

Термовакуумная экструзия как представитель нового технологического уклада в пищевых системах

Курочкин А.А., Новикова О.А., Юрьев В.Ю.

Аннотация. В работе систематизирована информация о высоком потенциале термопластической экструзии, а также ее системных недостатках в свете возможной денатурации некоторых макро- и микронутриентов в процессе переработки растительного сырья. На основе анализа ранее выполненных работ, приведены аргументы в пользу термовакуумной экструзии – разновидности термомеханической обработки биополимеров. Особенностью термовакуумной экструзии является возможность ее проведения при высоком содержании влаги, умеренной температуре и более мягких условиях деформации обрабатываемого сырья. В конечном итоге это позволит снизить энергоемкость экструзионного процесса и повысить сохранность термолабильных ингредиентов обрабатываемого сырья.

Ключевые слова: пищевые технологии, растительное сырье, композиты, макронутриенты, микронутриенты, термовакуумная экструзия.

Для цитирования: Курочкин А.А., Новикова О.А., Юрьев В.Ю. Термовакуумная экструзия как представитель нового технологического уклада в пищевых системах // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 1. С. 38–45.

Thermal vacuum extrusion as a representative of the new technological structure in food systems

Kurochkin A.A., Novikova O.A., Yuryev V.Yu.

Abstract. The work systematizes information about the high potential of thermoplastic extrusion, as well as its systemic disadvantages in the light of the possible denaturation of some macro- and micronutrients during the processing of plant raw materials. Based on an analysis of previously completed work, arguments are given in favor of thermal vacuum extrusion, a type of thermomechanical processing of biopolymers. A feature of thermal vacuum extrusion is the ability to carry it out at high moisture content, moderate temperature and milder conditions of deformation of the processed raw materials. Ultimately, this will reduce the energy intensity of the extrusion process and increase the safety of thermolabile ingredients of the processed raw materials.

Keywords: food technologies, plant raw materials, composites, macronutrients, micronutrients, thermal vacuum extrusion.

For citation: Kurochkin A.A., Novikova O.A., Yuryev V.Yu. Thermal vacuum extrusion as a representative of the new technological structure in food systems. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 1. pp. 38–45. (In Russ.).

Введение

В условиях перехода на более высокий технологический уклад национальной экономики России, научные публикации и практическая деятельность хозяйствующих субъектов в пищевой индустрии свидетельствуют о том, что только применение наукоемких технологий гарантирует движение в нужном направлении. При этом очевидно, что механизм формирования более высокого технологи-

ческого уровня производства в стране взаимосвязан и касается как его своеобразного ядра (оборонная и атомная промышленность, информационные технологии, молекулярная биология и геновая инженерия и т.д.), так агропромышленного комплекса. В сельском хозяйстве и пищевой индустрии на основе новых технологий предполагается существенное повышение качества продуктов питания за счет формирования его составляющих в процессе выработки, а также улучшения функционально-техно-

гических свойств сельскохозяйственного сырья при его выращивании и переработке [12].

Наглядным и весьма эффективным вектором развития технологий в пищевой промышленности является термопластическая экструзия растительного сырья. Уникальные возможности этой технологии связаны как с широким выбором видов обрабатываемого сырья, а также возможностью управляемого преобразования компонентов, из которых оно состоит [1, 4, 10, 16, 20-24].

Цель работы – обосновать новое направление в термомеханической экструзии биополимеров – ее термовакуумную разновидность.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлась научно-техническая информация в части классических принципов термопластической экструзии биополимеров и ее альтернативного варианта.

В работе применялся аналитический метод исследований, основанный на системном подходе к изучаемой проблеме.

Результаты и их обсуждение

В последние десятилетия в производстве обогащенных и функциональных пищевых продуктов наблюдается устойчивая тенденция применения новых видов пищевых экструдатов повышенной биологической ценности. Эти экструдаты с точки зрения сырьевых ресурсов могут быть монокомпонентными и многокомпонентными (компози́ты).

Экструдированные компози́ты, как правило, состоят из двух и более ингредиентов и в основе их технологии заложены принципы синергетики (от греческого «совместное действие»).

