

Annotation. *This article explores the possibility of improving the extraction of vegetable protein from hemp cake using ultrasonic treatment. The extraction rate and increase in protein yield depend on operating conditions, such as ultrasound frequency and amplitude, substrate-to-water ratio, and sonication time. Experiments were carried out with various ultrasonic treatment modes, and parameters affecting the yield of vegetable protein were determined.*

Key words: *ultrasonic treatment, extraction, vegetable protein, hemp cake.*

УДК 664.66.022.39

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ

Шафрай Антон Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерного дизайна, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: shafraia@mail.ru

Попов Анатолий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: popov4116@yandex.ru

Косинов Виталий Сергеевич, магистрант кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: kosinov_vs@mail.ru

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
Российская Федерация, г. Кемерово, rector@kemsu.ru

Аннотация: в работе описывается подход к проектированию функциональных гранулированных продуктов на примере быстрорастворимых киселей с помощью методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей. Рассмотрены вопросы формирования наборов данных для обучения моделей и порядок их применения при проектировании продукта.

Ключевые слова: функциональное питание, гранулирование, искусственный интеллект, машинное обучение, искусственные нейронные сети.

Способность быстро реагировать на изменение рыночной ситуации, предлагать рынку востребованные продукты, в первую очередь, свойственна сельскохозяйственным и пищевым предприятиям малого и среднего бизнеса. Если они могут за короткий промежуток времени перестроить технологические

процессы, начать выпуск другого продукта, например, функциональный пищевой концентрат для увеличения выносливости или укрепления иммунитета, то такие производства будут иметь устойчивое развитие, а, следовательно, развивать региональную и федеральную экономику. Чтобы иметь такие преимущества, нужно уже на этапе проектирования производства закладывать возможность расширения продуктовой линейки или изменения выпускаемого ассортимента. Это трудная задача и решить ее при проектировании малых и средних производств достаточно сложно. В научных работах подобные проблемы относятся к задачам оптимизации и решаются, в основном, с помощью методов линейного или нелинейного программирования, при этом рассматриваются достаточно ограниченное количество параметров, в виду сложности получаемых уравнений [1]. Использование технологий искусственного интеллекта должно помочь нивелировать эти ограничения.

Для решения описанных задач требуются подходы, способные как повысить качество продуктов, оптимальность процесса, так и проектировать продукты с заданными свойствами и технологические линии, способные их производить. Для создания таких подходов может использоваться машинное обучение и искусственные нейронные сети. Подход будет рассматриваться на примере производства функциональных гранулированных киселей.

В программах развития каждой страны машинное обучение (ML, сюда же относятся и нейронные сети) отнесено к важнейшим технологиям, приближающим становление четвертой промышленной революции. С его помощью в сельскохозяйственной и пищевой промышленности можно решить общие задачи: контроля качества, оптимизации работы оборудования и технологических процессов, проектирования новых продуктов, их рецептур, технологических линий и производств. Использование ML-моделей технологических процессов позволит в разы ускорить наладку процессов производства функциональных пищевых концентратов с заданными свойствами для разных групп населения: военнослужащих, населения, проживающего на территориях с высокой антропогенной нагрузкой, детей, спортсменов.

В текущей работе сельскохозяйственных и пищевых производств малого и среднего бизнеса или при их проектировании могут возникать взаимосвязанные задачи, которые можно разделить на три группы. К первой группе относятся задачи проектирования нового продукта, который должен соответствовать установленным критериям качества и который требует рынок. Для продукта нужно подобрать подходящее сырье и оборудование, рецептуру и технологические процессы.

Ситуация может быть иной, когда производство или располагается, или планируется на территории, где есть доступ к определенному сырью. В этом случае требуется подобрать продукт, который может быть создан, определив показатели его качества, оборудование, и определить соответствующую рецептуру и технологические процессы.

Также может быть и третий случай, когда имеется некоторое оборудование и производителю нужно подобрать продукт, который он сможет на нем производить и сырье, требуемое для этого. При этом идентифицируется

рецептура и соответствующие технологические процессы.

Во всех случаях должно обеспечиваться формирование качества и экономическая эффективность производства. Проектирование функциональных гранулированных продуктов можно осуществить с помощью методов машинного обучения, при этом создаются соответствующие модели.

