

1. Александрова, Е. Г. Влияние вида и способа внесения органических добавок на продуктивность грибов шампиньона // Перспективы развития науки : сб. статей научн.-практ. конф. – Уфа : РИЦБашГУ, 2014. – С. 66-69.
2. Алексеенко, Е. Н. Пищевая, лечебная и экологическая ценность грибов *Pleurotostreatus* / Е. Н. Алексеенко, Т. М. Полишко, А. И. Винников // Вестник Днепропетровского университета. – Днепропетровск : Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, 2010. – №18-1. – С. 3-9.
3. Дулов, М. И. Технология культивирования грибов вешенка обыкновенная (*Pleurotostreatus*) методом пастеризации-ферментации в термической камере в условиях грибоводческих хозяйств Поволжья : рекомендации / М. И. Дулов, Е. В. Вялая. – Самара : РИЦСГСХА, 2013. – 74 с.
4. Дулов, М. И. Совершенствование технологии культивирования грибов вешенка на основе приготовления субстрата методом пастеризации-ферментации в термической камере / М. И. Дулов, Е. В. Вялая // Нива Поволжья. – 2011. – №2 (19). – С. 17-21.
5. Закутнова, В. И. Химический состав шляпок и ножек различных видов съедобных грибов долины Нижней Волги / В. И. Закутнова, А. В. Левченко, Е. Б. Закутнова // Астраханский вестник экологического образования. – Астрахань : Нижневолжский экоцентр, 2015. – №1 (31). – С. 72-75.
6. Кузнецова, О. В. Использование природных и синтетических рострегуляторов растений в промышленной микологии и солодоращении // Вестник Днепропетровского университета. – Днепропетровск : Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, 2010. – №18-1. – С. 86-91.
7. Михайлова, Л. И. Как увеличить урожайность второй волны плодоношения // Школа грибоводства. – 2010. – №6 (66). – С. 6-10.
8. Нурметов, Р. Д. Выращивание шампиньона и вешенки : руководство / Р. Д. Нурметов, Н. Л. Девочкина // Россельхозакадемия, ГНУ ВНИИО. – М., 2010. – 32 с.

УДК664.769

ПОЛИКОМПОНЕНТНЫЙ ЭКСТРУДАТ НА ОСНОВЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И СЕМЯН РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440072, г. Пенза, ул. Антонова, 26.

E-mail: surr@bk.ru

Ключевые слова: экструдат, пшеница, расторопша, пятнистая, вакуумная, камера, коэффициент.

Цель исследований – обосновать технологические параметры экструзионного процесса и оценить их влияние на получение поликомпонентного экструдата из смеси зерна пшеницы и семян расторопши. Эксперименты выполнялись с помощью одношнекового пресс-экструдера, модернизированного согласно патенту №2561934 RU на изобретение «Экструдер с вакуумной камерой». Объект исследования – смесь зерна пшеницы влажностью 14% и семян расторопши с содержанием воды 22%. Применяемое в исследованиях зерно пшеницы сорта Саратовская 36 характеризовалось следующими показателями: масса 1000 семян равнялась 34,2 г; содержание крахмала, белка, клетчатки и липидов составляло соответственно 52,6; 12,4; 10,2 и 2,2%. Масса 1000 семян расторопши пятнистой сорта Дебют равнялась 26,8 г; содержание липидов, белка и клетчатки в семенах составляло соответственно 24,8; 22,3 и 33,0%. Соотношение семян расторопши и зерна пшеницы в экспериментах варьировалось таким образом, чтобы получить экструдат с содержанием липидов в количестве 13,5-4,5%. Смесь целых зерен пшеницы и семян расторопши пятнистой экструдировали в течение 15-20 с при температуре 100-105 °С с последующим воздействием на выходящий из фильеры матрицы экструдера продукт атмосферным или пониженным давлением воздуха в специальной камере машины. Частота вращения шнека пресса-экструдера составляла 7,5 с⁻¹, диаметр фильеры матрицы – 4 мм. Эксперимент проводился в трехкратной повторности. Статистическая обработка экспериментальных данных, выполненная с помощью корреляционно-регрессионного анализа в среде Microsoft Excel 2010 и Statistica 10, позволила получить математическую модель второго порядка, адекватно описывающую зависимость индекса расширения экструдатов (коэффициента взрыва) от исследуемых факторов. Анализ результатов проведенных исследований показывает, что при влажности перерабатываемой смеси пшеницы и расторопши пятнистой 18-21% пористые экструдаты с коэффициентом взрыва выше 1 в условиях атмосферного давления можно получить лишь в том случае, если применять сырье с содержанием липидов не больше 13,5%. Приемлемое значение коэффициента взрыва экструдатов (3,0-3,5) при переработке сырья с содержанием липидов выше 7% обеспечивается за счет создания в специальной камере экструдера давления воздуха ниже атмосферного.

