УДК 664.8:338.43

ПРОИЗВОДСТВО СУХИХ ЗАВТРАКОВ ИЗ КОМБИНИРОВАННОГО МЯСОРАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭКСТРУЗИОННОЙ УСТАНОВКЕ

♦♦♦♦♦

PRODUCTION OF DRY BREAKFASTS FROM COMBINED MEAT AND VEGETABLE RAW MATERIALS ON AN AUTOMATED EXTRUSION PLANT

Медведев А.М.
Кубанский государственный технологический университет

Касьянов Г.И.
Российская инженерная академия

Яренков М.А.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Проблема автоматизации процессов производства многокомпонентной снековой продукции весьма актуальна. Цель исследования заключалась в математическом моделировании процесса экструзионной обработки агропищевого сырья при производстве сухих завтраков. К конкретным результатам исследования относится разработка математической модели оптимизации состава сырья, расчёт оптимального состава и реализована проверка выполнения ограничений содержания нутриентов по технологической инструкции, схема установки для удаления влаги из сырья нагретым диоксидом углерода, план этапов двухстадийной сушки плодов, схема автоматизированной экструзионной установки, графики контроля за содержанием влаги и каротиноидов в объектах исследования. Выполненные исследования вошли в состав диссертационной работы первого автора статьи.

Ключевые слова: мясорастительное сырье, экструзия, сухие завтраки, математическое моделирование, автоматизированная экструзионная установка.

Medvedev A.M.
Kuban State Technological University

Kasyanov G.I.
Russian Engineering Academy

Yarenkov M.A.
Kuban State Technological University

Annotation. The automation of multi-component snack production processes is a highly relevant issue. The objective of this study was to mathematically model the extrusion processing of agro-food raw materials in the production of breakfast cereals. Specific research results include the development of a mathematical model for optimizing raw material composition, calculating the optimal composition, and verifying compliance with nutrient content restrictions according to the process instructions. A diagram of a unit for removing moisture from raw materials using heated carbon dioxide is presented, a plan for the stages of two-stage fruit drying, a diagram of an automated extrusion unit, and graphs for monitoring moisture and carotenoid content in the test samples. The completed research is included in the dissertation of the first author of this article.

Keywords: meat and vegetable raw materials, extrusion, dry breakfasts, mathematical modeling, automated extrusion unit.

Продукты быстрого питания, типа снеков или сухих завтраков, относятся к продуктам специализированного назначения [1]. Они, как правило, низкокалорийные и позволяют утолять чувство голода между основными приемами пищи. Обработка пищевого сырья электромагнитным полем низкой частоты позволяет снизить бактериальную обсемененность и оптимизировать функциональные свойства [2]. Есть информация о влиянии ЭМП НЧ на структуру воды в растительных и животных тканях.

С появлением интернет-технологий появилась возможность организовать имитационное функционирование средств дистанционного контроля параметров объекта измерений [3]. На кафедре автоматизации КубГТУ накоплен опыт создания систем управления тепломассообменными процессами объектов исследования [4, 8].

На кафедре технологического оборудования и систем жизнеобеспечения выполнены фундаментальные исследования по совершенствованию техники и технологии сухих завтраков из комбинированного агропищевого сырья [5, 11, 12]. Выполненный цикл работ позволил запатентовать и внедрить в опытно-промышленное производство изготовление отечественных снеков и сухих завтраков. Ряд работ посвящен разработке экструдированных мясорастительных продуктов [6, 10]. Особое внимание уделяется использованию методов математической статистики в контроле за параметрами качества сырья и готовой продукции в период хранения [7].

Разработаны способы контроля параметров процесса экструзии масличного сырья на двухшнековом экструдере [9, 14]. Зарегистрирована программа для ЭВМ контроля за степенью обезвоживания объектов бахчевых культур [13]. Выполненный обзор литературы выявил основные преимущества и возникающие проблемы при производстве многокомпонентных продуктов питания.

Разработка рецептур сухих завтраков требует согласования требований пищевой ценности продукта с органолептическими свойствами. Возможна оптимизация состава и органолептических показателей готового продукта с минимально возможным гликемическим индексом. При разработке рецептур продуктов с минимально возможным гликемическим индексом мы базировались на принципах пищевой комбинаторики. Исходными компонентами моделирования состава явилось сырье, содержащее необходимые нутриенты. При моделировании состава разрабатываемых продуктов учитывали суточную потребность в нутриентах и допустимые нормы их содержания в оптимальной рецептуре. Адекватный и верхний допустимый уровень потребления питательных веществ определяли на основе МР 2.3.1.2432.