В общем случае в модель подается вектор входных значений X (состоящий из признаков x_1, x_2, \dots, x_n), а в ответ модель должна сгенерировать какое-то значение y , причем вид ответа зависит от решаемой задачи. Этот процесс называется обучением модели. Основные действия, выполняемые моделями машинного обучения, обычно делят на три задачи: регрессии (или предсказания), классификации и кластеризации.

При решении задачи регрессии модели требуется предсказать какое-то число, иногда говорят предсказать количественную переменную. Данную задачу решают с помощью методов: линейной регрессии, полиномиальной регрессии, деревьев и лесов, и их ансамблей.

В задаче классификации модель принимает решение, к какому классу принадлежит объект (входные данные, соответствующие какому-то объекту), иногда говорят предсказать, значение качественной переменной. Для ее решения используются методы: kNN, деревьев и лесов, линейных классификаторов, наивного Байеса и их ансамблей.

При решении задачи кластеризации модели нужно разделить множество входных данных, которые соответствуют некоторым объектам, на группы (кластеры), при этом количество групп может быть, как известно заранее, так и устанавливаться самой моделью. Для кластеризации используются следующие методы: FOREL, k-means, c-means, связанных компонент и других.

Отдельно стоят методы машинного обучения, которые называются искусственными нейронными сетями (artificial neural network, ANN). Иногда их причисляют целиком к машинному обучению, но чаще они упоминаются самостоятельно. По ГОСТу 33707-2016 нейронная сеть - сеть простых элементов обработки, соединенных взвешенными связями с регулируемыми весовыми коэффициентами, в которой каждый элемент вырабатывает некоторое значение путем применения нелинейной функции к входным значениям и передает это значение другим элементам или представляет его как выход [2]. ANN принимает на вход вектор значений X и моделирует значение y , решая задачу регрессии или классификации.

Для создания моделей проектирования функциональных гранулированных продуктов требуются наборы данных, именуемые датасетами (dataset). Исходя из приведенных выше задач должны быть сформированы датасеты по следующим объектам: продукт, сырье, рецепт, технологический процесс, оборудование.

Любой продукт можно идентифицировать с помощью показателей качества. Открытым остается вопрос о том, какие именно показатели качества необходимы и достаточны для идентификации, также выбранные показатели качества еще должны быть на определенном уровне.

За основу могут быть взяты следующие группы показателей качества:

органолептические показатели, пищевая ценность, безопасность, структурно-механические свойства, функциональность [3]. Полный список показателей приведен на рисунке 1. Отдельно стоит отметить группу стоимостных показателей качества, она потребовалась для того, чтобы связать все компоненты производства в виде системы и, в конечном итоге, появилась возможность говорить об экономической эффективности производства [4-5].

В основе качества любого продукта лежит качество сырья, из которого он изготовлен. Основным сырьем в работе выступают ягоды и фрукты. Для их идентификации и раскрытия свойств лучше всего использовать химический состав. Основным источником таких данных может являться справочник химического состава российских пищевых продуктов под редакцией члена-корреспондента МАИ, профессора И.М. Скурихина и академика РАМН, профессора В.А. Тутельяна, последняя редакция которого была в 2002 году.

Подбор оборудования для преобразования исходного сырья в готовую продукцию может осуществляться по двум способам. В первом случае по классической схеме технологический расчет и подбор оборудования сводится к выбору и определению требуемого количества технологических единиц в зависимости от производственных мощностей предприятия с целью выполнения тех или иных операций, а также построению циклограммы (тактограммы) его использования. Саму же номенклатуру оборудования для каждого цеха определяют на основе предполагаемого ассортимента выпускаемой продукции.

По второму способу, который наиболее приемлем с точки зрения применения машинного обучения и нейронных сетей для проектирования пищевых производств, подбор оборудования должен осуществляться на основе теории технологического потока, предложенной академиком В.А. Панфилов. Согласно данной теории, технологическая линия представляется в виде процессоров и операторов, объединенных в подсистемы получения готового продукта, полуфабриката и обработки исходного сырья. Процессоры показывают какой вид воздействия необходим на сырье с целью получения готового продукта с заданными показателями качества. Это позволяет разрабатывать технологическую линию без привязки к оборудованию и лишь после этого осуществить его подбор. Данная методика позволяет повысить эффективность разрабатываемых технологических решений.

