УДК 664.769

ЭКСТРУДАТЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛИПИДОВ И ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

А.А. Курочкин*, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11

**e-mail: anatolii_kuro@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 15.04.2016
Дата принятия в печать: 10.06.2016

Применение в качестве функциональной добавки к мучным кондитерским и хлебобулочным изделиям композитов, полученных путем экструдирования смеси растительного сырья с высоким содержанием крахмала, липидов, белка и пищевых волокон, весьма актуально. Между тем получение качественных экструдатов из сырья с таким составом на серийно выпускаемом оборудовании не представляется возможным из-за неустойчивого характера протекания экструзионного процесса. В статье на основе изучения реакции капиллярно-пористых экструдатов на среду с пониженным давлением воздуха обоснован один из актуальных векторов развития термопластической экструзии многокомпонентного растительного сырья. Его научная концепция заключается в том, что влажность сырья и содержание в нем липидов существенно влияет на интенсивность «декомпрессионного взрыва» экструдата при выходе из фильеры машины. Приемлемое значение пористости экструдатов при переработке сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон обеспечивается за счет создания в специальной камере экструдера давления воздуха ниже атмосферного. В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что на пористость экструдата с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон определяющее влияние оказывает содержание основного ингредиента экструдируемой смеси (расторопши пятнистой) и содержание в нем массовой доли влаги. Для получения поликомпонентного экструдата на основе семян расторопши пятнистой в качестве наполнителя следует использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14 %, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры. При этом условии наиболее высокую пористость экструдата можно получить при содержании в нем не более 25 % расторопши пятнистой с массовой долей влаги 24–28 %.

Экструдат, липиды, пищевые волокна, пшеница, расторопша пятнистая, пористость

Введение

Широкое применение методов термопластической экструзии в пищевых технологиях объясняется в первую очередь возможностью эффективного воздействия на полисахариды и белки обрабатываемого сырья. В настоящее время практически все вопросы, связанные с преобразованиями этих ингредиентов, входящих в состав сырья растительного происхождения, изучены достаточно хорошо. Выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на этот процесс, а также обоснованы их рациональные численные значения [1, 2, 12–17].

Следующей по сложности задачей получения экструдатов с планируемыми свойствами является переработка углеводно-белково-липидного сырья. Решение этой задачи осложняется своеобразным поведением липидов в экструзионном процессе, когда при выходе их количества за определенные границы диссипативная система экструдера, преобразующая механическую энергию его рабочих органов в тепловую, функционирует в неустойчивом режиме. Иными словами, повышенное содержание липидов в перерабатываемом сырье отрицательно влияет на силы трения частиц экструдируемого материала между собой, а также с рабочими органами экструдера и в конечном итоге – на температуру и давление экструдата на выходе из машины. Как правило, это угнетает процесс порообразования и не позволяет получать экструдаты с высокими значениями коэффициента расширения [3, 10, 11].

Еще более сложные технические и технологические проблемы необходимо решать в процессе переработки сырья, содержащего, кроме указанных ингредиентов, растворимые (пектин, камеди, слизи) и нерастворимые пищевые волокна (клетчатка, лигнин). Некоторые виды такого сырья обладают уникальными свойствами, имея в своем составе относительно много белков, липидов и пищевых волокон и относительно мало – углеводов. К такому сырью можно отнести семена расторопши пятнистой, тыквы (с оболочкой), льна, кунжута и др.

Известно, что при высоком содержании клетчатки в сырье активность крахмала как инициатора процесса порообразования в экструдатах падает. С другой стороны, применение экструдатов, получаемых из растительного крахмалсодержащего сырья, свидетельствует о существенном влиянии их пористости на набухаемость, водо- и жироудерживающую способность, растворимость, коэффициент расширения, а также текстуру и усвояемость готовых продуктов. Эти свойства экструдатов в определяющей степени зависят от содержания крахмала и массовой доли влаги в сырье. Учитывая, что клетчатка в процессе экструзионной обработки весьма

успешно соперничает с остальными компонентами сырья за взаимодействие с водой, логично предположить существенное ухудшение процесса порообразования при обработке сырья с повышенным содержанием пищевых волокон [5, 7, 18].