Математическая модель оптимизации состава должна учитывать органолептические характеристики комбинированного продукта. Решение представленной задачи находили методом экспертных оценок, при котором органолептические показатели определяются на основе ранжирования мнения экспертов при попарном сравнении предложенных образцов. Ставилась задача разработать алгоритм оптимизации, который позволил бы моделировать продукты с максимально возможным значением органолептических показателей при условии оптимальной сбалансированности нутриентов (белки-жиры-углеводы) и с минимально возможным гликемическим индексом. Для этих целей использовалась многокритериальная оптимизация показателя сбалансированности состава, оценки органолептических свойств, на основе методов регрессионного анализа и математического программирования, реализованных средствами математических программных сред Statistica и MathCAD.

На первом этапе устанавливается связь органолептического критерия Ko с количественным составом X рецептуры, где $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$ – вектор с весами (г или мг) каждого продукта в смеси, методом регрессионного анализа рейтинговой оценки органолептических показателей. Исходными данными для получения регрессионной модели органолептической оценки являются данные дегустационного анализа продукта на контрольной группе испытуемых.

На втором этапе проводится свёртка критериев по мультипликативной модели несимметричных функций желательности. Расчёты проведены в MathCAD. Закон смешивания j-тых показателей-ингредиентов (углеводы, железо и т.д.), содержащихся в каждом i-том компоненте смеси (ягоды, зерно, орехи и т.д.), предполагался аддитивным (линейным):

$$b_j(X) = \sum_{i=1}^{n} A_{i,j} x_i, \quad (1)$$

где $A_{i,j}$ – исходные данные по содержанию j-го показателя-ингредиента, $1 \le j \le N$, в i-том компоненте, $1 \le i \le n$.

Требуемое эталонное сбалансированное содержание показателей-ингредиентов взято из табличных данных. Отклонения показателей в любую сторону нежелательны, поэтому они должны входить в интервал j-го частного критерия сбалансированности по j-му показателю-ингредиенту применимо к произведению кривых Гомперца:

$$K_j(b_j) = e^{-e^{-r(b_j - s)} - e^{u(b_j - w)}}, \quad (2)$$

где параметры s – середина между неприемлемым дефицитом и нижней границей нормы показателя-ингредиента, w – середина между неприемлемой передозировкой и верхней границей нормы показателя-ингредиента; если r может быть обратно пропорциональным крутизне левого подъёма, то *u* должно быть обратно пропорционально крутизне правого спада.

Критерий сбалансированности (от 0 до 1) смеси по мультипликативной модели имеет вид:

$$K_S(X) = \sqrt[N]{K_1(b_1) \cdot K_2(b_2) \cdot \ldots \cdot K_N(b_N)}. \quad (3)$$

Критерий K_{GI} для гликемического индекса может быть вычислен следующим образом:

$$K_{GI}(X) = K_{N+1}\left(\sum_{i=1}^{n} ГИ_i \cdot A_{i,j=углеводов} x_i\right). \quad (4)$$

Свёртка критериев Ko, Ks и K_{GI} предлагается как функция желательности всей смеси, трактуемой в % от «идеального»:

$$K(X) = 100\sqrt[3]{K_O(X) \cdot K_S(X) \cdot K_{GI}(X)} \xrightarrow[X=?]{} \max \quad (5)$$

Максимизация критерия (6) с указанием допустимого множества положительность аргументов, ограничения содержания компонентов-нутриентов, показателей-ингредиентов по МР 2.3.1.2432 составляет постановку задачи оптимизации.

На каждом этапе третья задача оптимизации решается методами математического программирования с помощью MathCAD. Произведён расчёт оптимального состава и реализована проверка выполнения ограничений содержания нутриентов по МР 2.3.1.2432.

В результате из нескольких вариантов композиций, приближенных к заданным параметрам, выбирается наиболее сбалансированный и по химическому составу, и по органолептическим показателям, и по гликемическому индексу.

Особенности удаления влаги из сырья

С целью удаления фитиновой кислоты из свежих орехов их предварительно замачивают в сатурированной воде. Для удаления влаги из исследуемого сырья с целью сокращения времени технологического цикла использовали разработанную установку для обезвоживания сырья в среде диоксида углерода.

На рисунке 1 приведена схема установки для сушки агропищевого сырья.