Уникальные возможности термопластической экструзии в пищевых технологиях связаны в первую очередь с широким выбором обрабатываемых компонентов сырья – полисахаридов, белков, смеси белков, смеси белков с полисахаридами. В настоящее время большинство вопросов, связанных с преобразованиями этих компонентов под действием наиболее значимых факторов экструзионного процесса изучено достаточно хорошо [1, 2, 3, 9].

Следующей по сложности задачей получения экструдатов с теми или иными свойствами является переработка углеводно-белково-липидного сырья, решение которой связано не только с учетом особенностей поведения различных видов липидов в условиях экструзии, но и их влиянием на качество получаемого экструдата и рабочего процесса экструдера.

В экструдере липиды переходят в жидкое состояние при температуре около 40°C, диспергируются в виде мельчайших капель и смешиваются с другими компонентами сырья. Наличие липидов в количествах меньших, чем 3% не влияет на коэффициент расширения получаемого экструдата, однако в количествах 5% и выше приводит к резкому снижению данного показателя.

Объясняется это тем, что липиды снижают давление, развиваемое рабочим органом экструдера (в первую очередь одношнекового) со всеми вытекающими из этого факта последствиями.

Широкое применение экструзионной технологии при переработке полножирной сои и других видов подобного сырья показало, что содержание жира в перерабатываемом сырье и его влажность согласованно влияют на величину трения частиц экструдированного материала между собой, а также шнеком экструдера и в конечном итоге – на величину сил диссипации и давления сырья на выходе из машины [4, 10].

Наиболее сложной технологической задачей получения экструдатов с максимально возможным числом значимых для обогащения пищевых продуктов компонентов является переработка сырья, содержащего в достаточно больших количествах полисахариды, белки, жиры и пищевые волокна. Последние существенно ограничивают активность крахмала как инициатора процесса порообразования и соперничают с компонентами сырья за взаимодействие с водой.

В качестве примера таких поликомпонентных улучшителей хлебобулочных и кондитерских изделий можно назвать экструдаты смеси зерна пшеницы и семян рапса, а также смеси зерна пшеницы и семян тыквы с оболочкой.

Исследования, связанные с оптимизацией технологического процесса получения улучшителей хлебобулочных и кондитерских изделий на основе рапса пятнистой и семян тыквы, свидетельствуют о существенном влиянии на величину индекса расширения экструдатов давления воздуха в вакуумной камере экструдера. За счет изменения давления в вакуумной камере экструдера можно оказывать воздействие, как на влажность, так и на индекс расширения получаемых экструдатов, а также управлять интенсивностью формирования их пористой структуры [5, 6, 7].

Цель исследований – обосновать технологические параметры экструзионного процесса и оценить их влияние на получение поликомпонентного экструдата из смеси зерна пшеницы и семян рапса.

Задачи исследований – определить рациональное значение факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество экструдата смеси зерна пшеницы и семян рапса.

Материалы и методы исследований. Эксперименты выполнялись с помощью одношнекового пресс-экструдера, модернизированного согласно патенту №2561934 RU на изобретение «Экструдер с вакуумной камерой» [8]. Объект исследования – смесь зерна пшеницы влажностью 14% и семян рапса с содержанием воды 22%.