Данный термин в пищевых технологиях применяется в двух смыслах. Первый показывает, как у системы (целого) возникают новые свойства, которыми не обладают ее элементы (части). Второй – это междисциплинарный подход к решению проблемы, который требует совместных усилий инженеров, технологов и специалистов другой квалификации [12].

Известно, что сырье растительного происхождения с позиции пищевых технологий – это совокупность макроэлементов (белки, жиры и углеводы) и микроэлементов (витамины, минеральные вещества, а также примерно 22 класса других веществ). С учетом этого экструдат из одного вида растительного сырья, например, пшеницы, также иногда также называют компози́том.

Сырье растительного происхождения существенно отличается друг от друга содержанием макроэлементов. Часть его в своем составе имеет больше углеводов, а в некоторых преобладают белки или жиры (липиды).

В научном и практическом плане экструдирование растительного сырья с доминированием

того или иного макроэлемента достаточно хорошо изучено. Обширный материал также накоплен по оценке качественных изменений и границам деструктивных изменений углеводов, белков и жиров в зависимости от рабочих параметров экструдеров от их конструктивных особенностей [4, 10, 16, 20-24].

Обычно рациональные технологические показатели процесса переработки растительного сырья выбираются в зависимости от макроэлемента, концентрация которого в обрабатываемом материале наибольшая, и корректируются с учетом минимально допустимой деструкции остальных значимых компонентов сырья.

Например, для крахмалсодержащего растительного сырья, к числу которого относятся практически все зерновые, технологические параметры должны обеспечить рациональную степень клейстеризации (желатинизации) крахмала, что возможно, если учитывать как минимум влажность экструдированного материала и температуру в тракте экструдера.

Известно, что крахмал зерна может быть полностью клейстеризован при температуре, близкой к 120 °С и влажности обрабатываемого сырья 20-30 %. При влажности обрабатываемого сырья менее 20 % полная клейстеризация крахмала возможна при температуре, значительно выше указанной величины [1, 10, 12].

Эффективность и синергетический эффект от рационального подбора этих двух взаимозависимых параметров обычно проявляется в более высокой пористости готового продукта (степень расширения обрабатываемого материала при выходе из фильеры матрицы экструдера), которая, в свою очередь, оценивается коэффициентом расширения (взрыва) экструдата.

Многочисленные исследования в области экструзии растительного сырья доказывают, что пористая структура экструдатов предопределяет большинство их физических и технологических свойств: индекс расширения, набухаемость, влагоудерживающую способность (ВУС), растворимость, жиродерживающую способность (ЖУС) [10, 16].

Среди макроэлементов, принимающих участие в формировании функционально-технологических свойств экструдатов из растительного сырья, наиболее очевидна роль белков.

Термопластическая экструзия сырья с высоким содержанием белков существенно отражается на ВУС, ЖУС, жироземлюлирующей способности (ЖЭС), а также показателей качества пены – ее стойкости и удерживающей способности экструдатов [18].

При этом термопластическая экструзия с жесткими рабочими параметрами процесса, как правило, влечет за собой денатурацию белков, которая проявляется в их структурной перестройке с разрывами ионных, дисульфидных и водородных связей естественной третичной или четвертичной

структур. Кроме этого денатурация приводит к увеличению количества пептидов и свободных аминокислот. При таких режимах работы экструдера могут наблюдаться значительные потери ценной аминокислоты лизина и накопление продуктов реакции Майяра, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека.

Если проводить экструзию быстро и при мягких условиях – при температуре ниже 180° С, влажности не менее 15%, а также ограничивать содержание редуцирующих сахаров в подвергаемых экструзии смесях, можно получить безопасный продукт питания с высокой пищевой ценностью. Конечный результат такого режима экструзионного процесса – повышение перевариваемости белка и частичное или полное разрушение антипитательных веществ сырья [9].

Для готовых пищевых продуктов, с позиции термопластических преобразований белков важнейшую роль играет процесс текстурирования, цель которого придать волокнистую или сетчатопластинчатую (пористую) структуру белковому материалу. При этом одновременно с внешним проявлением, текстура готового пищевого продукта входит составной частью в его органолептическую характеристику [11].

Анализ механизма формирования структуры экструдатов позволяет сделать вывод о том, что в отличие от белков, липиды в силу своих физико-механических и химических свойств на процесс текстурирования продукта влияния не оказывают или оно весьма ограничено.