Теоретические и экспериментальные исследования реакции капиллярно-пористых экструдатов на среду с пониженным давлением воздуха позволили авторам статьи обосновать научную концепцию, на основе которой можно устранить или существенно нивелировать недостатки, свойственные технологии экструдирования растительного поликомпонентного сырья [6, 8]. Концепция предполагает учитывать следующие положения.

1. Оптимизация процесса экструдирования растительного сырья с повышенным содержанием липидов и клетчатки возможна за счет его переработки в смеси с ингредиентами с высоким содержанием углеводов.

2. На качество получаемого экструдата влияет не только массовая доля влаги в обрабатываемой смеси, но и данный показатель для каждого ингредиента, входящего в состав смеси.

3. При производстве экструдатов с повышенным содержанием липидов температура нагрева обрабатываемого сырья не должна быть выше 100–105 °С, а полученный продукт желательно охладить и высушить до содержания массовой влаги не более 6–7 % сразу же после выхода из фильеры матрицы экструдера.

4. 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.

Целью работы является обоснование основных технологических параметров и оценка степени их влияния на процесс получения экструдатов из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон.

Объекты и методы исследований

Экспериментальные исследования выполнялись с помощью одношнекового пресс-экструдера, модернизированного согласно патенту на изобретение № 2561934 «Экструдер с вакуумной камерой» [9].

Объект исследования – смесь неизмельченных зерен пшеницы и семян расторопши пятнистой, которую подвергали экструдированию в течение 15–20 с при температуре 100–105 °С с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера сырье пониженным давлением, равным 0,05 МПа. Частота вращения шнека пресс-экструдера составляла 7,5 $с^{-1}$, диаметр фильеры матрицы экструдера – 4 мм. На выходе из фильеры матрицы машины экструдат разрезался на частицы длиной 0,5–0,8 мм.

Применяемое в исследованиях зерно пшеницы сорта Саратовская 36 характеризовалось следующими показателями: масса 1000 семян равнялась 34,2 г; количество 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 расторопши пятнистой сорта Дебют равнялась 26,8 г; содержание липидов, белка и клетчатки в семенах составляло соответственно 24,8; 22,3 и 33,0 %.

В качестве исследуемых были выбраны следующие факторы: содержание семян расторопши пятнистой в экструдируемой смеси – М (%), массовая доля влаги в зерне пшеницы – В1 (%) и массовая доля влаги в семенах расторопши пятнистой – В2 (%). За критерий качества полученного экструдата была принята его пористость П (%).

Ранее проведенные исследования позволили установить, что для получения экструдата расторопши пятнистой с приемлемым коэффициентом взрыва (3,5–4,0) в качестве наполнителя можно использовать пшеницу с влажностью 14–15 % в количестве 75–80 % к экструдируемой массе. При этом влажность экструдируемой расторопши необходимо поддерживать в пределах 22–24 % [4].

С учетом этих рекомендаций программа эксперимента была реализована с помощью центрального композиционного униформ-ротатабельного планирования, состоящего из трех уровней: факторного плана типа 2^3, составляющего «ядро» центрального композиционного плана; звездных точек на осях факторного пространства, а также дополняющих опытов в центре плана. Это позволило более детально изучить значения факторов, близких к рациональным, полученных в предыдущих исследованиях. Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Методика определения пористости получаемых экструдатов заключается в следующем: образцы экструдата длиной 10 мм покрывались водостойким лаком и после высыхания помещались в цилиндр с водой. С учетом массы вытесненной из цилиндра воды определялся объем образца экструдата с порами. Затем образец экструдата подвергался сжатию с помощью ручных тисков, после чего также замерялся его объем. Пористость экструдата (%) определялась по формуле

$$П = \left(1 - \frac{V_б}{V_п}\right) \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где $V_п$ – объем экструдата с порами, $мм^3$; $V_б$ – объем экструдата после сжатия образца, $мм^3$.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента

