

Алгоритм разработки модели экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы

Курочкин А.А., Шматкова Н.Н.

Аннотация. В статье на основе методологии системного подхода обоснован алгоритм действий при разработке модели экструдата смеси расторопши пятнистой и зерна пшеницы. Проанализированы современные подходы к математическому описанию многокомпонентных смесей для производства продуктов питания. Предложен комплексный критерий для модели функционально-технологических свойств (ФТС) экструдата с учётом взаимодействия его ингредиентов. Показана роль доминирующих компонентов и факторов модели ФТС экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы. Сделаны выводы в части перспективы дальнейших исследований в рамках заявленной проблемы.

Ключевые слова: системный подход, подсистема, модель, смесь, расторопша пятнистая, зерно пшеницы, экструдат.

Для цитирования: Курочкин А.А., Шматкова Н.Н. Алгоритм разработки модели экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 3. С. 10–15.

Algorithm for developing an extrudate model of a mixture of milk thistle seeds and wheat grain

Kurochkin A.A., Shmatkova N.N.

Abstract. In the article, based on the methodology of a systematic approach, an algorithm of actions is justified when developing an extrudate model of a mixture of milk thistle and wheat grain. Modern approaches to the mathematical description of multicomponent mixtures for food production are analyzed. A complex criterion is proposed for a model of the functional and technological properties (FCS) of an extrudate, taking into account the interaction of its ingredients. The role of the dominant components and factors of the FCS extrudate model of a mixture of milk thistle seeds and wheat grain is shown. Conclusions are drawn regarding the prospects for further research within the framework of the stated problem.

Keywords: system approach, subsystem, model, mixture, milk thistle, wheat grain, extrudate.

For citation: Kurochkin A.A., Shmatkova N.N. Algorithm for developing an extrudate model of a mixture of milk thistle seeds and wheat grain. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 3. pp. 10–15. (In Russ.).

Введение

В последние десятилетия в производстве обогащенных и функциональных пищевых продуктов наблюдается устойчивая тенденция применения новых видов пищевых композитов повышенной биологической ценности. Эти композиты (полуфабрикаты) могут быть использованы в качестве обогатителей, заменителей или улучшителей в производстве новых, а также традиционных пищевых продуктов [2].

Как правило, такие композиты состоят из двух и более ингредиентов и в той или иной степени обеспечивают синергетический эффект при их совместной

обработке и дальнейшем применении. При этом в зависимости от цели применения данного композита, один из его составляющих является доминирующим в процессе формирования необходимых функционально-технологических или иных свойств, а остальные играют вспомогательную роль [3-5, 10].

Известно, что сырье растительного происхождения существенно отличается друг от друга содержанием основных питательных веществ. Часть его в своем составе имеет больше углеводов, а в некоторых преобладают белки или жиры. С этой точки зрения пристальное внимание следует обратить на такие культуры, в которых значимое количество питатель-

ных веществ представлено в достаточно широком ассортименте. Одной из таких культур является расторопша пятнистая (*Silybum marianum*).

Продукты переработки расторопши пятнистой широко используются при изготовлении лекарственных препаратов, обеспечивающих защиту печени от токсических и аллергических повреждений, и могут применяться в пищевых технологиях в виде экстракта, масла, порошка нативных и обезжиренных семян [5, 10].

В одной из наиболее известных работ, связанной с применением семян расторопши в качестве пищевой добавки, объектом исследований являлся вторичный продукт переработки расторопши – шрот. На основе изучения химического состава шрота (ТУ 9141-005-46899394-04) были разработаны рекомендации по его применению в качестве натурального обогатителя пищевых продуктов белком (21,88%), жиром (12,87%), клетчаткой (27,38%), флавоноидами (2,5%), витаминами и минеральными веществами. При этом изучив детально состав и механизм действия масла и шрота расторопши пятнистой, авторы исследований пришли к выводу о необходимости применять эти ингредиенты совместно [10].

Целью исследований являлась обоснование системного подхода к получению экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы.

Объекты и методы исследований

В работе применены методы и инструментальной системного анализа для слабоструктурированных проблем.

