

## ОПТИМИЗАЦИЯ СМЕСЕЙ С СБАЛАНСИРОВАННЫМ БИОХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ И ВОЗМОЖНОСТЯМИ ДЛЯ ИХ ЭКСТРУЗИИ

Фролов Д. И.

Были изучены сочетания различного сырья (фасоль, пшеница и гречиха) для получения композиций с высоким содержанием белка и сбалансированного аминокислотного состава с использованием симплекс-решетчатых планов. В качестве целевых функций для оптимизации выступали: содержание белка, серосодержащие аминокислоты метионин и цистеин, лизин и триптофан. В ходе решения была получена оптимальная площадь сочетаний сырья в пищевых формулах с сбалансированным биохимическим составом. Оптимизированная троичная смесь, состоящая из 50% бобов, 40% пшеницы и 10% гречихи с различным содержанием влаги (16,22 и 28%) была экструдирована в одношнековом экструдере. Параметры экструзии были следующими: частота вращения шнека 160 оборотов в минуту, диаметр фильеры 3 мм, степень сжатия шнеком 2:1, температурный режим 100/140/160 °С. Полученные три вида экструдата, с различной исходной влажностью, оценивали по индексу расширения, индексу водопоглощения, индексу растворимости в воде и плотности, с целью выбора наилучшего варианта. Результаты показали, что при исходном содержании влаги 22% получен экструдат с хорошими физико-химическими характеристиками в целом, но необходимо провести еще несколько исследований по оптимизации в дальнейшем, чтобы подтвердить это.

**Ключевые слова:** фасоль, пшеница, гречиха, белок, аминокислоты, экструзия.

### Введение

Известно, что белки семян бобовых в значительной степени сбалансированы с точки зрения незаменимых аминокислот. Они богаты лизином, аргинином, а также лейцином. При этом серосодержащие аминокислоты (метионин и цистеин) являются детерминирующими аминокислотами. Содержание лизина и триптофана являются решающим фактором для пшеницы. Вот почему нехватка входящих незаменимых аминокислот в бобовых может быть компенсирована путем объединения их с зерновыми культурами.

Экструзионная обработка представляет собой современный, высокоэффективный метод, с доказанными техническими и экономическими преимуществами по переработке сырья [1–10]. Он используется в семенах бобовых культур, из-за того, что они не сильно увеличиваются при экструзии. В последние годы, при обогащении сырьевой базы и ассортимента происходит увеличение экструдированных пищевых продуктов, поэтому и их потребление также возрастает. Индекс расширения является важным параметром [11–18], определяющим процесс экструзии. Он характеризует структурно-механические изменения, которые происходят в результате обработки материала экструзией и может управляться путем изменения типа и состава компонентов, а также путем изменения условий процесса в экструдере [19–22].

В последнее время наблюдается возрастание

интереса к бобовым культурам, что с одной стороны связано с их питательной ценностью, а с другой с неиспользованными возможностями для создания новых продуктов с ними. Растущая популярность гречихи приведет к большему разнообразию ее как компонента в всевозможной продукции. Одним из возможных решений является экструзия гречихи, чтобы получать новые продукты, готовые к употреблению, такие как экструдированные чипсы и многие другие. Для получения таких экструдированных продуктов со сбалансированным биохимическим составом правильного подбора сырья и его соотношения не требуется. Новым в исследовании является сочетание бобовых с другими культурами растительного происхождения, что является целесообразным подходом для получения экструдатов с очень хорошими функциональными характеристиками [23, 24]. Основной гипотезой исследования является отсутствие данных в литературе по экструзионной обработке трехкомпонентной смеси из бобовых культур, пшеницы и гречихи.

**Целью исследования** является оптимизация составов с сбалансированным биохимическим составом и исследование возможности их экструзионной обработки.

### Объекты и методы исследований

В качестве образцов сырья были взяты пшеница и гречиха, а также семена фасоли. Состав и аминокислотный профиль для каждого из компонентов

Таблица 1 – Информация о составе компонентов, используемых для экструдирования

	фасоль	гречиха	пшеница
Белок	22,3	12,6	16,3
Метионин	1,1	0,19	1,75
Лизин	6,5	0,67	2,6
Цистеин	1,1	0,23	2,86
Триптофан	1,3	0,19	2,58

были получены из литературы, как показано в таблице 1.