Изучено, что липиды в процессе экструзии растительного сырья обычно переходят в жидкое состояние при температуре около 400С, диспергируются в виде мельчайших капель и смешиваются с углеводами и белками.

Анализ результатов экструдирования полножирной сои и других видов подобного сырья показал, что содержание липидов в перерабатываемом сырье и его влажность согласованно влияют на величину трения частиц материала между собой, а также шнеком экструдера и, в конечном итоге – на величину сил диссипации и давления сырья на выходе из машины. По существу липиды ослабляют или усиливают основные рабочие параметры экструдера – давление и температуру обрабатываемого сырья в рабочем тракте машины. При этом наличие липидов в количестве меньшем, чем 3% практически не оказывают значимого влияния на коэффициент расширения получаемого экструдата. Однако в количестве более 5% этот макронутриент способствует резкому снижению данного показателя [10, 20].

Особенностью экструзионной обработки сырья с повышенным содержанием пищевых волокон является то, что обе их разновидности (растворимая и нерастворимая пищевая клетчатка) хоть и в разной степени, но ограничивают активность крахмала как инициатора процесса порообразования и

соперничают с остальными компонентами сырья за взаимодействие с водой. При этом штатный режим работы экструдера обеспечивает некоторое увеличение перевариваемости клетчатки в целом, а также перераспределение ее фракций в пользу растворимой составляющей [2].

Как уже отмечалось, с позиции пищи и пищевых технологий в целом, сырье растительного происхождения – это не только совокупность белков, жиров и углеводов, но и источник целой группы микронутриентов.

Современные достижения в теории и практике термопластической экструзии растительного сырья позволяют прогнозировать поведение практически всех значимых для питания человека микронутриентов и назначать рациональные рабочие параметры для различных типов экструдеров. С этой точки зрения большая часть рекомендаций по контролю экструзионного процесса сводятся к следующему принципу: критические потери полезных свойств большинства микронутриентов растительного сырья наблюдаются при его нагреве до температуры свыше 100 °С. Поэтому жесткие режимы экструзии могут создавать условия, при которых в готовых продуктах возникает существенный дефицит полезных нутриентов, что заставляет производителей прибегать к их дополнительному биообогащению.

Обычно этот прием предполагает добавление в готовый продукт микроэлементов, антиоксидантов, пробиотиков и т.д. и в настоящее время все чаще применяется в пищевой индустрии. Вместе с этим использование синтетических форм микроэлементов и растущая осведомленность потребителей о пользе натуральных продуктов для здорового питания заставляют ученых и производителей пищевой продукции задумываться об альтернативных методах увеличения потребления микронутриентов [26].

В качестве основного вывода по этой части работы можно выдвинуть гипотезу о том, что степень трансформации (в том числе и нежелательной) наиболее важных составляющих растительного сырья в процессе экструзии зависит от подводимой к нему термической и механической энергии. При этом количество, а также соотношение этих видов энергии влияет практически на все значимые показатели получаемого продукта. Например, повышенная доза термического воздействия на экструдированное сырье может привести к повышенной клейстеризации крахмала, денатурации белков, деструкции витаминов, а также к повышенному окислению липидов [4, 10, 16, 20-24].

С другой стороны, перечисленные негативные явления зависят не только от длительности термического воздействия на сырье, но и времени его охлаждения до рациональной (с точки зрения сохранности того или иного компонента) температуры [12].

Обычно считается, что в экструзионном процессе крахмалсодержащего сырья значение термической и механической составляющих не оди-

наково, что и нашло отражение в выводах работ отдельных ученых. Например, выделяя роль термической составляющей экструзионного процесса, ряд исследователей установили возможность регулирования содержания водорастворимых веществ в экструдате путем изменения температуры экструзионного процесса [10].

В другой группе работ отмечается, что наиболее существенные изменения крахмальных зерен происходят в момент выхода экструдированного сырья из фильеры экструдера. Сторонники этого научного направления считают, что в процессе экструзионной обработки зерна именно в момент декомпрессии снижается общее содержание крахмала в связи с расщеплением амилозы и амилопектина и повышается количество олигосахаридов и декстринов. Декстринизация крахмала в этом случае обуславливает уменьшение плотности экструдированного материала и образование микропористой структуры, что и наблюдалось при анализе органолептических показателей экструдата [4, 10, 16].