Результаты и их обсуждение

Альтернативным направлением применения расторопши пятнистой в пищевых технологиях является получение композита в виде экструдата смеси ее семян с зерном пшеницы. Эффективная реализация этого направления связана с применением методологии системного подхода на основе следующего алгоритма действий:

1. На первом этапе формулируется общий недостаток современных подходов к решению данной проблемы в части математического описания экструирования многокомпонентных смесей.

2. Обосновывается комплексный критерий для модели функционально-технологических свойств (ФТС) экструдатов многокомпонентных смесей с учётом взаимодействия их компонентов.

3. Оценивается роль доминирующих компонентов и факторов модели ФТС экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы.

Проблемы, требующие своего разрешения в связи с реализацией первого пункта алгоритма, в и лаконичной форме сформулированы в работе Николаевой С.В. По мнению автора в подавляющем большинстве работ, связанных с моделированием процессов пищевых производств, построение и

рассмотрение их математических описаний осуществляется вне связи теории с реальными физическими процессами; отсутствуют объяснения с точки зрения законов природы причинно-следственных связей между параметрами моделей, параметрами процессов (из-за чего обрабатываемая среда не находит отражения в математической модели процесса, а присутствует в ней лишь косвенно), что не позволяет ответить, например, на вопрос, почему так, а не иначе, изменяются параметры технологической системы [8].

Следует отметить, что изначально базовые принципы и методология системного подхода разрабатывались австрийским ученым-философом Людвигом фон Бергаланфи применительно к биологическим объектам. К настоящему времени они существенно доработаны, дополнены и адаптированы к различным отраслям науки и производства, а уровень их развития диктуется интересами общества. При этом, несмотря на отсутствие полного единства в возможностях системного подхода и его практической ценности для некоторых видов производств, среди практически всех исследователей систем наблюдается полный консенсус в части признания важности совершенствования этой форма представления предметов научного познания.

В пищевых технологиях методология исследования систем развивалась применительно к отраслям производства и ее некоторые особенности, связанные с моделированием многокомпонентных продуктов питания на основе сырья растительного или животного происхождения, в них явно прослеживаются [5].

Анализ наиболее значимых работ в этом сегменте показывает, что у исследователей нет единого подхода даже к определению такого важного принципа системного анализа как эмерджентность.

По мнению одних «эмерджентность – принцип, который утверждает, что целое (продукт) можно изучать, расчленив его на части (ингредиенты), и затем, определяя их свойства (ингредиентов), определить свойства целого – продукта [7].

Существует и диаметрально противоположное мнение, согласно которому эмерджентность – принцип, отвечающий за наличие у системы таких свойств, которые не присущи ни одному ее элементу. Утверждается, что нельзя понять всех свойств системы, изучив все свойства подсистем: некоторые свойства системы появляются (emerge) только благодаря сложному взаимодействию подсистем [6].

Не углубляясь в причины подобных противоречий, отметим, что системный подход и его инструментарий в пищевых технологиях зачастую имеет дело с решением слабоструктурированных проблем.

К тому же добавим, что прикладные объекты, каковыми являются предприятия пищевой промышленности, отличаются большим разнообразием

ем, как с точки зрения сложности, так и количества подсистем и элементов, входящих в их состав.

Например, система пищевого предприятия обычно включает три взаимозависимые подсистемы с условно тремя ступенями иерархии: организации производства (подсистема оперативного управления всеми подразделениями предприятия, планирование запасов сырья и реализации готовой продукции); технологическая подсистема (технологические процессы, представляющие собой совокупность специфических операций) и физико-химическая подсистема (типовые процессы пищевых технологий: физические, химические и биохимические) [6].

С другой стороны, в машинных технологиях пищевых производств в зависимости от функционального признака все оборудование для переработки сырья делят на группы и подгруппы, в которые входят машины и аппараты, отличающиеся назначением и, соответственно, реализуемыми типовыми процессами. Эти типовые процессы могут быть как частью, так и целым технологической операции, границы которой, как правило, совпадают с границами конкретного вида оборудования (машины или аппарата).