Пшеницу, гречиху, и семена фасоли измельчали с помощью молотковой мельницы и пропускали через стандартные сита. Полученный размер частиц пшеницы, гречихи и бобов крупа был в диапазоне от 0,4–0,5 мм.

Фасоль, пшеницу и гречневую крупу смешивали в соотношении 50:40:10. Воду медленно добавляли к образцам для получения различного содержания влаги (16, 22 и 28%). Влажные компоненты были помещены храниться в запечатанных пластиковых пакетах в течение 12 часов в холодильнике при температуре 5°C. Образцы выдерживались в течение 2 ч при комнатной температуре перед экструзией. Они были экструдированы в одношнековом экструдере. Параметры экструзии были следующими: частота вращения шнека 160 оборотов в минуту, отверстие фильеры диаметром 3 мм, степень сжатия шнеком 2: 1, температурный режим 100/140/160°C. Полученные экструдаты сушили на воздухе при температуре окружающей среды в течение приблизительно недели. Индекс расширения экструдата, измеряли как отношение диаметра экструдата к головке экструдера. Диаметр экструдата определяли как среднее из 10 измерений с использованием штангенциркуля.

Плотность ( $\rho$ , г / см<sup>3</sup>) экструдатов определяли путем измерения веса и диаметра того же количества экструдатов (10 штук) одинаковой длины в каждой точке эксперимента. Образец взвешивали с использованием весов, в то время как его диаметр и длину измеряли с помощью штангенциркуля. Были сделаны десять повторений для каждого образца. Объем каждого экструдата, вычисленный в предположении, что его форма приближается к цилиндрической. Плотность рассчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{M \left( 1 - \frac{W}{100} \right)}{V - M \left( 1 - \frac{W}{100} \right)} \quad (1)$$

где M – вес образца, г;

V – объем образца, см<sup>3</sup>;

W – содержание влаги в образце, %

Содержание влаги в экструдатах были получены, при трехкратных измерениях с вычислением усредненного результата. Изменение плотности продукта в значительной степени зависит от доли пустот или пузырьков, которые были пойманы в ловушку в экструдированных продуктах, а затем затвердевших из экструдера. Плотность продукта будет коррелировать с летучей фракцией продуктов, твердостью и общей потребительской приемлемостью продукта.

Для определения водопоглощения и индекса растворимости экструдатов экструдат тонко измельчали с использованием лабораторной молотковой дробилки и просеивали через сито с ячейкой 500 мкм. Образец массой 0,2 г помещали в центрифужную пробирку и добавляли 5 мл дистиллированной воды. После выдерживания в течение 30 мин при 30°C (с прерывистым встряхивая каждые 5 мин), образец центрифугировали при 3000 оборотах в минуту в течение 20 мин с помощью центрифуги СН 90-2А. Жидкость над осадком декантировали в тарированный алюминиевый поддон и увеличение веса в геле было отмечено. Супернатант выпаривали досуха при 105°C до постоянного веса.

Индекс водопоглощения (WA, г/г) и индекс растворимости в воде (WS, %) рассчитывали как:

$$WA = \frac{m_g}{m_0} \quad (2)$$

$$WS = \frac{m_{dc}}{m_0} 100 \quad (3)$$

где  $m_g$  – мг увеличение веса геля, г;

$m_0$  – вес сухого образца, г;

$m_{dc}$  – вес высушенного супернатанта, г.

Симплекс-решетчатый план для составления трехкомпонентной смеси использовали для разработки рецептур со сбалансированным биохимическим составом (высокое содержание белка и заметно активным участием незаменимых аминокислот). Компонентная смесь состояла из бобов фасоли (X1), гречневой крупы (X2), и пшеницы (X3). Компонентные пропорции были выражены в виде

Таблица 2 – Смеси композиций в составах со сбалансированным биохимическим составом в трехкомпонентном симплекс-центроидном плане с ограничениями

Номер рецептуры	Пропорции ингредиентов		
	X1 (фасоль)	X2 (гречиха)	X3 (пшеница)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,33	0,33	0,33

фракций смеси с суммой ( $X1 + X2 + X3$ ) (таблица 2).

На рисунке 1 изображена схема семиточечного симплекс-центроидного плана смеси, где три отдельных компонента, три двухкомпонентных смеси и одна трехкомпонентная смесь.

