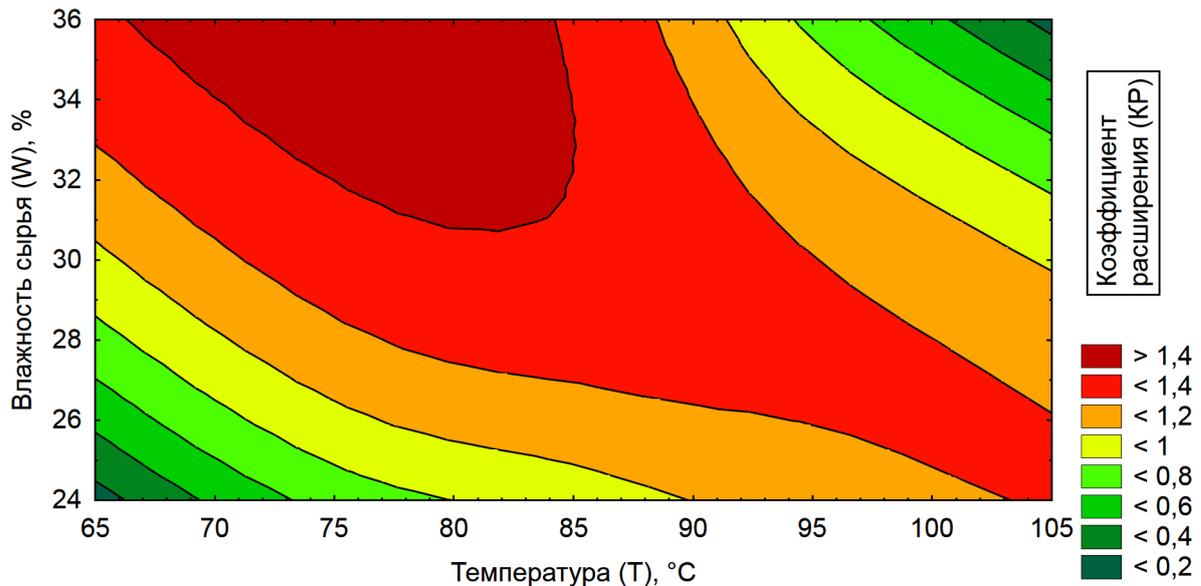


Рис. 1. Контурный график зависимости коэффициента расширения от температуры и влажности сырья

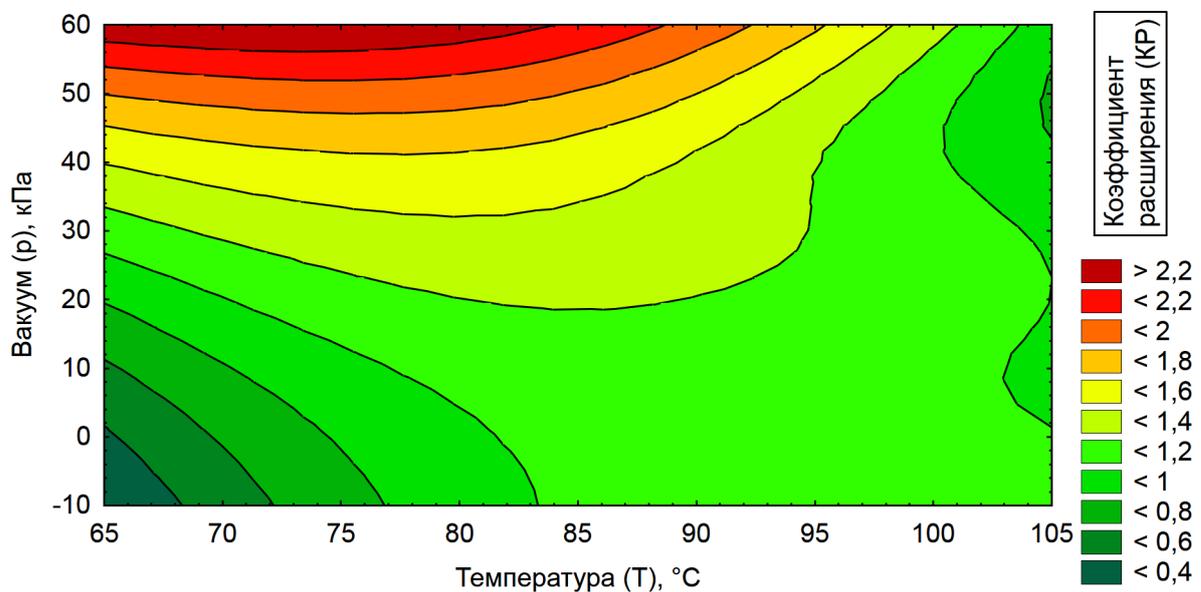


Рис. 2. Контурный график зависимости коэффициента расширения от температуры и величины вакуума в камере

Коэффициент расширения (КР) образца определялся как отношение диаметра поперечного сечения образца к диаметру отверстия матрицы.