Объединение как минимум двух технологических операций обеспечивает образование технологической подсистемы, соответствующей определенному комплексу технологического оборудования (агрегату, установке) или набору оборудования в границах производственного участка.

Совокупность подсистем, реализующих все стадии переработки сырья и выпуска готовой продукции, формирует технологическую систему в целом. По существу, такая система соответствует всему набору оборудования, входящего в состав технологической линии.

Очевидно, что методология системного подхода будет иметь свои особенности для различных объектов познания. Например, для хлебобулочных изделий, более применим системный анализ физико-химических закономерностей формирования характеристик (качественных и количественных) основного и дополнительного сырья.

В качестве основного сырья при производстве хлебобулочных изделий используются мука, хлебопекарные дрожжи, соль поваренная пищевая и вода, а дополнительным сырьем служит сырье, обеспечивающее специфические органолептические и физико-химические свойства хлебобулочного изделия.

Таким образом, объектом системного анализа, например, в случае обогащения хлебобулочного изделия пищевой добавкой в виде экструдата смеси семян расторопши и зерна пшеницы может быть как само изделие, так и экструдат.

Второй вариант предполагает рассмотрение и анализ в качестве системы экструдат смеси семян расторопши пятнистой и зерна пшеницы, а подсистем – ингредиенты в нативном виде. Группа понятий, отражающих такой подход к системному

анализу данного объекта, и очередность их рассмотрения представлена на рисунке 1.

Процесс системного анализа объекта начинается, прежде всего, с отбора наиболее значимых для решения практических задач характеристик, однозначно описывающих объект.

Многочисленными исследованиями установлено, что в зависимости от цели получения экструдатов механизм воздействия на зерновое крахмалсодержащее сырье может быть различным.

Если вырабатываемые экструдаты предполагается использовать как готовый продукт с планируемыми показателями качества, то технологические параметры экструзионного процесса и технические характеристики экструдера должны обеспечивать максимальную сохранность полезных свойств сырья с одновременным направленным воздействием на ингредиенты, формирующие качество данного продукта.

При получении из крахмалсодержащего сырья экструдатов-полуфабрикатов требования к их качественным показателям, как и в первом случае, сохраняется. Одновременно с этим некоторые полуфабрикаты требуют таких режимов экструзионной обработки, при которых эффективному воздействию подвергаются только отдельные составляющие сырья, например, углеводы (3, 5).

Известно, что в крахмалсодержащем растительном сырье, к числу которого относятся практически все зерновые, максимальная степень клейстеризации (желатинизации) и деструкции крахмала обеспечивается оптимальной влажностью экструдированного материала, давлением и температурой в тракте экструдера.

Крахмал зерна может быть полностью клейстеризован при температуре 120 °С и влажности обрабатываемого сырья 20-30 %. При влажности обрабатываемого сырья менее 20 % полная клейстеризация крахмала наблюдается при температуре значительно выше 120°С [12].

При этом, как некий синергетический эффект этих параметров, выступает степень расширения обрабатываемого материала при выходе из отверстия матрицы экструдера, который может характе-



Рис. 1. Схема основных понятий системного анализа

ризоваться коэффициентом расширения (взрыва) экструдата или его пористостью.

Многочисленные исследования в области экструзии растительного сырья доказывают, что пористая структура экструдатов предопределяет большинство их физических и технологических свойств: индекс расширения, набухаемость, вододерживающую способность, растворимость, жиродерживающую способность [3-5, 11, 12].

В свою очередь пористость экструдатов в значительной степени зависит от количеством содержащихся в обрабатываемом сырье крахмала и воды. Это объясняется тем, что именно интенсивное испарение влаги при выходе обрабатываемого сырья из фильеры матрицы экструдера вызывает ускоренный переход аморфного крахмального геля в стеклообразное состояние. Стенки образовавшихся пор при этом затвердевают, становятся хрупкими, а готовый продукт (экструдат) приобретает те или иные свойства. В свою очередь эти свойства напрямую зависят от интенсивности изменения (в данном случае снижения) температуры материала, находящегося в аморфном состоянии и стеклования крахмального клейстера [12].