Было составлено каноническое кубическое уравнение для трех компонентов для данных, собранных на каждой экспериментальной точке с использованием обратного пошагового множественного регрессионного анализа. Эта каноническая модель отличается от полных полиномиальных моделей в том, что она не содержит постоянный член (перехватывающие равен нулю). Переменные в модели регрессии, которые представляют собой два ингредиента или три ингредиента в условиях взаимодействия, называются «нелинейными» условиями. Запишем каноническое специальное кубическое уравнение:

$$Y = a_1X1 + a_2X2 + a_3X3 + a_{12}X1X2 + a_{13}X1X3 + a_{23}X2X3 + a_{123}X1X2X3 \quad (4)$$

где  $Y$  – предсказание зависимой переменной

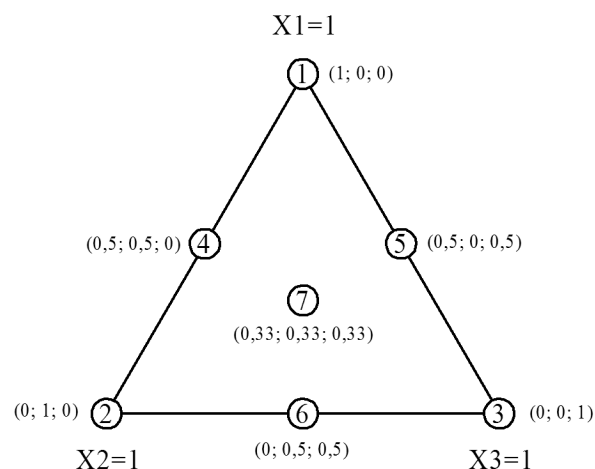


Рис. 1. Семиточечный симплекс-центроидный план смеси фасоли (X1), гречневой крупы (X2) и пшеницы (X3) в композициях со сбалансированным биохимическим составом

(белок, серосодержащие аминокислоты метионин и цистеин, лизин, триптофан);

$a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}, a_{123}$  – соответствующие оценки параметров для каждого линейного и смешанного компонента, произведенный для моделей прогнозирования для фасоли, гречихи и пшеницы, соответственно.

Дисперсионный анализ был проведен на поверхностях данных и реагирования были сгенерированы для каждого ответа с использованием прогнозных моделей. Подобранные модели содержания белка, метионина и цистеина, лизина и триптофана были использованы для оптимизации рецептов со сбалансированным биохимическим составом.

Термины в канонической смеси полинома имеют простую интерпретацию. Обычный способ суммировать пропорции смеси с помощью треугольных (тройных) графов. Можно добавить четвертое измерение в треугольнике, перпендикулярной к первым трем, чтобы построить значение зависимой переменной, или оно может быть указано, в двумерном участке, где контур постоянной высоты графически проецируется на треугольник.

## Результаты и их обсуждение

С помощью симплекс-метода и процедуры моделирования и оптимизации с помощью программы STATISTICA [25, 26], после обработки результатов уравнений для белка (Pr), серосодержащих аминокислот метионина и цистеина (Me + Cs), лизина (Ls) и триптофана содержание (Tr) были получены, уравнения регрессии:

$$Pr = 22,3X1 + 12,6X2 + 16,3X3 + 0,02X1X3 + 0,02X2X3 - 0,12X1X2X3 \quad (5)$$

$$Me + Cs = 2,2X1 + 0,42X2 + 4,61X3 + 0,02X1X2 + 0,04X1X3 + 0,02X2X3 - 0,24X1X2X3 \quad (6)$$

$$Ls = 6,5X_1 + 0,67X_2 + 2,6X_3 + 0,02X_1X_3 + 0,02X_2X_3 - 0,03X_1X_2X_3 \quad (7)$$

$$Tr = 1,3X_1 + 0,19X_2 + 2,58X_3 + 0,02X_1X_2 + 0,02X_1X_3 - 0,12X_1X_2X_3 \quad (8)$$

Полученные уравнения с высокой точностью описывают изменение зависимой переменной ( $R^2 > 0,9$ ). Двумерные контурные тернарные графики показаны на рисунке 2.

Для оптимизации трехкомпонентной смеси, полученной из бобов фасоли, пшеницы и гречихи были приняты следующие ограничения: содержание белка  $> 20\%$ , содержание метионина и цистеина  $> 2,5\%$ , содержание лизина  $> 4\%$ , и содержание триптофана  $> 1,5\%$ . Оптимизация была выполнена наложением контурных графиков для предсказанных содержаний белка, метионина и цистеина,

лизина и триптофана в композициях со сбалансированным биохимическим составом. Оптимальная площадь для ингредиентов в смеси составов представлена на рисунке 3 (затемненная область). Для каждой точки этой области соответствующие ингредиенты в смеси, значения которых оптимизированы по отношению к содержанию в них белка, аминокислот метионина и цистеина, лизина и триптофана.