Для определения общего содержания фенолов (ОСФ) образца использовался метод Фолина-Чокальтеу.

В основе метода лежит измерение концентрации окрашенных продуктов и детектирование спектрофотометром при длине волны 765 нм. Содержание фенольных соединений выражают в эквивалентах галловой кислоты (ГКЭ).

Поглощение смеси измеряли на спектрофотометре Юнико 1201. Результаты выражали в мг эквивалента галловой кислоты (ГКЭ)/100 г образца.

Для составления плана эксперимента, проведения статистического анализа использовалась программа Statistica 10. Центральное композиционное планирование эксперимента использовалось для оценки влияния переменных процесса экструзии на зависимые переменные.

Четырехфакторная композитная конструкция была применена для исследования влияния темпе-

Таблица 2 – Качественные показатели модели

Зависимая переменная	Множест. - R	Множест. - R2	SS - Модель	сс - Модель	MS - Модель	SS - Остаток	сс - Остаток	MS - Остаток	F	p
Коэффициент расширения (КР)	0,84	0,7	1,49	14	0,11	0,63	15	0,04	2,52	0,043
Содержание фенолов (СФ), мг ГКЭ/100 г	0,83	0,7	1239	14	88,5	542,41	15	36,16	2,44	0,048

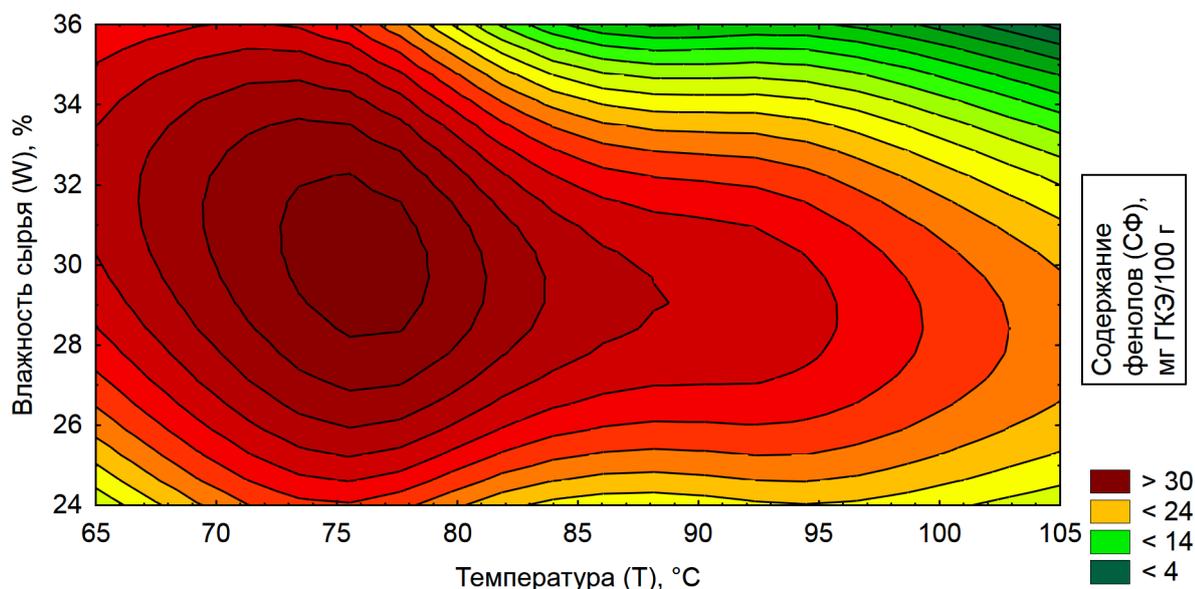


Рис. 3. Контурный график зависимости содержания фенолов от температуры и влажности сырья