Экструзионная обработка растительного сырья сопровождается интенсивным комплексным воздействием на крахмал, в результате чего происходит как термическая, так и механическая деструкции крахмальных зерен и полимеров. При этом одним из критериев, достаточно полно отражающих глубину деструкции крахмала при экструзионной обработке зерна, является показатель содержания декстринов – промежуточных продуктов расщепления крахмала [16].

В последние 15-20 лет в нашей стране и за рубежом появились работы по обоснованию нового направления в термомеханической экструзии биополимеров – ее термовакуумная разновидность.

Отправной точкой для ее теоретического обоснования стали работы по изучению кинетики сушки и расширению экструдированных гранул на основе крахмала путем их микроволновой вакуумной обработки.

Особенностью работ, выполненных в этом направлении, является то, что полученные с помощью стандартного экструзионного процесса, пищевые гранулы с помощью микроволнового вакуумного процесса доводились до стадии готового пищевого продукта.

В отличие от традиционной экструзии, нерасширенные гранулы формируются путем экструзии, а затем расширяются для достижения хрустящей и пористой текстуры. В этом альтернативном процессе экструзия может осуществляться при высоком содержании влаги, умеренной температуре и условиях сдвига. Это полезно для сохранения термически и механически чувствительных ингредиентов и позволяет производить закуски с высокой питательной ценностью. Второй особенностью процесса является то, что расширение гранул экструдатов достигается за счет микроволново-вакуумной обработки, которая позволяет осуществлять косвенное расширение без трудоемкого и энергозатратного

процесса предварительной сушки. Кроме того, благодаря обработке под вакуумом температура внутри продукта может поддерживаться на желаемых умеренных значениях. Кинетика сушки, скорость сушки и коэффициент диффузии в сочетании с объемным расширением позволяют спроектировать процесс и улучшить качество продукции [22].

Микроволново-вакуумная обработка растительного сырья стала предпосылкой в модернизации существующей экструзионной технологии в пищевой индустрии и получению на ее основе закусок (снеков) третьего поколения.

В последние годы появились работы, свидетельствующие о том, что если вакуумному воздействию подвергать экструдат сразу после его выхода из фильеры матрицы экструдера, то некоторые недостатки, присущие сублимационной сушке не только устраняется, но и превращается в преимущество. Аргументируется это тем, что экструдат при таком воздействии не требует нагревания (при выходе из фильеры он, как правило, имеет температуру выше 100°C), а требует интенсивного охлаждения, что соответствует технологическому процессу получения данного полуфабриката или готового продукта [5-8].

При этом резкое снижение давления при такой воздействию на экструдат приводит к возникновению дополнительной движущей силы – нерелаксируемому градиенту общего давления, в результате чего происходит бурное парообразование по всему объему высушиваемого материала, и формирующийся молярный поток выносит из материала вместе с паром и часть влаги в жидкой фазе. Таким образом, механизм термовакуумного воздействия на экструдат оказывается аналогичным механическому обезвоживанию посредством прессования или центрифугирования [10].

Регулируя величину барометрического давления, а значить и процесс парообразования, можно добиться и структурного видоизменения высушиваемого капиллярно-пористого тела, и частичного или полного его разрушения. В случае допустимости структурных видоизменений параметры сушки необходимо выбирать именно из таких соображений. При этом структурные изменения сводятся к укрупнению и приданию той или иной геометрической формы порам и капиллярам, присутствующим в объекте [13].

В 2006 году ведомство по патентам и товарным знакам США выдало патент на изобретение «Способ изготовления кормовых гранул и оборудование для использования при осуществлении способа» в котором экструдат при выходе из фильеры матрицы подается в вакуумированную камеру.

В качестве примера реализации данного способа авторы представили данные, согласно которым снижение давления в вакуумной камере машины со 100 кПа до 20 кПа привело к увеличению диаметра экструдата от 8,3 до 10,2 мм; его объемная плотность снизилась с 460 до 284 г/л, а интенсивность

испарения воды возросла в три раза (с 5 до 15 г/кг). При этом температура экструдата при указанных давлениях в вакуумной камере была равна соответственно 91,2 и 52 °С [19].