На основе определенной оптимальной площади и в результате полученных математических моделей выбран следующий состав трехкомпонентной смеси фасоли, пшеницы и гречихи: белок (20,3), метионин и цистеин (2,98), лизин (4,35), триптофан (1,7).

Оптимизированная троичная смесь, полученная из бобов фасоли, пшеницы и гречихи с различным содержанием влаги (16, 22 и 28%) экструдировали в одношнековом экструдере. Полученные экструдаты с различной исходной влажностью оценивали по индексу расширения экструдата, индексу водопоглощения (WA), индексу растворимости в воде (WS) и плотности ( $\rho$ ), с целью выбора наилуч-

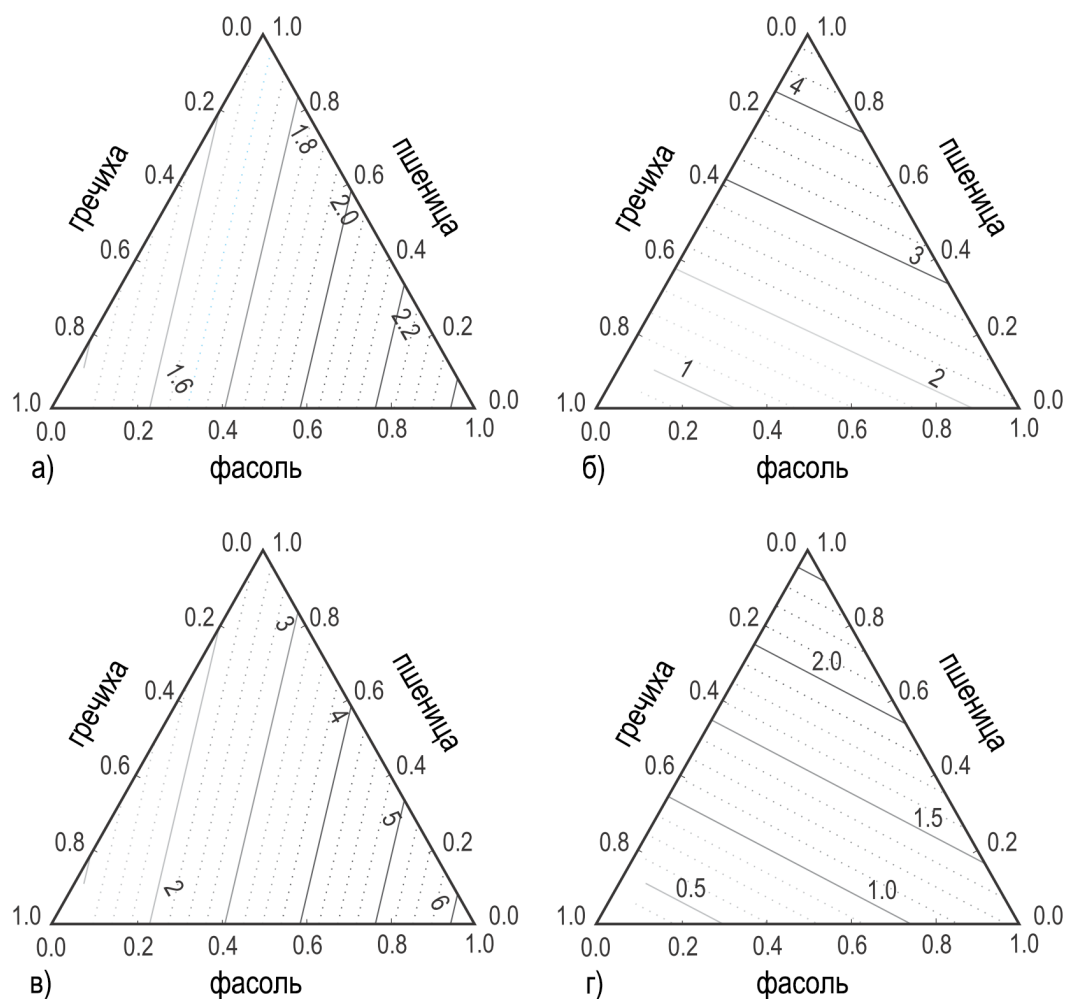


Рис. 2. Тернарный график, показывающий содержание белка (а), метионина и цистеина (б), лизина (в) и триптофана (г) в исследуемой смеси