Система опытов	№ опыта	Кодированные факторы			Натуральные факторы			Пористость (П)
		X_1	X_2	X_3	М	В1	В2	
Полный факторный эксперимент типа 2^3	1	-1	-1	-1	20,00	12,00	20,00	64,0
	2	-1	-1	+1	20,00	12,00	28,00	68,7
	3	-1	+1	-1	20,00	16,00	20,00	64,0
	4	-1	+1	+1	20,00	16,00	28,00	78,6
	5	+1	-1	-1	30,00	12,00	20,00	62,2
	6	+1	-1	+1	30,00	12,00	28,00	67,5
	7	+1	+1	-1	30,00	16,00	20,00	70,1
	8	+1	+1	+1	30,00	16,00	28,00	80,2
Опыты в «звездных» точках	9	-1,68	0	0	16,59	14,00	24,00	67,5
	10	+1,68	0	0	33,41	14,00	24,00	70,3
	11	0	-1,68	0	25,00	10,64	24,00	60,0
	12	0	+1,68	0	25,00	17,36	24,00	65,5
	13	0	0	-1,68	25,00	14,00	17,27	62,0
	14	0	0	+1,68	25,00	14,00	30,73	77,4
Опыты в центре плана	15	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,8
	16	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,5
	17	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,6
	18	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,9
	19	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,5
	20	0	0	0	25,00	14,00	24,00	76,7

Результаты и их обсуждение

Реализация эксперимента и обработка полученных результатов позволили получить математическую модель второго порядка (2), описывающую зависимость пористости получаемого экструдата (П) от содержания семян расторопши пятнистой в экструдируемой смеси (М), а также массовой доли влаги в перерабатываемом зерне пшеницы (В1) и семенах расторопши пятнистой (В2):

$$П = -196{,}2+3{,}1287\times М-0{,}0856\times М^2+22{,}794\times В1-1{,}078\times В1^2+4{,}0722\times В2-0{,}1160\times В2^2+0{,}1337\times М\times В1-0{,}0244\times М\times В2+0{,}2297\times В1\times В2 \quad (2)$$

Полученная модель характеризуется следующими показателями качества (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качества полученной модели

Множест. - R	**Множест. - R^2**	**SS - Модель**	**cc - Модель**	**MS - Модель**
0,971	0,943	768,853	9	85,428
SS - Остаток	**cc - Остаток**	**MS - Остаток**	**F**	**p**
45,886	10	4,5886	18,62	0,00004

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы по качеству полученной модели:

– множественный коэффициент корреляции R = 0,971 свидетельствует о весьма высокой силе связи между переменными (по шкале Чеддока);

– коэффициент детерминации R^2 = 0,943 позволяет утверждать, что в полученной модели 94,3 % изменчивости объясняется исследуемыми факторами (доля дисперсии зависимых переменных) и лишь 5,7 % – ошибками модели (доля необъясненной дисперсии);

– статистическая значимость составляет $p<0{,}00004$, что соответствует высокому уровню доверия к полученной модели.

Первичный анализ модели может быть проведен по следующему алгоритму.

1. Выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на параметр оптимизации, и оценка меры воздействия каждого из них на процесс формирования пористой структуры экструдата.

2. Проверка гипотезы о механизме взаимодействия факторов и возможном синергизме влияния факторов на параметр оптимизации.

Абсолютная величина коэффициентов при изучаемых факторах позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на пористость получаемого экструдата оказывает массовая доля влаги в зерне пшеницы, а наименьшее – количество расторопши пятнистой в экструдируемой смеси. При этом обращает на себя внимание то, что все коэффициенты при квадратичных значениях параметров имеют отрицательный знак. Это говорит о том, что исследуемые параметры влияют на параметр оптимизации криволинейно (параболически) с направлением ветвей, характерным для параболы с максимумом. В связи с этим, например, при увеличении массовой доли влаги в зерне пшеницы с 12 до 16 % пористость при прочих равных условиях имеет тенденцию к уменьшению, а увеличение массовой доли влаги в семенах расторопши пятнистой с

20 до 28 % способствует незначительному повышению пористости получаемого экструдата.

Следует особо отметить неоднозначное влияние количества семян расторопши пятнистой в экструдируемой смеси на пористость экструдата – с увеличением данного показателя с 20 до 30 % пористость незначительно возрастает, а при дальнейшем повышении до 40 % – снижается более чем на 25 %. Вероятно, некоторое увеличение пористости в первом интервале объясняется более высокой массовой долей влаги в экструдируемой смеси, которая за счет данного показателя для семян расторопши возрастает с 16 до 17 %. Снижение пористости экструдата при дальнейшем повышении количества семян расторопши пятнистой на фоне некоторого продолжающегося повышения массовой доли влаги в смеси, возможно, связано с отрицательной ролью липидов в этом процессе.