В России в 2011 году был запатентован способ производства экструдатов, включающий очистку зерна, экструдирование и измельчение экструдата. В качестве обрабатываемых материалов в этом способе используются зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса, риса, гречихи, проса, кукурузы, сои с массовой долей влаги 12-18% отдельно или в смеси без предварительного шелушения поверхности.

Способом предусмотрено экструдирование сырья в течение 15-25 с при температуре 110-140°С с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера материал пониженным давлением, равным 0,03-0,07 МПа, при этом содержание влаги в экструдированном продукте регулируют величиной вакуума на выходе из экструдера на уровне не более 8%. Экструдат при выходе из фильеры матрицы разрезают на частицы размером 1,0-4,0 мм [14].

Для реализации данного способа экструдер оснащается вакуумной камерой, расположенной на выходе из фильеры матрицы [10, 15].

Литература

- [1] Абрамов, О.В. Научное обеспечение процесса экструзии модельных сред на основе крахмалсодержащего сырья и разработка высокоэффективного оборудования для его реализации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12/Абрамов Олег Васильевич.– Воронеж: 2009. 48 с.
- [2] Воронина, П.К. Полифункциональный композит с повышенным содержанием пищевых волокон /П.К. Воронина, А.А. Курочкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015. № 4. С. 65-71.
- [3] Выгодин, В.А. Экструзионная техника и технология: состояние, перспективы /В.А. Выгодин, В.Л. Касперович, Г.Б. Зинюхин, В.П. Попов, В.А. Буцко // Пищевая промышленность. 1995. № 7. С. 4-5.
- [4] Карпов, В.Г. Разработка новых видов крахмалопродуктов экструзионным способом: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.05 /Карпов Владимир Георгиевич. М., 2000. 48 с.
- [5] Курочкин, А.А. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью /А.А. Курочкин, Г.В.

Выводы

Как свидетельствуют работы, связанные с различными аспектами экструзии сырья растительного происхождения, выбор рациональных параметров данной технологии обусловлен свойствами макронутриента, концентрация которого в обрабатываемой пищевой системе наибольшая, и корректируются с учетом минимально допустимой деструкции остальных значимых компонентов сырья. С этой точки зрения термовакуумная экструзия может осуществляться при высоком содержании влаги, умеренной температуре и более мягких условиях деформации обрабатываемого сырья. Резкое снижение давления в вакуумной камере машины при поступлении туда экструдата приводит к возникновению дополнительной движущей силы – нерелаксируемому градиенту общего давления, в результате чего происходит бурное парообразование по всему объему высушиваемого материала, и формирующийся молярный поток выносит из материала вместе с паром и часть влаги в жидкой фазе. Таким образом, механизм термовакуумного воздействия на экструдат в процессе его обезвоживания обеспечивает частичное замещение жесткой термической составляющей процесса на ее более мягким аналог – механическую. В конечном итоге это позволит снизить энергоемкость экструзионного процесса и повысить сохранность термолабильных ингредиентов обрабатываемого сырья.

References

- [1] Abramov, O.V. Scientific provision of the extrusion process modeling environments based on starchy raw materials and development of highly efficient equipment for its implementation: author. dis. ... doctor. tech. Sciences: 05.18.12/Abramov, Oleg.– Voronezh: 2009. 48 p.
- [2] Voronina, P.K. Multifunctional composite with a high content of dietary fiber /P. K. Voronina, A.A. Kurochkin // Bulletin Samara state agricultural Academy. 2015. No. 4. P. 65-71.
- [3] Vygodin, V. A. Extrusion technique and technology: state and prospects /V.A. Vygodin, V.L. Kasperovich, G.B. Zinyukhin, V.P. Popov, V.A. Butsko // Food industry. 1995.No. 7. P. 4-5.
- [4] Karpov, V.G. Development of new types of starch products by extrusion: author. dis. ... doctor. tech. Sciences: 05.18.05 /Vladimir G. Karpov. M., 2000. 48 p.
- [5] Kurochkin, A. A. Production of extrudates starchy grain with a given porosity //A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // XXI century: the past and challenges of the present plus. 2014. № 6 (22). Pp. 109-114.
- [6] Kurochkin, A. A. A Systematic approach to the development of the extruder for thermal vacuum