Применяемое в исследованиях зерно пшеницы сорта Саратовская 36 характеризовалось следующими показателями: масса 1000 семян равнялась 34,2 г; содержание полисахаридов (крахмал + гемицеллюлоза + клетчатка), белка и липидов составляло соответственно 62,8 (52,6 + 7,6 + 2,6); 12,4; и 2,2%.

Масса 1000 семян рапса пятнистой сорта Дебют равнялась 26,8 г; содержание липидов, белка и клетчатки в семенах составляло соответственно 24,8; 22,3 и 33,0%.

Соотношение семян рапса и зерна пшеницы в экспериментах варьировалось таким образом, чтобы получить экструдат с содержанием липидов в количестве 13,5-4,5%.

Влажность зерна пшеницы и семян рапса, а также их соотношение в смеси принято на основании ранее проведенных исследований [2, 3, 4, 5].

Частота вращения шнека пресса-экструдера составляла 7,5 с⁻¹, диаметр фильеры матрицы экструдера – 4 мм.

В качестве исследуемых были выбраны следующие факторы: расчетное содержание липидов в экструдированной смеси – X_1 (%), давление воздуха в вакуумной камере экструдера, МПа – X_2 (%).

За критерий качества полученного поликомпонентного экструдата был принят его индекс расширения (коэффициент взрыва) – В (безразмерная величина).

Смесь целых зерен пшеницы и семян расторопши пятнистой экструдировали в течение 15-20 с при температуре 100-105 °С с последующим воздействием на выходящий из фильеры матрицы экструдера продукт атмосферным или пониженным давлением. Эксперимент проводился в трехкратной повторности.

В таблице 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Таблица 1

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Расчетное содержание липидов в экструдированной смеси, %	X ₁	4,5	9,0	13,5	4,5
Давление воздуха в вакуумной камере экструдера, МПа	X ₂	0,05	0,075	0,1	0,025

Матрица планирования и результаты эксперимента для смеси зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой представлены в таблице 2.

Таблица 2

№ опыта	Кодированные факторы		Натуральные факторы		Индекс расширения
	X ₁	X ₂	x ₁	x ₂	
1	-1	-1	4,5	0,05	4,0
2	+1	-1	13,5	0,05	1,8
3	-1	+1	4,5	0,1	3,4
4	+1	+1	13,5	0,1	1,0
5	-1	0	4,5	0,075	3,6
6	+1	0	13,5	0,075	1,9
7	0	-1	9,0	0,05	3,0
8	0	+1	9,0	0,1	2,4

Результаты исследований. Статистическая обработка экспериментальных данных была выполнена с помощью корреляционно-регрессионного анализа в среде Microsoft Excel 2010 и Statistica 10, в результате чего была получена адекватная математическая модель второго порядка (1), описывающая зависимость коэффициента взрыва (В) от содержания липидов в смеси зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой (x₁), и величины давления на выходе экструдата (x₂)

$$B = 3,3 - 0,067x_1 - 0,007x_1^2 + 38,667x_2 - 320,0x_2^2 - 0,444x_1x_2 \quad (1)$$

Статистическая надежность полученной модели оценивалась с помощью критерия Фишера, который позволяет проверить нулевую гипотезу о статистической незначимости параметров построенного регрессионного уравнения и показателя тесноты связи. Фактическое значение F-критерия Фишера для полученного уравнения регрессии F_p=23,855. Табличное значение F-критерия (F_т) по заданному уровню значимости (α = 0,05) и числу степеней свободы (в пакете Statistica: сс модели = 5, сс остаток = 2) равно F_т=19,30. Поскольку F_p>F_т, то нулевая гипотеза отвергается и регрессионное уравнение с его параметрами признается статистически значимым. Качественные показатели полученной математической модели следующие: множественный коэффициент корреляции R = 0,99; коэффициент детерминации R² = 0,98; статистическая значимость составляет p<0,04.