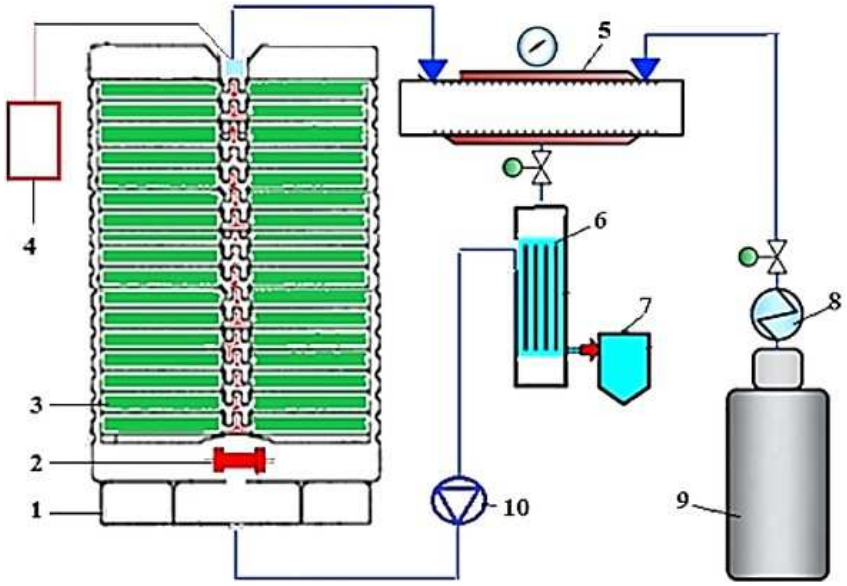

Рисунок 1 – Установка обезвоживания агропищевого сырья в среде CO_2:
1 – поддон для инертного газа; 2 – ТЭН; 3 – лотки с сырьем; 4 – генератор ЭМП НЧ;
5 – конденсатор; 6 – сепаратор; 7 – сборник воды; 8 – редуктор; 9 – баллон; 9 – насос

Сушильная камера устройства для обезвоживания растительного сырья помещена в термоизолированный корпус и установлена на основание с поддоном для всасывания диоксида углерода. В междурядье проходит вытяжная труба, имеющая патрубки для отработанного газа и соединяющая полость для всасывания диоксида углерода с конденсатором. Отличительной особенностью установки является возможность регенерации отработанного диоксида углерода, ожижения его в конденсаторе

для последующего возврата в цикл. Рядом с теплоизолированным корпусом установлен генератор электромагнитного поля низкой частоты с излучателями, установленными и внутри сушильной камеры. Осуществляется интенсификация процесса обезвоживания пастильных масс за счет их пропитки сжиженным углекислым газом при давлении выше атмосферного с последующим резким сбросом давления, сушки сырья в среде углекислого газа и воздействии на обрабатываемую массу амплитудномодулируемого ЭМП НЧ с частотой 18–55 Гц. Низкая температура обезвоживания позволяет получать продукт без разрушения витаминных и биологически активных комплексов.

В процессе обезвоживания сырья важной задачей является достижение заданной влажности W продукта с минимальным разрушением его каротиноидного состава.

Эту задачу можно решить в рамках формализации процесса сушки с термобарическим режимом с экстремалями T(t) и P(t), максимизирующим содержание каротиноидов в каждом j-м этапе сушки – в моменты времени $t_к^j$, при заданных параметрах Wk^j на влажность. Здесь верхний индекс j = 1 и j = 2 указывает номер этапа комбинированной сушки: j = 1 гелио и j = 2 в среде инертного газа. Необходимо решить задачу поиска условного экстремума функционала при смешанных ограничениях (изопериметрическая задача при ограничениях типа неравенств):

$$vit\ C_{к}^{j} \xrightarrow[T(t)=?,\ P(t)=?]{} max, \tag{6}$$

$$W^j\left(t_к^j\right) = W_к^j, \tag{7}$$

при $$T^j(t) \geq 0; \quad P^j(t) \geq 0, \ 0 \leq t \leq t_к. \tag{8}$$

Для полной постановки задачи (6) (8) необходимо указать зависимости целевого функционала (6) и уравнения связи типа равенства (7) от переменных по времени t температуры T(t) и давления P(t) термобарического режима сушки. Необходимо построение модели прогноза величин показателей качества продукта с течением времени, если известны их величины в некоторый начальный момент времени. Общий вид регрессионной модели с интегралом памяти (типа Вольтерра, 2 рода), учитывающий предысторию процесса, для некоторого показателя R следующий:

$$R(t) = f(t, W(t), T(t)) + \int_0^t K(t-\tau, W(\tau), T(\tau), R(\tau))d\tau, \tag{9}$$

где вид функций f и K (ядро типа свёртки) должен быть задан. Если ядро K линейно по W, T с множителем P, а также линейно либо показательно (т.е. с «кратковременной памятью») по времени, то (4) как частный случай интегрального уравнения с вырожденным ядром эквивалентно некоторому релаксационному дифференциальному уравнению, с эффектом затухания или усиления.