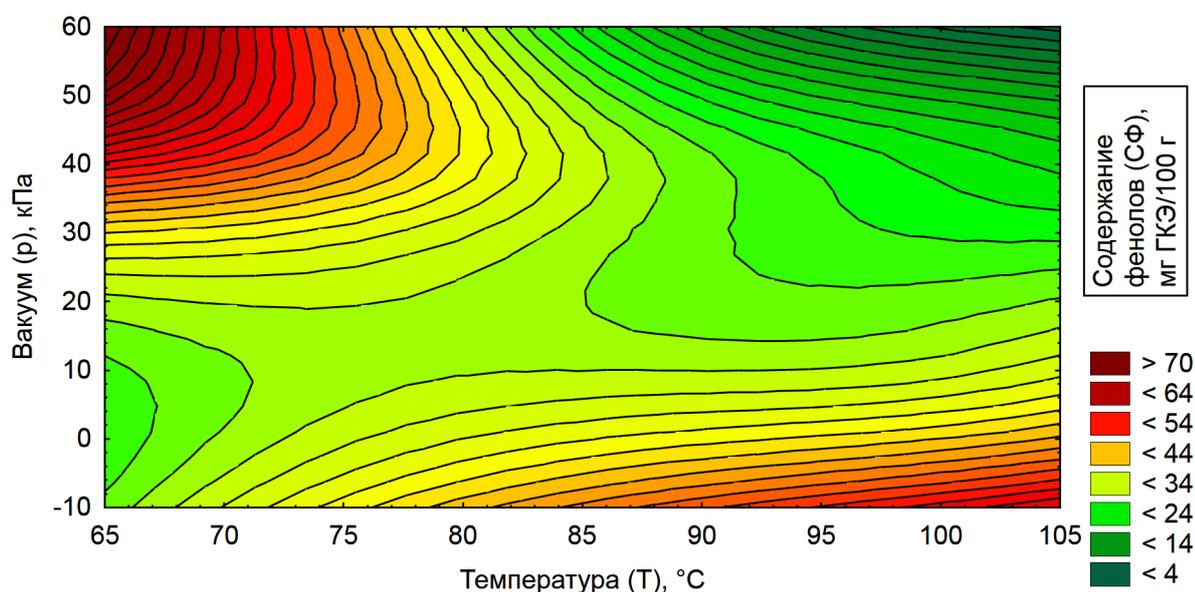


Рис. 4. Контурный график зависимости содержания фенолов от температуры и величины вакуума в камере

ратуры, скорости вращения шнека, вакуума и влажности сырья на такие функции отклика, как коэффициент расширения и содержание фенолов. Для определения влияния переменных и оптимальных значений параметров экструзии было проведено 30 экспериментов (таблица 1).

Результаты и их обсуждение

На коэффициент расширения (КР) экструдата рисовой муки значительно повлияли параметры процесса вакуумной экструзии. Таблица 2 показывает, что температура в стволе экструдера, содержание влаги, скорость шнека и вакуум оказывают значительное ($p < 0,05$) влияние на коэффициент расширения (КР) с высоким коэффициентом детерминации (0,84), а значения КР варьируются от 0,98 до 1,9. Повышение температуры в стволе экструдера и вакуума значительно увеличивает ко-

эффициент расширения (КР) готового продукта. Аналогичные выводы были получены другими исследователями [6]. Коэффициент расширения (КР) крахмала в основном зависит от степени желатинизации. Повышение температуры экструзии снижает вязкость сырья, что усиливает развитие пузырьков во время экструзии (рис. 1). Более того, степень перегрева пара в экструдере может увеличиваться при более высокой температуре для улучшения расширения. Коэффициент расширения (КР) экструдатов увеличивается с увеличением содержания влаги в сырье до определенного предела, за которым возникает обратная тенденция. Степень желатинизации крахмала увеличивается с увеличением влажности сырья до 30% для повышения коэффициента расширения (КР). Дальнейшее увеличение влажности сырья обеспечивает смазывающий эффект и снижает эластичность расплава, так что коэффициент расширения (КР) уменьшается. Значительное (p

< 0.05) влияние уровня вакуума на коэффициент расширения (КР), возможно, связано с тем, что перепад давления вызывает интенсивное выделение водяного пара из расплава (рис. 2). Таким образом, он появляется в виде пузырьков и способствует расширению расплавленных экструдатов, что приводит к увеличению объема экструдатов. Расширение экструдата зависит от разницы давления между фильерой и атмосферой, а также от способности выходящего продукта поддерживать расширение. Скорость вращения шнека оказывает умеренное влияние на расширение. Увеличение скорости вращения шнека может привести к разрушению структуры амилопектина и изменению реологии расплава сырья, что влияет на расширение продукта.