Анализируя полученное уравнение (1) видно, что фактор x₂ – давление воздуха в вакуумной камере экструдера в исследуемых интервалах значений факторов оказывает наибольшее влияние на критерий оптимизации. Также преобладает и его квадратичный эффект.

Для изучения свойств поверхности отклика в окрестностях оптимума выполнено каноническое преобразование полученной математической модели.

Анализ поверхности отклика, проведенный с помощью двумерных сечений, показал, что индекс расширения экструдатов зависит от давления воздуха в вакуумной камере экструдера и содержания липидов в экструдированной смеси.

Графическая интерпретация данного уравнения представлена на рисунке 1 (цифры показывают числовые значения коэффициента взрыва в отмеченных областях поверхности отклика).

Анализ полученных результатов показывает, что при влажности экструдированной смеси пшеницы и расторопши пятнистой 18-21%, коэффициент взрыва экструдата выше 1 можно получить в условиях атмосферного давления в вакуумной камере экструдера при переработке сырья с содержанием липидов не больше 13,5%. Приемлемое значение коэффициента взрыва (3,0-3,5) при переработке сырья с содержанием ли-

пидов выше 7% можно получить лишь при давлении воздуха в вакуумной камере экструдера ниже атмосферного.

Уравнение, описывающее зависимость изменения индекса расширения экструдатов (коэффициента взрыва) (B) в зависимости содержания липидов в экструдруемой смеси (x_1), можно представить в следующем виде

$$B = 4,467 - 0,159x_1 - 0,004x_1^2 \quad (2)$$

Анализ уравнения (2) показывает, что с уменьшением содержания липидов в экструдруемой смеси коэффициент взрыва при прочих равных условиях достаточно заметно возрастает.

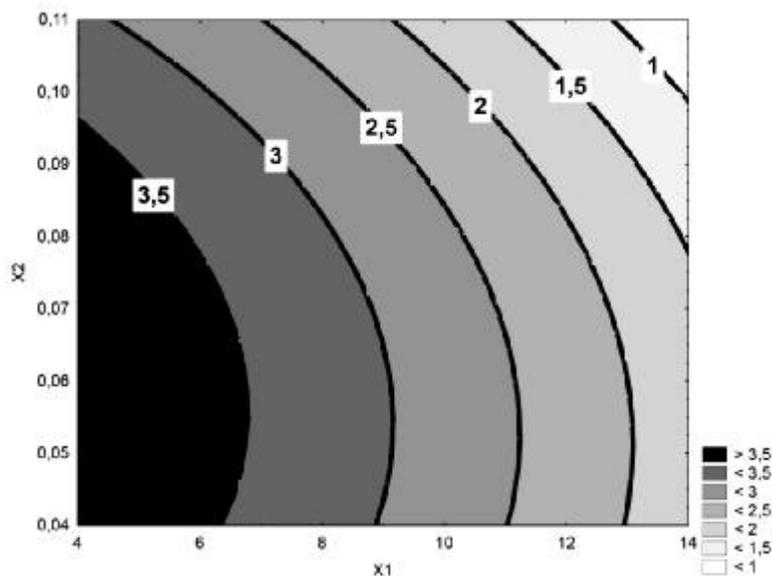


Рис. 1. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента взрыва от содержания липидов в экструдруемой смеси (X_1) и давления воздуха в вакуумной камере экструдера (X_2)

Для демонстрации наличия корреляции между двумя переменными на рисунке 2 показана диаграмма рассеяния с ошибками, графически выражающая зависимость (2) индекса расширения экструдатов (B) от содержания липидов в экструдруемой смеси (x_1). Как видно из графика, экспериментальные данные демонстрируют сильную отрицательную корреляцию.