Таблица 3 – Функциональные свойства экструдированной смеси фасоли, пшеницы и гречихи с различным содержанием влаги

Параметр	Содержание влаги, %		
	16	22	28
Индекс расширения экструдата	1,56 ± 0,03	1,78 ± 0,08	1,53 ± 0,12
Плотность (ρ), г/см <sup>3</sup>	0,74 ± 0,06	0,58 ± 0,05	0,73 ± 0,07
WA, г/г	7,62 ± 0,08	7,83 ± 0,15	10,12 ± 0,12
WS, %	14,54 ± 0,11	14,34 ± 0,08	11,76 ± 0,18

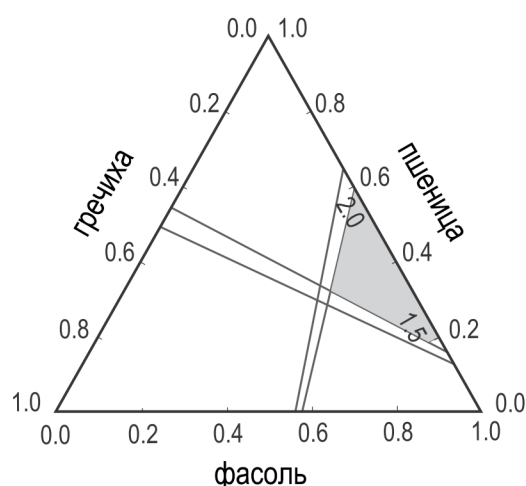


Рис. 3. Тернарный график смеси с оптимизированным содержанием белка, метионина и цистеина, лизина и триптофана

шего решения. Результаты этой оценки представлены в таблице 3.

Расширение экструдата, определяется индексом расширения и плотностью, используется для выражения характеристики продукта после экструзии. Значения индекса расширения экструдата и плотности зависят от подачи влаги, скорости шнека и температуры экструзии. Эти значения также зависят от всех ингредиентов, содержащихся в экструдированных продуктах, таких как крахмал, белок, жир, сахар, волокна, и так далее. Все эти компоненты оказывают различное влияние на расширение экструдата. Экструдированные из бобов фасоли имеют другой внешний вид от экструдированных из злаков. В целом, жгуты из бобов имеют значительно более низкие показатели расширения по сравнению с экструдатами из кукурузной муки. Высокий коэффициент расширения при низком содержании влаги сырье характерно для зерновых культур и их расширение зависит от степени клейстеризации крахмала.

Так известно что индекс расширения уменьшается с увеличением количества белка и липидов. В таблице 3 показано, что индекс расширения экструдированных смесей увеличивался с увеличением содержания влаги в сырье, прежде чем она достигла критического уровня (22%), после чего стал снижаться. Индекс расширения принимал наибольшее

значение, когда экструзию проводили при содержании влаги 22%. Эти изменения в характеристиках продукта, являются результатом модификации крахмала и белковых компонентов при высокой температуре и давлении в цилиндре экструдера. Увеличение индекса расширения экструдата, когда содержание влаги возросло от 16 до 22%, может быть связано с уменьшением вязкости, что привело к уменьшению механического повреждения крахмала, тем самым позволяя смеси расширяться все больше и быстрее. При 180°C и 22% влажности, индекс расширения уменьшается, вероятно, потому, что при высоких температурах крахмала произошла декстринизация.

Плотность экструдата уменьшается с увеличением содержания влаги от 16 до 22%, а затем она увеличивается, что связано с возрастанием индекса расширения экструдата. Это может происходить из-за разложения крахмала при высоких температурах, что приводит к уменьшению расширения.

Индекс водопоглощения экструдата зависит от наличия гидрофильных групп и от способности гелеобразования макромолекул. Это является результатом поврежденного крахмала вместе с денатурацией белка и образованием новых макромолекулярных сложных образований. Индекс водопоглощения увеличивается при увеличении начальной влажности. Наши результаты показывают, что WA экструдированной смеси бобов фасоли, пшеницы и гречихи возрастает от 7,62 до 10,12 г/г с повышением содержания влаги от 16 до 28%.