- Шабурова, Д.И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 109-114.
- [6] Куручкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата /А.А. Куручкин // Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 17-21.
- [7] Куручкин, А.А. Теоретическое обоснование термовакуумного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А.А. Куручкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина// Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3(04). С. 15-20.
- [8] Куручкин А.А., Фролов Д.И. К вопросу повышения декомпрессионного эффекта в рабочем процессе одношнекового экструдера // Инновационная техника и технология. 2015. №3(04). С. 51-57.
- [9] Мартинчик, А. Н. Влияние экструзии на сохранность аминокислот и пищевую ценность белка /А.Н. Мартинчик, А.Ю. Шариков //Вопросы питания. 2015. Т. 84. № 3. С. 13-21.
- [10] Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А.А. Куручкин, П.К. Воронина, В.М. Зимняков, А.Л. Мишанин, В.В. Новиков, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов. Пенза, 2015. 181 с.
- [11] Остриков, А. Н. Экструзионная технология пищевых текстуратов /А.Н. Остриков, М.А. Глухов, А.С. Рудометкин, Е.Г. Окулич-Казарин //Пищевая промышленность. 2007. №. 9. С. 18-20.
- [12] Панфилов, В. А. Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего //Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. №. 4. С. 642-649.
- [13] Патент 2239137 Российская Федерация МПК F26B5/02, F26B7/00. Способ сушки капиллярно-пористых материалов /В.Н. Хмелев, А.Н. Заборовский, № 2003102919; заявл. 31.01.2003; опубли. 27.10.2004, Бюл. № 30. 8 с.
- [14] Пат. 2460315 Российская Федерация МПК7 A23L1/00. Способ производства экструдатов /заявители: Г.В. Шабурова, А.А. Куручкин, П.К. Воронина, Г.В. Авроров, П.А. Ерушов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА. – № 2011107960; заявл. 01.03.2011; опубли. 10.09.2011, Бюл. № 25. 6 с.
- [15] Пат. 2561934 Российская Федерация, МПК A23P 1/12, B29C 47/38. Экструдер с вакуумной камерой / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, Р.В. Шабнов, А.А. Куручкин, В.А. Авроров. № 2014125348/13; заявл. 23.06.2014; опубли. 10.06.2015, Бюл. № 25. 7 с.
- processing of the extrudate / А.А. Kurochkin // Innovative technology. 2014. No. 4. P. 17-21.
- [7] Kurochkin, A. A. The Theoretical justification of the thermal effect in the working process of the upgraded extruder /А.А. Kurochkin, G.V. Shaburova, I.D. Frolov, P.K. Voronina// Bulletin Samara state agricultural Academy.2015. No. 3. P. 15-20.
- [8] Kurochkin A. A., Frolov, D. I. the effect of decompression in the working process of single-screw extruder // Innovative technology. 2015. No. 3 (04). P. 51-57.
- [9] Martinchik, A. N. Vliyaniye ekstruzii na sokhrannost' aminokislot i pishchevuyu tsennost' belka /А.Н. Martinchik, А.YU. Sharikov //Voprosy pitaniya. 2015. T. 84. No. 3. P. 13-21.
- [10] Scientific support for current trends in the development of the edible thermoplastic extrusion / А.А. Kurochkin, P.K. Voronina, V.M. Zimnyakov, Mishanin A. L., V.V. Novikov, G.V. Shaburova, D.I. Frolov. Penza, 2015. 181 p.
- [11] Ostrikov, A. N. Ekstruzionnaya tekhnologiya pishchevykh teksturatov /А.Н. Ostrikov, М.А. Glukhov, А.С. Rudometkin, Ye.G. Okulich-Kazarin // Pishhevaya promyshlennost. 2007. No. 9. P. 18-20.
- [12] Panfilov, V. A. Sinergeticheskiy podkhod k sozdaniyu tekhnologiy APK budushchego //Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2020. T. 50. No. 4. P. 642-649.
- [13] Pat. 2239137 Rossiyskaya Federatsiya MPK F26B5/02, F26B7/00. Sposob sushki kapillyarno-poristyykh materialov /V.N. Khmelev, A.N. Zaborovskiy, № 2003102919; zayavl. 31.01.2003; opubl. 27.10.2004, Byul. No. 30. 8 p.
- [14] Pat. 2460315 Rossiyskaya Federatsiya MPK7 A23L1/00. Sposob proizvodstva ekstrudatov / zayaviteli: G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Avrorov, P.A. Yerushov; patentoobladatel' FGOU VPO Penzenskaya GTA. – № 2011107960; zayavl. 01.03.2011; opubl. 10.09.2011, Byul. No. 25. 6 p.
- [15] Pat. 2561934 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A23P 1/12, V29S 47/38. Ekstruder s vakuumnoy kameroy / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, R.V. Shabnov, A.A. Kurochkin, V.A. Avrorov. № 2014125348/13; zayavl. 23.06.2014; opubl. 10.06.2015, Byul. No. 25. 7 p.
- [16] Thermoplastic extrusion: scientific bases, technology, equipment /ed. by A.N. Bogatyrev, V.P. Yuryev. M.: Degree, 1994. 200 p.
- [17] Frolov, D. I. K voprosu sovershenstvovaniya ekstruzionnykh tekhnologiy /D.I. Frolov, А.А. Kurochkin //Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya. 2015. T. 2. No. 2. P. 18-23.
- [18] Shcherbakov, V.G. Funktsional'nyye svoystva termomodifitsirovannykh belkov semyan l'na /V.G. Shcherbakov, I.V. Shul'vinskaya, V.G. Lobanov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishhevaya tekhnologiya. 2007. No. 2. P. 35-38.
- [19] Patent US 7001636 B1Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the implementation of the