Для изучения свойств поверхности отклика в окрестностях оптимума выполнено каноническое преобразование полученной математической модели. Анализ поверхности отклика проводили с помощью двумерных сечений.

Уравнение (3), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания в экструдируемой смеси семян расторопши пятнистой (М) и массовой доли влаги в зерне пшеницы (В1), имеет вид

$$П = -153{,}1567 + 2{,}1751 \times М + 27{,}0162 \times В1 - 0{,}0782 \times М^2 + 0{,}1337 \times М \times В1 - 1{,}0323 \times В1^2 . \quad (3)$$

Графическая интерпретация данного уравнения представлена на рис. 1 (цифры показывают численные значения пористости экструдата в рассматриваемых областях поверхности отклика). Как видно из рисунка, область с высокими значениями пористости получаемого экструдата находится для первого фактора в интервале 23–30 %, для массовой доли влаги в зерне пшеницы – 14,0–15,5 %.

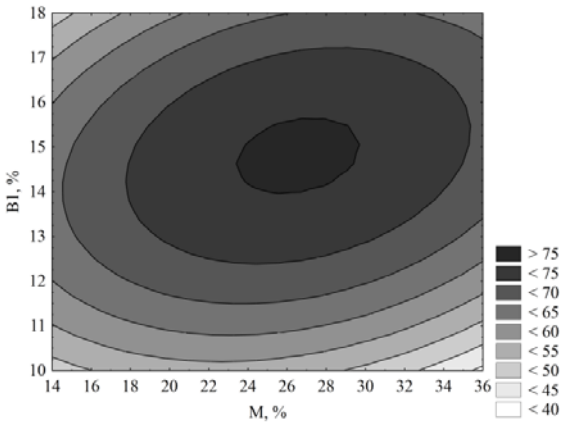

Рис. 1. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания в экструдируемой смеси семян расторопши пятнистой (М) и массовой доли влаги в зерне пшеницы (В1)

Уравнение (4), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания в экструдируемой смеси семян расторопши пятнистой (М) и массовой доли влаги в них (В2), имеет вид

$$П = -65{,}8325 + 4{,}1446 \times М + 6{,}0029 \times В2 - 0{,}0684 \times М^2 - 0{,}0244 \times М \times В2 - 0{,}0893 \times В2^2 . \quad (4)$$

Графический вид данного уравнения приведен на рис. 2.

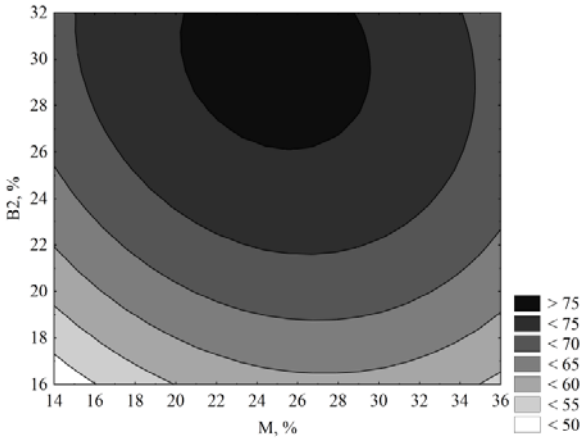

Рис. 2. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания в экструдируемой смеси семян расторопши пятнистой (М) и массовой доли влаги в них (В2)

Анализ уравнения (4) и поверхности отклика показывает, что пористость экструдата (П) увеличивается с возрастанием содержания в экструдируемой смеси семян расторопши пятнистой и массовой доли влаги в них.

Зона с оптимальной пористостью получаемых экструдатов находится для первого фактора в интервале 20–30 %, а для массовой доли влаги в семенах расторопши пятнистой – 26 % и выше.

Уравнение (5), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания массовой доли влаги в зерне пшеницы (В1) и семенах расторопши пятнистой (В2), имеет вид

$$П = -155{,}1388 + 24{,}6509 \times В1 + 2{,}8256 \times В2 - 1{,}0253 \times В1^2 + 0{,}2297 \times В1 \times В2 - 0{,}1027 \times В2^2 . \quad (5)$$

В графическом виде уравнение представлено на рис. 3.