Датасет для обучения моделированию рецептов может быть получен из технологических инструкций и технических условий производства гранулированных продуктов предприятий, таких как, ООО НПО «Здоровое питание» (г. Кемерово) и ООО «Арт Лайф» (г. Томск). При этом рецептура должна также проходить проверку качества, для этого, например, могут использоваться критерии биологической оценки сбалансированности многокомпонентных продуктов питания, предложенные академиками Н.Н. Липатовым (мл) и И.А. Роговым. Эти критерии возможно использовать как в обучающих данных, так и в функциях потерь, функциях отвечающих за точность моделей машинного обучения.

После составления рецепта следует идентифицировать процессы, с помощью которых сырье будет обработано для получения конечного продукта.

Для этого удобно применять теорию технологического потока, предложенную академиком В.А. Панфилов, представляя процессы в виде процессоров и операторов. Получить набор данных для обучения такой модели можно из технологических инструкций, описанных выше.

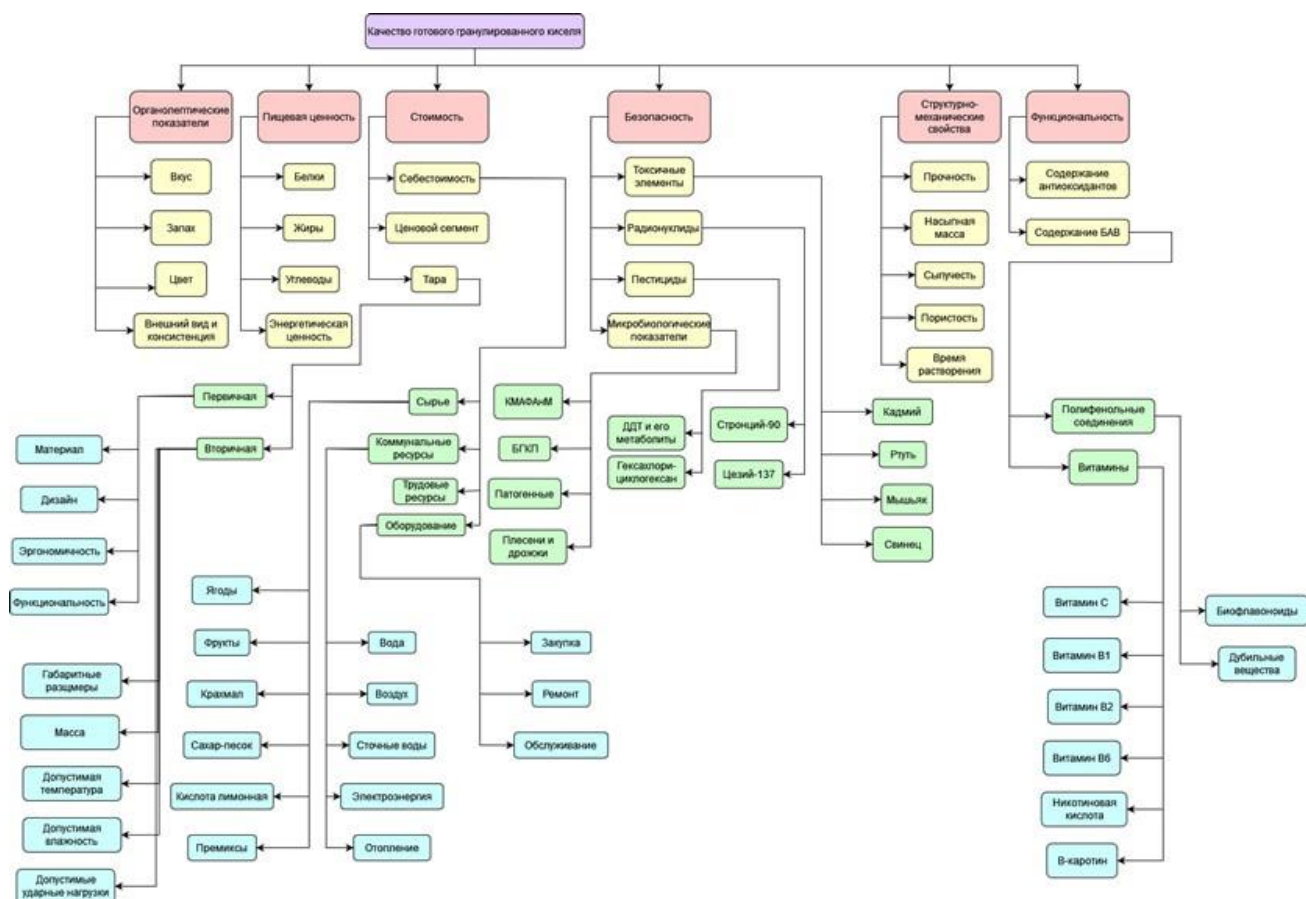


Рисунок 1 – Показатели качества гранулированного киселя

Закончить проектирование продукта нужно оценкой экономической эффективности производства (ЭЭП), ведь в условиях рыночной экономики это главное мерило, по которому оценивают целесообразность какого-либо производства [6].