Индекс растворимости в воде уменьшается с увеличением содержания влаги. Этот факт можно объяснить большим разрывом гранул крахмала при более низкой начальной влажности. Низкое содержание влаги в исходном материале при экструзии повышает трение и диссипацию энергии в продукте, в результате чего происходит декстринизация крахмала и, в то же время, увеличивается индекс растворимости в воде. По многочисленным исследованиям он является параметром, который указывает на деградацию гранул крахмала.

Индекс расширения экструдата, индекс водопоглощения экструдата, индекс растворимости в воде и плотность, полученные в результате анализа смеси с исходным содержанием влаги 22% дали экструдат с хорошими физико-химическими характеристиками в целом.



## Выводы

Определение функциональных характеристик, таких как насыпная плотность, индекс расширения, индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде позволяют сделать оптимизацию в отношении содержания белка, серосодержащих аминокислот метионина и цистеина, лизина и триптофана. Оптимизирована трехкомпонентная смесь состоящая из 50% бобов фасоли, 40% пшеницы и 10% гречихи с различным содержанием влаги (16, 22 и 28%). Получены смеси с высоким содержанием белка и сбалансированным аминокислотным составом. С помощью экструзии была исследована и оптимизи-

рована трехкомпонентная смесь и определены параметры: объемная плотность, индекс расширения, индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде. Выявлена обратная зависимость между объемной плотностью и индексом расширения экструдата с линейной корреляцией ( $R = 0,98, p < 0,05$ ).

Наиболее важным в результате проведенного исследования является то, что полученные экструдаты после измельчения могут быть успешно использованы для приготовления растворимого продукта с сбалансированным биохимическим составом и хорошими характеристиками, такими как насыпная плотность, индекс расширения, индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде.

## Список литературы

- [1] 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. – Пенза, 2015. – 181 с.
- [2] Курочкин, А. А. Научно-технологическое обоснование энергоэффективной технологии экструдирования сельскохозяйственного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова / редкол.: Сенин П. В. [и др.] – Саранск: 2016. – С. 338–344.
- [3] Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 86–91.
- [4] Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 94–99.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Шабурова, Г. В. Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Известия Самарской ГСХА. – 2014. – № 4. – С. 79–83.
- [8] Пат. 2579488 Российская Федерация, МПК А 21 D8/02. Способ производства хлебобулочных изделий / Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, Н. Н. Шматкова. – 2014146596/13; заявл. 19.11.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
- [9] Шабурова, Г. В. Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу с использованием экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та. – 2014. – № 06(22). – С. 104–110.
- [10] 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.
- [11] Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование термовакуумного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 15–20.
- [12] Курочкин, А. А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4 (32). – С. 172–177.

- [13] Фролов, Д. И. Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // *Инновационная техника и технология.* – 2015. – № 1 (02). С. 29–34.
- [14] Фролов, Д. И. К вопросу совершенствования экструзионных технологий / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин // *Инновационная техника и технология.* – 2015. – № 2 (03). С. 18–23.
- [15] 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 государственной сельскохозяйственной академии.* – 2014. – № 4. – С. 70–74.
- [16] 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.
- [17] Курочкин, А. А. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // *Инновационная техника и технология.* – 2014. – № 4. С. 36–40.
- [18] Курочкин, А. А. К вопросу повышения декомпрессионного эффекта в рабочем процессе одношнекового экструдера / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // *Инновационная техника и технология.* – 2015. – № 3 (04). С. 51–57.
- [19] Фролов, Д. И. Оптимизация компонентного состава функциональных продуктов питания, оказывающих благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему / Д. И. Фролов // *Инновационная техника и технология.* – 2015. – № 2 (03). С. 12–15.
- [20] Курочкин, А. А. Применение компьютерных средств разработки программ для автоматизации расчета индекса расширения экструдата овса / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // *Информационные технологии в экономических и технических задачах: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции.* – Пенза, 2016. – С. 300–302.
- [21] Фролов, Д. И. Информатизация процесса экструдирования овса с помощью программы расчета индекса расширения экструдата / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин // *Пищевые инновации и биотехнологии: материалы IV Международной научной конференции / под общ. ред. М. П. Кирсанова; ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)».* – Кемерово, 2016. – С. 253–255.
- [22] Фролов, Д. И. Повышение питательности экструдированных кормов для животных / Д. И. Фролов, В. А. Никишин // *Сборник научных трудов Sworld.* 2014. Т. 7. № 4. С. 98–101.
- [23] Фролов, Д. И. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Лабораторный практикум: Учебно-методическое пособие / Д. И. Фролов. – Пенза: Пензенская государственная технологическая академия., 2015. – 144 с.
- [24] Фролов, Д. И. Безопасность продовольственного сырья: Учебно-методическое пособие / Д. И. Фролов. – Пенза: Пензенский государственный технологический университет., 2012. – 77 с.
- [25] Фролов Д. И. Определение оптимальных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2015. – № 1 (29). – С. 120–126.
- [26] Ларюшин Н. П., Сущёв С. А., Фролов Д. И., Ларюшин А. М. Ботвоудаляющая машина // *Патент России № 2339208.* – 2008. Бюл. № 33.