Анализ уравнения (5) показывает, что пористость экструдата (П) существенно увеличивается при повышении влажности обрабатываемого сырья и имеет значение, близкое к максимальному, полученному в эксперименте (80,2 %) при содержании массовой влаги в зернах пшеницы 16 % и семенах расторопши пятнистой 28 %.

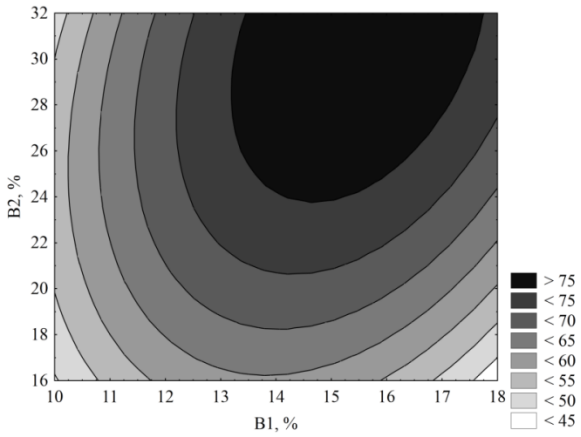

Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (П) от содержания массовой доли влаги в зерне пшеницы (В1) и семенах расторопши пятнистой (В2)

Результаты экспериментальных исследований показывают весьма важную в практическом плане закономерность: при одинаковой массовой доле влаги в экструдируемых ингредиентах и, тем более, если этот показатель для зерна пшеницы больше, чем для семян расторопши пятнистой, процесс экструдирования смеси значительно ухудшается, а пористость получаемого экструдата уменьшается. Возможным объяснением этого феномена может являться то, что в случае, когда в ингредиенте с высоким содержанием липидов также более высокое содержание массовой доли воды, градиенты перемещения воды и липидов совпадают по направлению и взаимно усиливаются.

В связи с этим было принято решение, что для получения поликомпонентного экструдата на основе семян расторопши пятнистой в качестве наполнителя следует использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14 %, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры. При этом массовая доля воды в расторопше пятнистой подбирается с таким расчетом, чтобы содержание массовой доли воды в экструдируемой смеси находилось в интервале 18–20 %.

Для изучения полученной модели при зафиксированной массовой доле влаги в зерне пшеницы В1 = 14 % (6) были построены графики зависимостей пористости П (%) от массовой доли влаги в семенах расторопши пятнистой – В2 (%) при ее содержании в экструдируемой смеси М = 20, 25, 30 и 35 % (рис. 4), которые подтверждают ранее сделанные выводы о весьма сложном характере взаимодействия ингредиентов экструдируемой смеси в зависимости от их соотношения и массовой доли влаги в каждом из них.

$$П = -196,2 + 3,1287 \cdot M - 0,0856 \cdot M^2 + 22,794 \cdot 14 - 1,078 \cdot 14^2 + 4,0722 \cdot B2 - \\ - 0,1160 \cdot B2^2 + 0,13375 \cdot M \cdot 14 - 0,0244 \cdot M \cdot B2 + 0,2297 \cdot 14 \cdot B2. \quad (6)$$

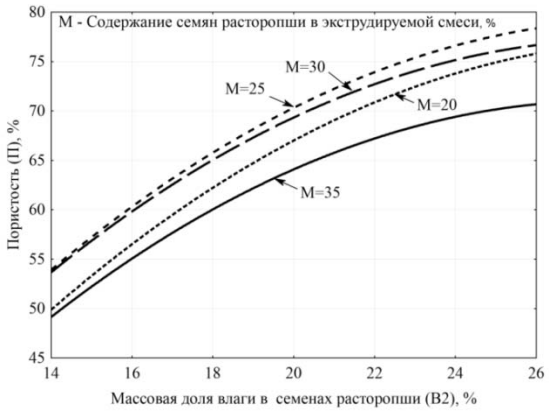

Рис. 4. Графики зависимостей пористости (П) от массовой доли влаги в семенах расторопши пятнистой (В2)

Как видно из графика, наиболее высокую пористость экструдата растительного сырья с высоким содержание липидов и пищевых волокон можно получить при содержании в нем 25 % расторопши пятнистой с массовой долей воды в ней 24–28 %.