Все определенные модели работают вместе для достижения единого результата, поэтому целесообразно говорить об ансамбле моделей. Для любого ансамбля, как и модели, нужно определять точность и адекватность. Первоначально точность можно подсчитать с помощью датасетов, используемых при разработке. Потому что в них есть обучающая, валидационная и тестовая части, в свою очередь, тестовая как раз применяется для подсчета точности моделей. Адекватность и точность можно подсчитать, используя критерии формирования качества (ФК), предложенные В.А. Панфиловым в теории технологического потока.

Подытоживая вышеприведенные заключения, можно составить следующую поэтапную схему для моделирования процесса проектирования продукта (П), при доступном сырье:

$$П \rightarrow сырье \rightarrow рецепт \rightarrow процесс \rightarrow оборудование \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК. (1)$$

Другая цепочка моделирования складывается, если начинать процесс с подбора оборудования:

$$П \rightarrow оборудование \rightarrow сырье \rightarrow процесс \rightarrow рецепт \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК. (2)$$

Когда речь идет о подборе продукта для имеющегося сырья или оборудования, то входными параметрами становятся сырье или оборудование соответственно. На следующих этапах встают уже описанные переменные, в разных сочетаниях, но суть построения датасетов и моделей остается та же. В результате получаются следующие цепочки:

$$сырье \rightarrow П \rightarrow рецепт \rightarrow процесс \rightarrow оборудование \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК; (3)$$

$$сырье \rightarrow оборудование \rightarrow процесс \rightarrow рецепт \rightarrow П \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК; (4)$$

$$оборудование \rightarrow сырье \rightarrow процесс \rightarrow рецепт \rightarrow П \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК; (5)$$

$$оборудование \rightarrow П \rightarrow сырье \rightarrow процесс \rightarrow рецепт \rightarrow ЭЭП \rightarrow ФК. (6)$$

Анализируя все схемы процессов моделирования (1) - (6), можно их свести к единой принципиальной схеме моделирования при проектировании продукта (рисунок 2).