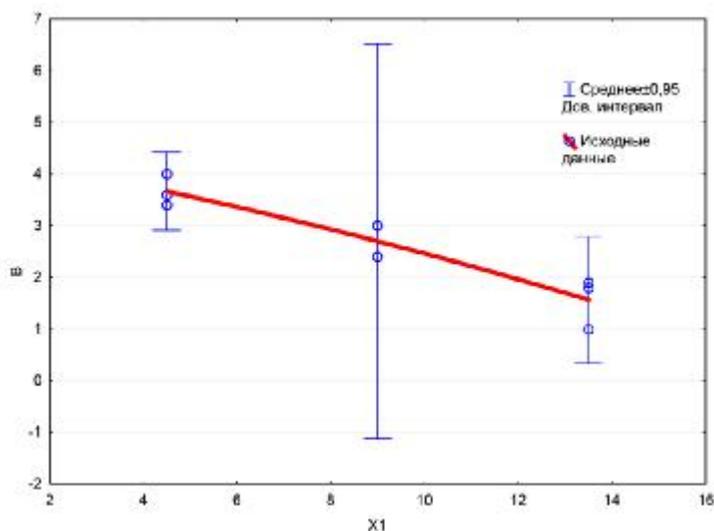


Рис. 2. Диаграмма рассеяния с ошибками для B и X_1

Аналитически зависимость коэффициента взрыва экструдата (В) от давления воздуха в вакуумной камере экструдера (x_2) можно представить в виде уравнения (3), графическая интерпретация которого приведена на рисунке 3.

$$B = 2,4 + 22,667x_2 - 240x_2^2 \quad (3)$$

Анализ уравнения (3) показывает, что с уменьшением давления в вакуумной камере экструдера коэффициент взрыва при прочих равных условиях не очень сильно, но возрастает.

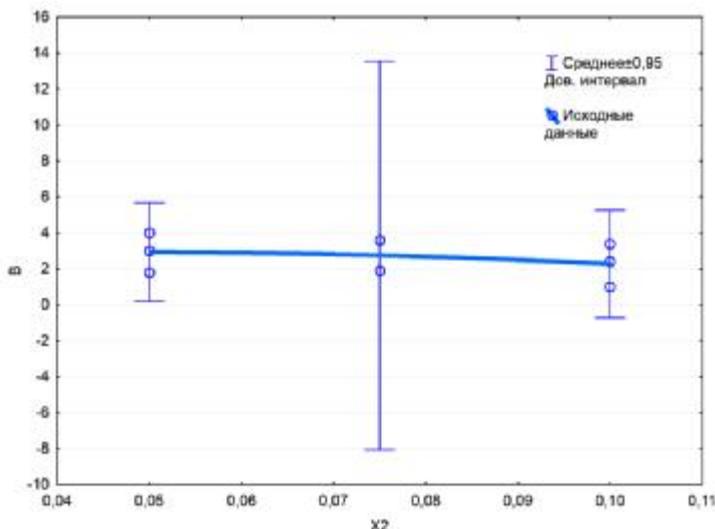


Рис. 3. Диаграмма рассеяния с ошибками для B и x_2

Уравнения, характеризующие связь индекса расширения экструдатов (B_{100} – при давлении в вакуумной камере 100 кПа и B_{50} – соответственно 50 кПа) и содержания липидов в экструдированной смеси зерна пшеницы и семян рапса, можно представить в следующем виде:

$$B_{50} = 4,8 - 0,156x_1 - 0,005x_1^2 \quad (4)$$

$$B_{100} = 4 - 0,089x_1 - 0,009x_1^2 \quad (5)$$

Графики, характеризующие изменение индекса расширения экструдатов (коэффициента взрыва В) в зависимости от содержания липидов в экструдированной смеси при давлении в вакуумной камере экструдера соответственно 100 и 50 кПа, представлены на рисунке 4.