С уменьшением содержания расторопши пятнистой до 20 % и ниже пористость экструдата существенно снижается из-за недостаточного количества воды в смеси (16–16,5 %).

При повышении содержания в экстудируемой смеси расторопши пятнистой до 35 % массовая доля влаги в сырье также возрастает и достигает 19 %. При этом одновременно в экструдируемой смеси возрастает массовая доля липидов и пищевых волокон, что в конечном итоге отрицательно влияет на экструзионный процесс и нивелирует положительный эффект от более высокого содержания воды в смеси.

Заключение

Таким образом, на пористость экстудата растительного сырья с высоким содержанием липидов и пищевых волокон определяющее влияние оказывает содержание основного ингредиента экструдируемой смеси и содержание в нем массовой доли влаги.

Для получения поликомпонентного экструдата на основе семян расторопши пятнистой в качестве наполнителя следует использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14 %, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры. При этом условии наиболее высокую пористость экструдата можно получить при содержании в нем 25 % расторопши пятнистой с массовой долей влаги 24–28 %.

Список литературы

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. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.В. Новиков, С.В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10). – С. 46-55.

3. 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. – № 06 (22). – С. 109–104.

4. 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.

5. 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.

6. Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов: монография / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова. – Пенза: Копи-Riso, 2015. – 182 с.

7. Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, В.М. Зимняков, А.Л. Мишанин, В.В. Новиков, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов. – Прага: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2015. – 185 с.

8. Пат. 2460315 Российская Федерация МПК[7] A23L1/00. Способ производства экструдатов / заявители: Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Авроров, П.А. Ерушов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА. – № 2011107960; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. – 6 с.

9. Пат. 2561934 Российская Федерация МПК[7] B29C47/12. Экструдер с вакуумной камерой / заявители: Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, Р.В. Шабнов, А.А. Курочкин, В.А. Авроров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ. – № 2014125348; заявл. 23.06.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. – 7 с.

10. Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование / под ред. А.Н. Богатырева, В.П. Юрьева. – М.: Ступень, 1994. – 200 с.

11. Технология экструзионных продуктов / А.Н. Остриков, Г.О. Магомедов, Н.М. Дерканосова, В.Н. Василенко, О.В. Абрамов, К.В. Платов. – СПб.: Проспект Науки, 2007. – 202 с.

12. Экструдированный ячмень как компонент функциональных пищевых продуктов / Г.В. Шабурова, Е.В. Петросова, Т.В. Шленская, А.А. Курочкин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 44–45.

13. Шабурова, Г.В. Повышение технологического потенциала несоложеных зернопродуктов / Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1 (32). – С. 90–96.

14. 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.

15. Altan, A. Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and beta-glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products /A. Altan, K. L. McCarthy, M. Maskan// International Journal of Food Science and Technology. – 2009. – Vol. 44. – № 6. – P. 1263-1271.

16. Leonard M.P. Rweyemamu Physical properties of extruded snacks enriched with soybean and moringa leaf powder/ Leonard M.P. Rweyemamu, AthumaniYusuph, Godwill D. Mrema// International Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 6(1). – P. 28-34.

17. Manjula B. Process optimisation of extruded breakfast cereal from rice mill brokens - finger millet - maize flour blends/ Manjula B and R. Visvanathan// International Journal of Food Science and NUTRITIONAL SCIENCES. – 2014. – Vol. 3. – P. 66–71.

18. Steel, C.J. Thermoplastic Extrusion in Food Processing / C. J. Steel, M.G. Vernaza Leoro, M. Schmiele [et al.] // Thermoplastic Elastomers. – Tech, 2012. – P. 265-290.