Общее содержание фенолов (СФ) в экструдатах варьировалось от 16,9 до 48,0 мг ГКЭ/100 г. На рисунке 3 показано, что увеличение влажности сырья приводит к увеличению содержания фенолов в экструдированных продуктах. Увеличение содержания влаги снижает силы трения и сдвига во время экструзии, что приводит к уменьшению тепла, в результате чего увеличивается удерживание фенольных соединений. Увеличение количества фенольных соединений в экструдированном рисе можно объяснить увеличением свободных форм из-за разрушения клеточной стенки во время экструзии. Повышение температуры в стволе экструдера сначала увеличивает содержание фенолов, но на более поздних стадиях наблюдается обратная тенденция (рис. 4). Аналогичные наблюдения были получены другими исследователями [7]. При первоначальной термической обработке повреждение клеточных структур облегчает извлечение/освобождение растворимых фенольных соединений из образцов. Таким образом, общее количество фенольных соединений увеличивается. Однако при дальнейшем повышении температуры экструзии СФ снижается из-за термической деградации фенольных соедине-

ний. Увеличение уровня вакуума немного снижает общее содержание фенолов в экструдатах. Возможно, что вакуум уменьшает количество перегретого пара, присутствующего в расплаве, и таким образом регулирует потерю фенольного соединения из-за тепла. Увеличение скорости вращения шнека приводит к увеличению силы трения и сдвига, поэтому выделяется больше тепла, что приводит к разрушению фенольных соединений.

Экструзия с использованием вакуума сравнивалась с обычной экструзией (без вакуума) при оптимальных условиях. Было замечено, что в присутствии вакуума во время экструзии изменялся коэффициент расширения. Без вакуума экструдат имел более низкий КР (1,02), чем экструдат с вакуумной обработкой (1,7). При экструзии с использованием вакуума, благодаря более высокому перепаду давления после фильеры, происходит интенсивное удаление водяного пара из расплава, что усиливает расширение расплавленного экструдата и тем самым увеличивает объем экструдата.

Выводы

Влияние вакуумной экструзии на экструдаты из рисовой муки было определено и оптимизировано с помощью методологии поверхности отклика. Оптимизированными условиями были температура ствола экструдера 77,5°C, влажность сырья 32,5%, скорость вращения шнека 350 об/мин и уровень вакуума 40 кПа. Экструзия с использованием вакуума оказывает заметное влияние на коэффициент расширения по сравнению с обычной экструзией. Таким образом, можно сделать вывод, что вакуумная экструзия является эффективным способом получения расширенных экструдатов из риса при низкой температуре, содержащих значительное количество фенольных соединений.

Литература

- [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] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д.И. Фролов [и др.] // Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 134–143.
- [3] Теоретическое обоснование термовакуумного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 15–20.

References

- [1] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Determination of the main parameters of the vacuum chamber of the modernized extruder // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015. No. 4 (32). pp. 172–177.
- [2] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D.I. Frolov [and others] // Niva of the Volga region. 2019. No. 2 (51). pp. 134–143.
- [3] Theoretical substantiation of the thermal vacuum effect in the working process of a modernized extruder / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2015. No. 3. P. 15–20.

- [4] Alam M.S., Pathania S., Sharma A. Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings // LWT. 2016. Vol. 74. P. 135–144.
- [5] Ali S., Singh B., Sharma S. Response surface analysis and extrusion process optimisation of maize–mungbean-based instant weaning food // International Journal of Food Science & Technology. 2016. Vol. 51. № 10. P. 2301–2312.
- [6] Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend / A. Suksomboon [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. 2011. Vol. 46. № 1. P. 201–208.
- [7] Jan R., Saxena D.C., Singh S. Effect of extrusion variables on antioxidant activity, total phenolic content and dietary fibre content of gluten-free extrudate from germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour // International Journal of Food Science & Technology. 2017. Vol. 52. № 12. P. 2623–2630.
- [4] Alam M.S., Pathania S., Sharma A. Optimization of the extrusion process for development of high fiber soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings // LWT. 2016. Vol. 74. P. 135–144.
- [5] Ali S., Singh B., Sharma S. Response surface analysis and extrusion process optimisation of maize–mungbean-based instant weaning food // International Journal of Food Science & Technology. 2016. Vol. 51. No. 10. P. 2301–2312.
- [6] Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend / A. Suksomboon [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. 2011 Vol. 46. No. 1. P. 201–208.
- [7] Jan R., Saxena D.C., Singh S. Effect of extrusion variables on antioxidant activity, total phenolic content and dietary fiber content of gluten-free extrudate from germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour // International Journal of Food Science & Technology. 2017 Vol. 52. No. 12. P. 2623–2630.

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>Рыжова Алина Александровна студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Ryzhova Alina Alexandrovna student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>