По данным профессора С.В. Усатикова, регрессионная модель с памятью получается при ядре K, которое не зависит от показателя R. Можно рассмотреть функции f, квадратичные по W и T, а также K, с кратковременной памятью» по времени:

$$R(t) = R(0) + \int_0^t \left(a_1 T(\tau) + b_1 W(\tau) + a_2 (T(\tau))^2 + b_2 (P(\tau))^2 + cT(\tau)P(\tau)\right) e^{\alpha(\tau - t)} d\tau, \tag{10}$$

где параметры регрессии a_1^j, a_2^j, b_1^j, b_2^j, c^j и a^j определяются для каждого j-го этапа методом наименьших квадратов по N шагам-измерениям с интервалом Δt^j по времени показателя R_i^j в зависимости от влажности W_i^j и температуры зерна T_i^j (1£i£N, 1£j£2). После сплайн-интерполяции функций $W^j(t)$ и $T^j(t)$ по измерениям W_i^j и T_i^j минимизируется функция ошибки:

$$E(a_1, a_2, b_1, b_2, c, \alpha) = \sum_{i=1}^{N} \left(R_i - \left\{ R_0 + \int_0^{i \cdot \Delta t} \left(\begin{array}{l} a_1 T(\tau) + b_1 W(\tau) + a_2 (T(\tau))^2 + \\ + b_2 (P(\tau))^2 + cT(\tau)P(\tau) \end{array} \right) e^{\alpha(\tau - i \cdot \Delta t)} d\tau \right\} \right)^2 . \tag{11}$$

Известно, что стандартные пакеты математической статистики не производят обработку моделей (10) или (11), поэтому необходимо применение средств пакетов MathCAD, Maple, MatLab или Wolfram Mathematica.

Для обогащения состава орехово-зерновых завтраков веществами с антиоксидантной и витаминной направленностью предложено изготавливать пищевые добавки из высушенных плодов. В связи с тем, что в состав сухих завтраков рекомендовано включать плодовый порошок, необходимо спланировать этапы удаления влаги в период конвективной и СВЧ-сушки.

Экспериментальные данные о двухэтапном процессе сушки плодов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Планирование этапов двухстадийной сушки плодов

1 этап с использованием процесса конвективной газовой сушки	№ опыта	Условия опытов			Результаты измерений	
		темп-ра, °С	давление, МПа	влагосодержание начальн., %	каротиноиды мг/100 г	влагосодержание конечн., %
	1	33	32	90	22	74,5
	2	36	34	74,5	21,56	67,5
	3	38	36	67,5	21,10	52
	4	42	38	52	20,76	45,5
	5	44	40	45,5	20,43	41
2 этап досушка в СВЧ-печи	1	35	0,007	41	20,58	35,5
	2	36	0,007	35,5	20,65	28,5
	3	37	0,008	28,5	20,77	20
	4	38	0,008	20	20,83	14,5
	5	38	0,008	14,5	20,88	12

Продолжительность каждого i-го (i = 1, …, N; N = 5) шага опыта j = 1 этапа – 30 мин, продолжительность каждого шага опыта j = 2 этапа – 2 мин.

Обработка по (6) данных таблице 1 в MathCAD v.15 позволила получить следующую связь между термобарическим режимом и показателями сырья (рис. 2):

$$C^j(t) = C_0{}^j + \int_0^t (a_1{}^j T + a_2{}^j T^2 + b_1{}^j P + b_2{}^j P^2 + c^j TP) e^{-\alpha^j (t-\tau)} d\tau, \quad (12)$$

где $\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ c \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3.399 \times 10^{-3} \\ 0.015 \\ 0.022 \\ 0.017 \\ -0.032 \\ 0.143 \end{pmatrix}$ при j = 1 и $\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ c \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.027 \\ 8.742 \times 10^{-4} \\ 0.022 \\ 0.017 \\ -0.027 \\ 0.474 \end{pmatrix}$ при j = 2;

$$W^j(t) = W_0{}^j + \int_0^t (A_1{}^j T + A_2{}^j T^2 + B_1{}^j P + B_2{}^j P^2 + C^j TP) e^{-\beta^j (t-\tau)} d\tau, \quad (13)$$

где $\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ c \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.152 \times 10^{-3} \\ 6.534 \times 10^{-5} \\ -0.015 \\ -5.308 \times 10^{-3} \\ 5.188 \times 10^{-3} \\ -6.887 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$ при j = 1 и $\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ c \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.655 \\ -0.092 \\ 0.396 \\ -1.42 \times 10^{-3} \\ 64.868 \\ 0.396 \end{pmatrix}$ при j = 2.