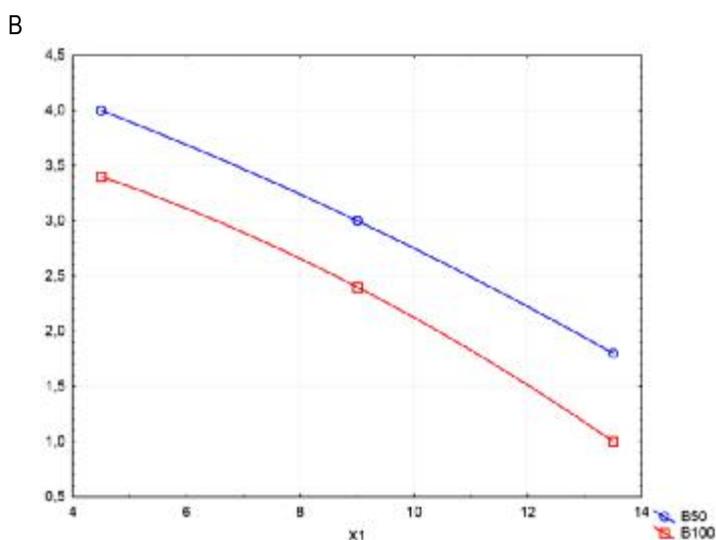


Рис. 4. Изменение индекса расширения экструдатов в зависимости от содержания липидов в экструдированной смеси зерна пшеницы и семян рапса при давлении в вакуумной камере 50 и 100 кПа

Как свидетельствуют приведенные графические зависимости, при содержании липидов в экструдированной смеси пшеницы и расторопши более 13,5% пористый экструдат с помощью серийного экструдера получить невозможно. Для решения этой проблемы в машине на выходе из фильеры матрицы экструдата необходимо устанавливать специальную камеру и поддерживать в ней давление воздуха ниже атмосферного.

В качестве подтверждения приведенных доводов могут служить образцы экструдатов (рис. 5), полученные с применением серийного экструдера (2) и машины, оснащенной вакуумной камерой (1, 3 и 4).



Рис. 5. Образцы экструдатов:

1 – из цельного зерна пшеницы; 2 – 50% пшеницы + 50% семян расторопши;
3 – 80% пшеницы + 20% семян тыквы с оболочкой; 4 – 80% пшеницы + 20% семян расторопши

Заключение. При влажности перерабатываемой смеси пшеницы и расторопши пятнистой 18-21%, пористые экструдаты с коэффициентом взрыва выше 1 в условиях атмосферного давления можно получить лишь в том случае, если использовать сырье с содержанием липидов не больше 13,5%. Приемлемое значение коэффициента взрыва экструдатов (3,0-3,5) при переработке сырья с содержанием липидов выше 7% обеспечивается за счет создания в специальной камере экструдера давления воздуха ниже атмосферного.

Библиографический список

1. Карпов, В. Г. Разработка новых видов крахмалопродуктов экструзионным способом : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.05 / Карпов Владимир Георгиевич. – М., 2000. – 48 с.
2. Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – №4. – С. 86-91.
3. Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской ГСХА. – 2013. – №4. – С. 94-99.
4. Курочкин, А. А. Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Нива Поволжья. – 2014. – №30. – С. 70-76.
5. Курочкин, А. А. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской ГСХА. – 2014. – №4. – С. 70-74.
6. Курочкин, А. А. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью // А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – №6 (22). – С. 109-114.
7. Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской ГСХА. – 2015. – №3. – С. 14-20.
8. Пат. 2561934 Российская Федерация, МПКА23Р 1/12, В29С 47/38. Экструдер с вакуумной камерой / Шабурова Г. В., Воронина П. К., Шабнов Р. В. [и др.]. – №2014125348/13 ; заявл. 23.06.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. №25. – 7 с.
9. Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование / под ред. А. Н. Богатырева, В. П. Юрьева. – М. : Ступень, 1994. – 200 с.
10. Steel, C.J. Thermoplastic Extrusion in Food Processing / C. J. Steel, M.G.VernazaLeoro, M. Schmiele [et al.] // Thermoplastic Elastomers. – Tech, 2012. – P. 265-290.

УДК 664661.2

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Алексеева Маргарита Михайловна, доцент кафедры «Технология производства и экспертиза продуктов из растительного сырья», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Товарная, 5.

E-mail: dulov-textfak@mail.ru

Волкова Алла Викторовна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Технология производства и экспертиза продуктов из растительного сырья», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Товарная, 5.

E-mail: avvolkova76@rambler.ru