- [16] Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование /Под ред. А.Н. Богатырева, В.П. Юрьева.– М.: Ступень, 1994.– 200 с.
- [17] Фролов, Д. И. К вопросу совершенствования экструзионных технологий /Д.И. Фролов, А.А. Курочкин //Инновационная техника и технология. 2015. Т. 2. №. 2. С. 18-23.
- [18] Щербаков, В.Г. Функциональные свойства термомодифицированных белков семян льна /В.Г. Щербаков, И.В. Шульвинская, В.Г. Лобанов //Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. №. 2. С. 35-38.
- [19] Patent US 7001636 B1Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the implementation of the method / Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen – №09/937172; Pub. 21.02.2006.
- [20] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. *Foods*. 2021 May 15; 10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [21] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. Vol. 19. e01532.
- [22] Kraus S. et al. Drying kinetics and expansion of non-predried extruded starch-based pellets during microwave vacuum processing //Journal of Food Process Engineering. 2013. Т. 36. №. 6. С. 763-773.
- [23] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. *Food Res Int*. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [24] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. *Foods*. 2021 Feb 9; 10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [25] Ramchiary M., Das A. B. Vacuum-assisted extrusion of red rice (bao-dhan) flour: Physical and phytochemical comparison with conventional extrusion //Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Т. 44. №. 8. С. e14570.
- [26] Vishwakarma S. et al. Investigation of natural food fortificants for improving various properties of fortified foods: A review //Food Research International. 2022. Т. 156. С. 111186.
- method / Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen – №09/937172; Pub. 21.02.2006.
- [20] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. *Foods*. 2021 May 15;10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [21] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. Vol. 19. e01532.
- [22] Kraus S. et al. Drying kinetics and expansion of non-predried extruded starch-based pellets during microwave vacuum processing //Journal of Food Process Engineering. 2013. Т. 36. No. 6. C. 763-773.
- [23] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. *Food Res Int*. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [24] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. *Foods*. 2021 Feb 9; 10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [25] Ramchiary M., Das A. B. Vacuum-assisted extrusion of red rice (bao-dhan) flour: Physical and phytochemical comparison with conventional extrusion //Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Т. 44. No. 8. C. e14570.
- [26] Vishwakarma S. et al. Investigation of natural food fortificants for improving various properties of fortified foods: A review //Food Research International. 2022. Т. 156. C. 111186.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Курочкин Анатолий Алексеевич доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p>Kurochkin Anatoly Alekseevich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p>Новикова Ольга Анатольевна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>	<p>Novikova Olga Anatolievna upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>
<p>Юрьев Вячеслав Юрьевич аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Yuryev Vyacheslav Yurievich postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>