## OPTIMIZATION OF MIXTURES WITH A BALANCED CHEMICAL COMPOSITION AND POSSIBILITIES FOR THEIR EXTRUSION

*Frolov D. I*

A combination of different raw materials (beans, einkorn wheat and buckwheat) were studied to obtain compositions with high protein and balanced amino acid composition using the simplex lattice plans. The target function for optimization performed: a protein content of sulfur-containing amino acids methionine and cysteine, lysine and tryptophan. In the course of solving the optimal area of raw material combinations has been received in food formulas with a balanced biochemical composition. Optimized ternary mixture consisting of 50% bean odnozernovoy 40% wheat and 10% buckwheat with different moisture contents (16,22 and 28%) was extruded in a single screw extruder. extrusion parameters were as follows: screw rotation speed of 50 rpm, die diameter 3 mm, screw compression ratio 2: 1, temperature 100/140/160 ° C, screw speed 160 rpm. These three extrudate with different initial moisture content was evaluated by the index extension index of water absorption, index of solubility in water and density, in order to select the best option. The results showed that with an initial moisture content of 22% turned extrudate with good physical and chemical characteristics as a whole, but it is necessary to spend a few studies on the optimization further to confirm this.

**Keywords:** *beans, einkorn wheat, buckwheat, protein, amino acids, extrusion.*

### References

- [1] Nauchnoe obespechenie aktual'nogo napravleniya v razvitii pishchevoi termoplasticheskoi ekstruzii / A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, V.M. Zimnyakov, A.L. Mishanin, V.V. Novikov, G.V. Shaburova, D.I. Frolov.–Penza, 2015.– 181 p.
- [2] Kurochkin, A. A. Nauchno-tehnologicheskoe obosnovanie energoeffektivnoi tekhnologii ekstrudirovaniya sel'skokhozyaistvennogo syr'ya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina, D.I. Frolov // Energoeffektivnye i resursoberegayushchie tekhnologii i sistemy: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora F. Kh. Burumkulova / redkol.: Senin P.V. [i dr.]–Saransk: 2016.–PP. 338–344.
- [3] Kurochkin, A.A. Regulirovanie funktsional'no-tehnologicheskikh svoystv ekstrudatov rastitel'nogo syr'ya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina// Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.– 2012.– № 4.–PP. 86–91.
- [4] Kurochkin, A.A. Regulirovanie struktury ekstrudatov krakhmalsoderzhashchego zernovogo syr'ya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina// Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.– 2013.– № 4.–PP. 94–99.
- [5] Kurochkin, A.A. Modelirovanie protsessa polucheniya ekstrudatov na osnove novogo tekhnologicheskogo resheniya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Niva Povolzh'ya.– 2014.– № 30.–PP. 70–76.
- [6] Kurochkin, A.A. Polikomponentnyi ekstrudat na osnove zerna pshenitsy i semyan rastoropshi pyatnistoi /A.A. Kurochkin, D.I. Frolov //Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.–2015.–№ 4.–PP. 76–81.
- [7] Shaburova, G.V. Perspektivy ispol'zovaniya ekstrudirovannoi grechikki v pivovarenii i khlebopechenii / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // Izvestiya Samarskoi GSKhA.– 2014.– № 4.–PP. 79–83.
- [8] Pat. 2579488 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A 21 D8/02. Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova.– 2014146596/13; zayavl. 19.11.2014; opubl. 10.04.2016, Byul. № 10.
- [9] Shaburova, G.V. Optimizatsiya sostava zernoproduktov pri poluchenii pivnogo susla s ispol'zovaniem ekstrudirovannogo yachmenya / G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, D.I. Frolov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus: Periodicheskoe nauchnoe izdanie.–Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnol. un-ta.– 2014.– № 06(22).–PP. 104–110.
- [10] Kurochkin, A.A. Funktsional'nyi kompozit na osnove ekstrudirovannoi smesi pshenitsy i semyan tykvy / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Innovative machinery and technology.– 2015.– № 2 (03). PP. 5–11.
- [11] Kurochkin, A.A. Teoreticheskoe obosnovanie termovakuumnogo effekta v rabochem protsesse modernizirovannogo ekstrudera /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina, D.I. Frolov //Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.–2015.–№ 3.–S. 15–20.