EXTRUDATES FROM VEGETABLE RAW MATERIALS WITH A HIGH LIPID AND FIBER CONTENT

A.A. Kurochkin*, P.K. Voronina, G.V. Shaburova, D.I. Frolov

Penza State Technological University,
1a/ 11, Baydukova travel/ Gagarin Str.,
Penza, 440039, Russia

e-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Received: 15.04.2016
Accepted: 10.06.2016

The application of composites obtained by extruding the vegetable raw materials with a high content of starch, lipids, proteins and dietary fibers as a functional additive to flour confectionery and bakery products is very important. Meanwhile to obtain high quality extrudates from the raw materials with such a composition on the commercially available equipment is impossible because of the unstable nature of the extrusion process. One of the important vectors of thermoplastic extrusion development of multicomponent

vegetable raw materials has been proved in this article based on the study of the reaction of capillary-porous extrudates on a medium with reduced air pressure. Its scientific concept is that the humidity of raw materials and lipid content significantly affect the intensity of "decompression explosion" of the extrudate leaving the spinneret of the machine. The acceptable value of extrudate porosity in the processing of raw materials with a high content of lipids and dietary fibers is achieved by creating the air pressure below atmospheric one in a special extruder chamber. The experiments conducted showed that the content of the main ingredient of the extruded mixture (milk thistle) and the moisture content of its mass fraction have a decisive influence on the extrudate porosity with a high content of lipids and dietary fibers. To receive a polycomponent extrudate based on milk thistle seeds as a filler one should use wheat grain with the moisture mass fraction of 14%, corresponding to basic conditions for this culture according to GOST P 52554-2006. Under this condition, the highest extrudate porosity can be obtained having not more than 25% of milk thistle with a mass fraction of moisture 24–28%.

Extrudates, lipids, dietary fiber, wheat, milk thistle, porosity

---

References

1. Karpov V.G. *Razrabotka novykh vidov krakhmaloproduktov ekstruzionnym sposobom. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [The development of new types of starch extrusion process. Cand. eng. sci. thesis]. Moscow, 2000. 48 p.

2. Kurochkin A.A., Shaburova G.V., Novikov V.V., Denisov S.V. Metodologicheskie aspekty teoreticheskikh issledovanii press-ekstruderov dlia obrabotki rastitel'nogo krakhmalsoderzhashchego syr'ia [Methodological aspects of theoretical research extrusion press for the processing of vegetable raw starch]. *KhKhI vek: itogi proshlogo i problemy nastoiashchego plius* [XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus], 2013, no. 06 (10), pp. 46–55.

3. Kurochkin A.A., Shaburova G.V., Frolov D.I. Poluchenie ekstrudatov krakhmalsoderzhashchego zernovogo syr'ia s zadannoi poristost'iu [The resulting extrudate starch grain material with predetermined porosity]. *KhKhI vek: itogi proshlogo i problemy nastoiashchego plius* [XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus], 2014, no. 06 (22), pp. 109–104.

4. Kurochkin A.A., Frolov D.I. Polikomponentnyi ekstrudat na osnove zerna pshenitsy i semian rastoropshi piatnistoi [Multicomponent extrudate on the basis of wheat and thistle seed]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Samara State Agricultural Academy Bulletin], 2015, no. 4, pp. 76–81.

5. Kurochkin A.A., Shaburova G.V., Frolov D.I., Voronina P.K. Funktsional'nyy kompozit na osnove ekstrudirovannoy smesi pshenitsy i semyan tykvy [Functional composite extruded mixture of wheat and pumpkin seeds]. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya* [Innovative machinery and technology], 2015, no. 2 (03), pp. 5–11.

6. Kurochkin A.A., Shaburova G.V., Voronina P.K. *Teoreticheskoe obosnovanie primeneniya ekstrudirovannogo syr'ya v tekhnologiyakh pishchevykh produktov* [The theoretical rationale for the use of the extruded raw material in technology]. Penza, Kopi-Riso Publ., 2015. 182 p.

7. Kurochkin A.A., Voronina P.K., Zimniakov V.M., Mishanin A.L., Novikov V.V., Shaburova G.V., Frolov D.I. *Nauchnoe obespechenie aktual'nogo napravleniya v razvitii pishchevoy termoplasticheskoy ekstruzii* [Scientific support of current trends in the development of food processing thermoplastic extrusion]. Praga, Vědecko vydavatelské centrum "Sociosféra-CZ", 2015. 181 p.

8. Shaburova G.V., Kurochkin A.A., Voronina P.K., Avrorov G.V., Erushov P.A. *Sposob proizvodstva ekstrudatov* [A method for producing extrudates]. Patent RF, no. 2460315, 2012.