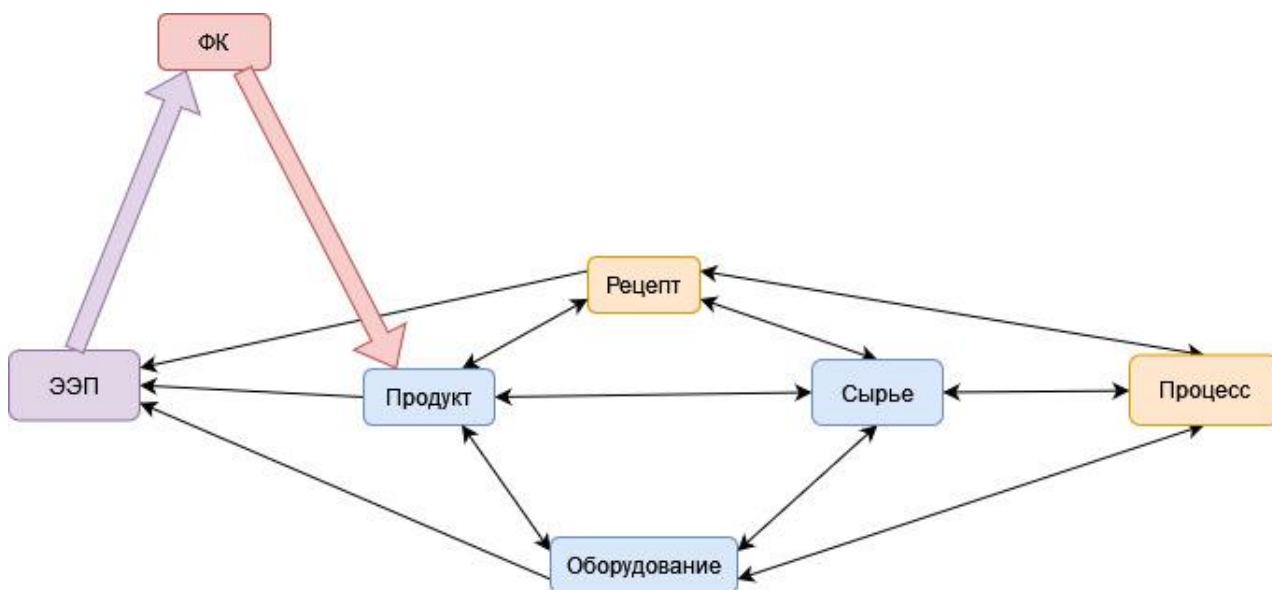


Рисунок 2 – Принципиальная схема моделирования при проектировании продукта

Любая цепь моделирования заканчивается оценкой экономической эффективности производства проектируемого продукта, позволяющая лицу,

принимающему решение, сделать вывод о целесообразности производства. Сама оценка производится стандартными экономическими методами. Этапом обратной связи является проверка формирования качества, которая может быть сделана после моделирования на производстве с помощью статистических методов.

Библиографический список

1. Перов В. Л., Бельков В. П., Савицкая Т. В. Проектирование многоассортиментных химико-технологических систем с учетом гибкости. Ч.2. Практическое использование критерия гибкости // Известия вузов. Серия: «Химия и хим. технология». 2001. № 44 (4). С. 93-97.
2. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) Информационные технологии. Словарь. Введ. 2017-09-01. СтандартИнформ. 206 с.
3. Исследование дисперсного состава и прочности гранул инстантированных напитков / Плотников К. Б., Плотникова И. О., Плотников И. Б., Доня Д. В., Иванов П. П. // Пищевая промышленность. 2022. №1. С. 29-31.
4. Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б., Аксенов, И. В. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: МР 2.3.1.0253-21. Москва: Роспотребнадзор, 2021. 72 с.
5. Тутельян, В. А. Новые риски и угрозы в области обеспечения безопасности пищевой продукции // Мясные технологии. 2021. №8 (262). С. 22-28.
6. Галстян, А. Г., Аксенова, Л. М., Лисицын, А. Б. Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов // Вестник Российской академии наук. 2019. № 89 (5). С 539-542.
7. Modeling the Physiological Parameters of Brewer's Yeast during Storage with Natural Zeolite-Containing Tuffs Using Artificial Neural Networks / Shafrai, A.V., Permyakova, L.V., Borodulin, D.M., Sergeeva, I.Y. // Information (Switzerland). 2022. № 13 (11), p. 529
8. Ранжирование сенсорных характеристик пищевых продуктов с помощью нейронных сетей / Резниченко И.Ю., Шафрай А.В., Рубан Н.Ю., Донченко Т.А. // Пищевая промышленность. 2023. № 3. С. 97-101.
9. Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows / Borodulin D.M., Bakin I.A., Sukhorukov D.V., Ratnikov S.A. // В сборнике: International scientific and practical conference "Agro-SMART - Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018). 2018. С. 685-689.
10. Innovative technologies in production of malt extract / Safonova E.A., Borodulin D.M., Ivanets V.N., Komarov S.S., Sidorin K.M. // В сборнике: International scientific and practical conference "Agro-SMART - Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018). 2018. С. 610-614.
11. Research of extractors for the extraction of target components from plant materials of various internal structures / Prosin M., Borodulin D., Safonova E.,

Golovacheva Y. // В сборнике: E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. С. 01031.

12. Сычев, Р. В. Формирование урожая и пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от уровня азотного питания и применения фиторегуляторов в условиях Центрального района Нечерноземной зоны : специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Сычев Роман Витальевич. – Москва, 2010. – 17 с.

DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE APPROACH TO DESIGNING FUNCTIONAL GRANULATED PRODUCTS

Shafray Anton Valerievich, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Engineering Design, Kemerovo State University, e-mail: shafraia@mail.ru

Popov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, e-mail: popov4116@yandex.ru

Kosinov Vitaly Sergeevich, master's student of the department of mechatronics and automation of technological systems, Kemerovo State University, e-mail: kosinov_vs@mail.ru

Kemerovo State University, Russian Federation, Kemerovo, rector@kemsu.ru

Abstract: *The paper describes an approach to the design of functional granular products using the example of instant jelly using machine learning methods and artificial neural networks. The issues of generating data sets for training models and the procedure for their use in product design are considered.*

Keywords: *functional nutrition, granulation, artificial intelligence, machine learning, artificial neural networks.*