- [12] Kurochkin, A.A. Opredelenie osnovnykh parametrov vakuumnoi kamery modernizirovannogo ekstrudera / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2015. – № 4 (32). – S. 172–177.
- [13] Frolov, D.I. Teoreticheskoe opisanie protsessa vzryvnogo ispareniya vody v ekstrudere s vakuumnoi kameroy / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina // Innovative machinery and technology. – 2015. – № 1 (02). Pp. 29–34.
- [14] Frolov, D. I. K voprosu sovershenstvovaniya ekstruzionnykh tekhnologii / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya. – 2015. – № 2 (03). Pp. 18–23.
- [15] Kurochkin, A.A. Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym soderzhaniiem lipidov / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2014. – № 4. – Pp. 70–74.
- [16] Kurochkin, A.A. Poluchenie ekstrudatov krakhmalsoderzhashchego zernovogo syr'ya s zadannoi poristost'yu // A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // KhKhI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. – 2014. – № 6 (22). – Pp. 109–114.
- [17] Kurochkin, A.A. Tekhnologiya proizvodstva kormov na osnove termo-vakuumnoi obrabotki otkhodov s/kh proizvodstva / A. A. Kurochkin, D.I. Frolov // Innovative machinery and technology. – 2014. – № 4. Pp. 36–40.
- [18] Kurochkin, A. A. K voprosu povysheniya dekompressionnogo effekta v rabochem protsesse odnozhnekovogo ekstrudera / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // Innovative machinery and technology. – 2015. – № 3 (04). Pp. 51–57.
- [19] Frolov, D. I. Optimizatsiya komponentnogo sostava funktsional'nykh produktov pitaniya, okazyvayushchikh blagotvornoe vliyanie na serdechno-sosudistuyu sistemu / D. I. Frolov // Innovative machinery and technology. – 2015. – № 2 (03). Pp. 12–15.
- [20] Kurochkin, A.A. Primenenie komp'yuternykh sredstv razrabotki programm dlya avtomatizatsii rascheta indeksa rasshireniya ekstrudata ovsa / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // Informatsionnye tekhnologii v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh zadachakh: Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Penza, 2016. – Pp. 300–302.
- [21] Frolov, D.I. Informatizatsiya protsessa ekstrudirovaniya ovsa s pomoshch'yu programmy rascheta indeksa rasshireniya ekstrudata / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin // Pishchevye innovatsii i biotekhnologii: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii / pod obshch. red. M.P. Kirsanova; FGBOU VO «Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti (universitet)». – Kemerovo, 2016. – Pp. 253–255.
- [22] Frolov, D.I. Povysenie pitatel'nosti ekstrudiruemykh kormov dlya zhivotnykh / D. I. Frolov, V.A. Nikishin // Sbornik nauchnykh trudov Sworld. 2014. T. 7. № 4. Pp. 98–101.
- [23] Frolov, D.I. Bezopasnost' prodovol'stvennogo syr'ya i produktov pitaniya. Laboratornyi praktikum: Uchebno-metodicheskoe posobie / D. I. Frolov. – Penza: Penzenskaya gosudarstvennaya tekhnologicheskaya akademiya., 2015. – 144 p.
- [24] Frolov, D.I. Bezopasnost' prodovol'stvennogo syr'ya: Uchebno-metodicheskoe posobie / D.I. Frolov. – Penza: Penzenskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet., 2012. – 77 p.
- [25] Frolov D.I. Opredelenie optimal'nykh parametrov botvoudalyayushchei mashiny na posevakh luka / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2015. – № 1 (29). – Pp. 120–126.
- [26] Laryushin N.P., Sushchev S.A., Frolov D.I., Laryushin A.M. Botvoudalyayushchaya mashina // Patent Rossii № 2339208. – 2008. Byul. № 33.