9. Shaburova G.V., Voronina P.K., Shabnov R.V., Kurochkin A.A., Avrorov V.A. *Ekstruder s vakuumnoy kameroy* [Extruder with vacuum chamber]. Patent RF, no. 2561934, 2015.

10. Bogatyrev A.N., Iur'ev V.P. *Termoplasticheskaya ekstruziya: nauchnye osnovy, tekhnologiya, oborudovanie* [Thermoplastic Extrusion: the scientific basis of technology, equipment]. Moscow, Stupen' Publ., 1994. 200 p.

11. Ostrikov A.N., Magomedov G.O., Derkanosova N.M., Vasilenko V.N., Abramov O.V., Platov K.V. *Tekhnologiya ekstruzionnykh produktov* [The technology of extrusion products]. St. Petersburg, Prospekt Nauki Publ., 2007. 202 p.

12. Shaburova G.V., Petrosova E.V., Shlenskaia T.V., Kurochkin A.A. Ekstrudirovannyy yachmen' kak komponent funktsional'nykh pishchevykh produktov [Extruded barley as a component of functional foods]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2012, no. 10, pp. 44–45.

13. Shaburova G.V., Kurochkin A.A., Voronina P.K. Povyshenie tekhnologicheskogo potentsiala nesolozhenykh zernoproduktov [Increased technological capacity unmalted grain products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2014, vol. 1, no. 32, pp. 90–96.

14. Shaburova G.V., Voronina P.K., Kurochkin A.A., Frolov D.I. Perspektivy ispol'zovaniya ekstrudirovannoy grechikhi v pivovarenii i khlebopechenii [Prospects for the use of extruded buckwheat in brewing and baking]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Samara State Agricultural Academy Bulletin], 2014, no. 4, pp. 79–83.

15. Altan A., McCarthy K.L., Maskan M. Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and beta-glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, vol. 44, no. 6, pp. 1263–1271.

16. Leonard M.P. Rweyemamu, AthumaniYusuph, Godwill D. Mrema Rweyemamu Physical properties of extruded snacks enriched with soybean and moringa leaf powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 2015, vol. 6(1), pp. 28–34.

17. Manjula B., Visvanathan R. Process optimisation of extruded breakfast cereal from rice mill brokens - finger millet - maize flour blends. *International Journal of Food Science and Nutritional Sciences*, 2014, vol. 3, pp. 66–71.

18. Steel C.J., Vernaza Leoro M.G., Schmiele M., et al. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. *Thermoplastic Elastomers*, Tech, 2012, pp. 265–290.

Дополнительная информация / Additional Information

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. – Т. 42. – № 3. – С. 104–111.

Kurochkin A.A., Voronina P.K., Shaburova G.V., Frolov D.I. Extrudates from vegetable raw materials with a high lipid and fiber content. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 42, no. 3, pp. 104–111. (in Russ.).

Курочкин Анатолий Алексеевич
д-р техн. наук, профессор кафедры пищевых производств, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11,
e-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Воронина Полина Константиновна
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пищевых производств, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11,
e-mail: worolina89@mail.ru

Шабурова Галина Васильевна
канд. техн. наук, доцент кафедры пищевых производств, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11,
e-mail: shaburovs@mail.ru

Фролов Дмитрий Иванович
канд. техн. наук, доцент кафедры пищевых производств, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11,
e-mail: surr@bk.ru

Anatolii A. Kurochkin
Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Food Productions; Penza State Technological University, 1a/11, Baydukova travel/Gagarin Str., Penza, 440039, Russia,
e-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Polina K. Voronina
Cand.Sci.(Eng.), Senior Lecturer of the Department of Food Productions; Penza State Technological University, 1a/11, Baydukova travel/Gagarin Str., Penza, 440039, Russia,
e-mail: worolina89@mail.ru

Galina V. Shaburova
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Food Productions; Penza State Technological University, 1a/11, Baydukova travel/Gagarin Str., Penza, 440039, Russia,
e-mail: shaburovs@mail.ru

Dmitrii I. Frolov
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Food Productions; Penza State Technological University, 1a/11, Baydukova travel/Gagarin Str., Penza, 440039, Russia,
e-mail: surr@bk.ru