На рисунке 2 представлена схема автоматизированной экструзионной установки.

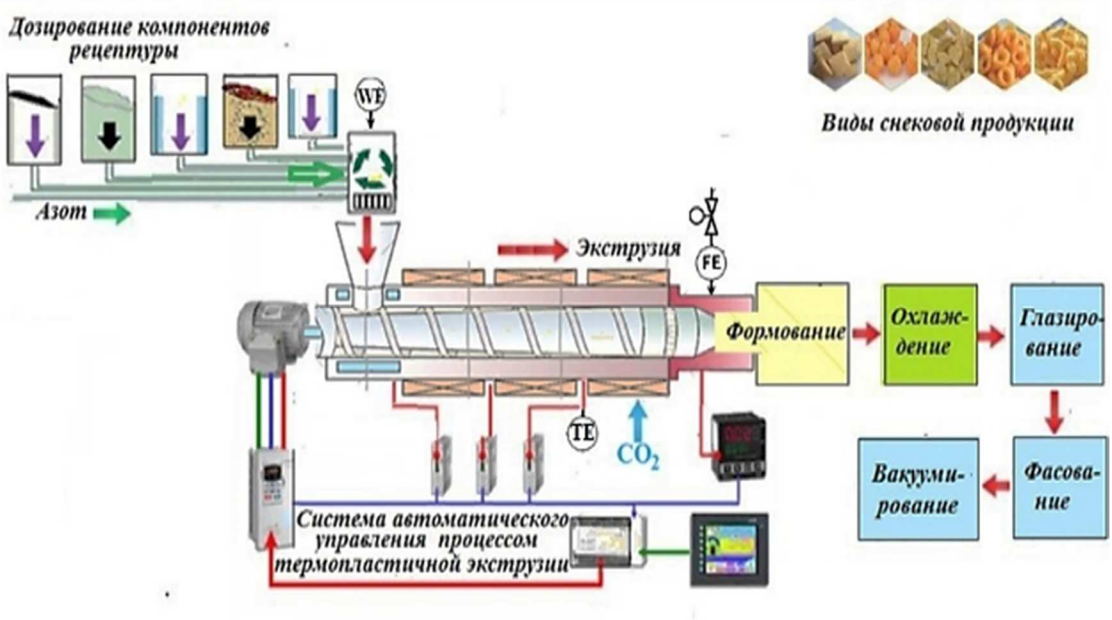

Рисунок 2 – Схема автоматизированной экструзионной установки

Показанная на рисунке 2 установка позволяет осуществлять автоматический контроль параметров производства снековой продукции.

На рисунке 3 приведена графическая модель содержания каротиноидов и влаги в растительном сырье, используемом для производства сухих завтраков.