Таким образом, характер охлаждения экструдата после выхода его из фильеры матрицы машины может рассматриваться в качестве одного из основных факторов, влияющих на формирование свойств получаемого продукта. Технологическим параметром экструзионного процесса, объективно влияющим на интенсивность (скорость) охлаждения экструдата является величина давления (вакуума) в вакуумной камере термовакуумного экструдера [3-5, 11].

Следующим важным аспектом анализа механизма формирования пористой структуры экструдатов, являются физико-механические и химические свойства ингредиентов обрабатываемого сырья.

Семена рапсового масла в отличие от зерна пшеницы, ржи, кукурузы и др. зерновых имеют повышенное содержание липидов и клетчатки, что существенно ограничивает технические возможности современных экструдеров.

Процесс экструдирования подобного по содержанию пищевых веществ сырья можно оптимизировать за счет его переработки в смеси с зерном пшеницы, в состав которого входит достаточно много крахмала, что в свою очередь позволит значительно интенсифицировать процесс порообразования в готовом продукте.

При этом следует учитывать, что в процессе экструдирования пищевые волокна являются мощными конкурентами крахмала за обладание частью воды, находящейся в смеси.

На качество получаемого экструдата влияет не только влажность обрабатываемой смеси, но и содержание воды в каждом ингредиенте, входящем в эту смесь. При этом суммарная влажность обрабатываемого сырья ограничивается тем, что за один

проход рабочего тракта машины максимальное снижение влаги в экструдате, как правило, не превышает 50% от ее содержания в сырье. Некоторое увеличение этого показателя связано с существенным повышением температуры обработки сырья, что не всегда является рациональным.

При производстве экструдатов с повышенным содержанием липидов нагрев обрабатываемого сырья необходимо ограничивать температурой 100-105°C, а полученный продукт должен быть охлажден и обезвожен до содержания влаги 6-7% максимально быстро после выхода из фильеры матрицы экструдера [5].

Изложенные выше сведения являются весомым аргументом того, чтобы в качестве комплексного критерия для модели функционально-технологических свойств (ФТС) экструдата смеси семян рапсового масла и зерна пшеницы был предложен коэффициент расширения (взрыва), объективно и с достаточной полнотой характеризующий развитость пористой структуры получаемого полуфабриката.

Завершается системный анализ экструдата смеси семян рапсового масла и зерна пшеницы оценкой роли доминирующих компонентов и факторов в полученной модели ФТС.

Учитывая, что в общем случае под понятием «система» – понимается абстрактный, рациональный образ объекта, представленный как набор переменных, отражающих его свойства, в качестве конечной цели моделирования могут быть соотношение ингредиентов в смеси, технические характеристики экструдера, технологические параметры его работы и др. Эти данные могут быть представлены в виде графиков, уравнений или диаграммы вида «состав-свойства».

Выводы

Анализ выполненных ранее работ в области методологии системного подхода к моделированию многокомпонентных продуктов питания, позволил обосновать алгоритм действий при разработке модели экструдата смеси рапсового масла пятнистой и зерна пшеницы. Обоснован комплексный критерий для модели функционально-технологических свойств (ФТС) экструдата с учётом взаимодействия его ингредиентов. Таким критерием может быть коэффициент расширения (взрыва) экструдата, объективно характеризующий степень развитости пористой структуры объекта исследований.

Литература

- [1] Алексеев, В.И. Системный анализ физико-химических закономерностей в технологии пищевых продуктов/В.И. Алексеев // Известия ТИПРО. 2004. Т. 136. С. 326-333.
- [2] Коновалов, К. Л. Белково-липидные композиты повышенной биологической ценности, ориентированные на достижение максимального технологического эффекта /К.Л. Коновалов, М.Т. Шулбаева, А.И. Лосева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. №1. С. 51-55.
- [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. №1. С. 30-35.
- [6] Лепешкин, А.И. Проектирование состава продуктов питания с заданными свойствами: учебно-методическое пособие /А.И. Лепешкин, Л.А. Надточий, А.Ю. Четчина. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2020. 46 с. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/190807> (дата обращения: 08.11.2023). Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [7] Мусина, О.Н. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания /О.Н. Мусина, П.А. Лисин //Техника и технология пищевых производств. 2012. №4. С. 1-6.
- [8] Николаева, С.В. Системный анализ многокомпонентных пищевых объектов и технологий в условиях информационной неопределенности : автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. тех. наук: 05.13.01 / Николаева Светлана Владимировна. – Воронеж, 2013. 35 с.
- [9] Овсянников, В.Ю. Системный подход к анализу пищевых производств. Курс лекций по дисциплине «Теория технологического потока». <https://en.ppt-online.org/291015> (дата обращения: 06.11.2023). – Режим доступа: свободный.
- [10] Семенкина, Н. Г. Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием продуктов переработки расторопши пятнистой : автореф. дис.канд. техн. наук : 05.18.01 / Семенкина Наталья Геннадьевна. – М., 2010. – 26 с.
- [11] Шматкова, Н.Н. Перспективы применения композитной смеси в технологии хлебобулочных

References

- [1] Alekseev, V.I. System analysis of physico-chemical patterns in food technology/V.I. Alekseev // Izvestiya TINRO. 2004. Vol. 136. pp. 326-333.
- [2] Konovalov, K. L. Protein-lipid composites of increased biological value, focused on achieving maximum technological effect /K.L. Konovalov, M.T. Shulbaeva, A.I. Loseva [et al.] // Storage and processing of agricultural raw materials. 2011. No. 1. pp. 51-55.
- [3] Kurochkin, A. A. Regulation of functional and technological properties of extrudates of vegetable raw materials / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2012. No.4.– pp. 86-91.
- [4] Kurochkin, A.A. Regulation of the structure of extrudates of starch-containing grain raw materials /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2013. No. 4. pp. 94-99.
- [5] Kurochkin, A. A. Modeling of the process of obtaining extrudates based on a new technological solution / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //The field of the Volga region. 2014. No. 1. pp. 30-35.
- [6] Lepeshkin, A.I. Designing the composition of food products with specified properties: an educational and methodological manual /A.I. Lepeshkin, L.A. Nadtochiy, A.Yu. Chechetkina. – Saint Petersburg : NRU ITMO, 2020. – 46 p. – Text: electronic // Lan: electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/190807> (accessed: 08.11.2023). Access mode: for authorization. users.
- [7] Musina, O.N. System modeling of multicomponent food products /O.N. Musina, P.A. Lisin //Equipment and technology of food production. 2012. No. 4. pp. 1-6.
- [8] Nikolaeva, S.V. System analysis of multicomponent food objects and technologies in conditions of information uncertainty : abstract. dis. on the job. uch. step. Doctor of Technical Sciences: 05.13.01 / Nikolaeva Svetlana Vladimirovna. – Voronezh, 2013. 35 p.
- [9] Ovsyannikov, V.Yu. A systematic approach to the analysis of food production. A course of lectures on the discipline «Theory of technological flow». <https://en.ppt-online.org/291015> (accessed: 06.11.2023). – Access mode: free.
- [10] Semenkina, N. G. Development of bakery products technology using milk thistle processing products : abstract. dis.Candidate of Technical Sciences : 05.18.01 / Semenkina Natalia Gennadievna. – M., 2010. – 26 p.
- [11] Shmatkova, N.N. Prospects for the use of composite mixtures in the technology of bakery products for functional purposes / N.N. Shmatkova, P.K. Voronina // Innovative equipment and technology. 2015. No. 3 (4). pp. 17-22.
- [12] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting

изделий функционального назначения //Н.Н. Шматкова, П.К. Воронина //Иновационная техника и технология. 2015. № 3 (4). С. 17-22.

properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. Vol. 19. e01532.

- [12] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. T. 19. e01532.

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>Шматкова Наталья Николаевна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(909) 315-04-29 E-mail: n.shmatkova2014@list.ru</p>	<p>Shmatkova Natalia Nikolaevna postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(909) 315-04-29 E-mail: n.shmatkova2014@list.ru</p>