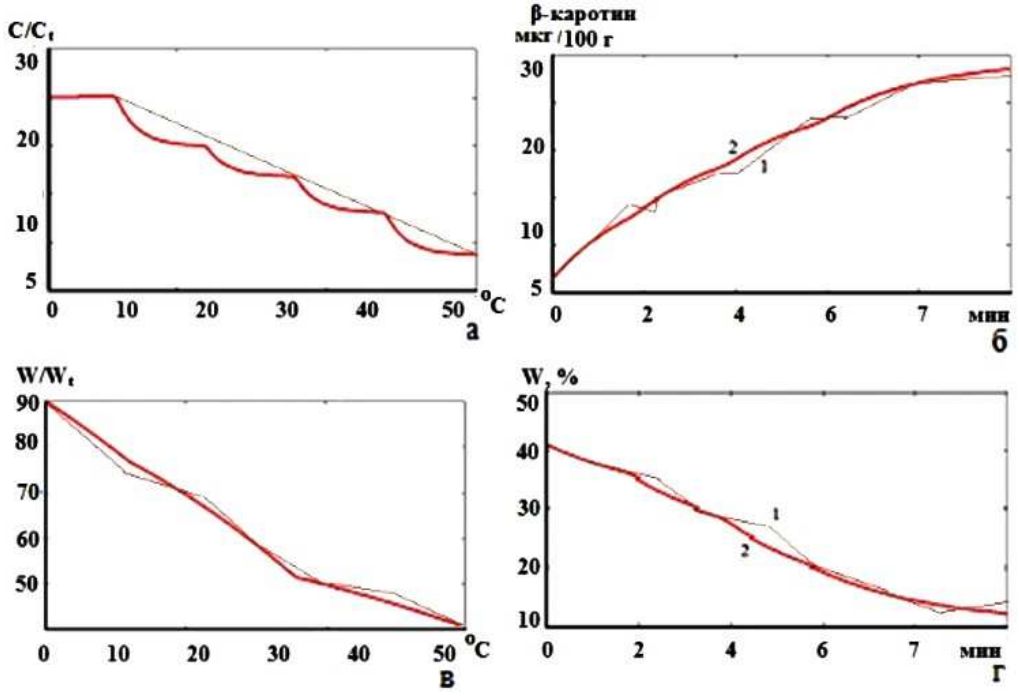

Рисунок 3 – Графическая модель содержания влаги и каротиноидов в растительном сырье, используемом для производства сухих завтраков: (а – j = 1, б – j = 2) и влаги (в – j = 1, г – j = 2)

Судя по данным приведенных графиков, содержание каротиноидов в сырье для сухих завтраков повышается в период удаления влаги.

Заключение. Выполнено исследование по математическому моделированию процесса экструзионной обработки агропищевого сырья при производстве сухих зав-

траков. Разработана математическая модель оптимизации состава сырья, выполнен расчёт оптимального состава и реализована проверка выполнения ограничений содержания нутриентов по технологической инструкции, представлена схема установки для удаления влаги из сырья нагретым диоксидом углерода, подготовлен план этапов двухстадийной сушки плодов, разработана и запатентована схема автоматизированной экструзионной установки, приведены графики контроля за содержанием влаги и каротиноидов в объектах исследования. Результаты исследования вошли в состав диссертационной работы первого автора статьи.

Литература

1. Бородихин А.С. Особенности технологии продуктов специализированного назначения / А.С. Бородихин, А.М. Медведев // В сборнике: Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию со дня образования общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия». – Краснодар, 2025. – С. 346–351.
2. Бугаец Н.А. Модификация белковых продуктов из семян кунжута обработкой электромагнитными полями крайне низких частот для оптимизации функциональных свойств / Н.А. Бугаец, С.В. Усатиков // В сборнике: Олимпийское наследие и крупномасштабные мероприятия: влияние на экономику, экологию и социокультурную сферу принимающих дестинаций в условиях цифровизации. Материалы XII Международной научно-практической конференции в рамках Международного туристского форума «Национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства» как инструмент трансформации экономики и социально-культурной сферы курортно-туристских дестинаций России». – Сочи, 2021. – С. 23–241.
3. Бузько А.Т. Разработка программы имитационного моделирования приборов и средств измерений с применением интернет-технологий / А.Т. Бузько, П.Е. Чечель, Е.В. Ожогова // В сборнике: Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых. Материалы LI студенческой научной конференции. – Краснодар, 2024. – С. 293–299.
4. Лубенцов В.Ф. Анализ действия возмущений и случайных помех в системах управления с динамическими компенсаторами и наблюдателями состояния / В.Ф. Лубенцов, Е.В. Лубенцова, Н.О. Лужевский // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2025. – № 10. – С. 22–30.
5. Медведев А.М. Разработка технологий многокомпонентных орехово-зерновых сухих завтраков : дис. … на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.М. Медведев; «Кубанский государственный технологический университет». 30.06.2022. – 153 с.
6. Медведев А.М. Технология и рецептура комбинированного мясорастительного продукта / А.М. Медведев, М.А. Яренков // В сборнике: Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию со дня образования общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия». – Краснодар, 2025. – С. 138–143.
7. Математическая оценка влияния комплексной обработки яблок перед закладкой на хранение на качество продукции / М.Д. Назарько [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2023. – № 5–6(394). – С. 132–139.
8. Ожогова Е.В. Разработка и исследование системы автоматического управления тепловыми процессами биогазовой установки / Е.В. Ожогова, В.Ф. Лубенцов, Е.В. Лубенцова // Автоматизация. Современные технологии. – 2024. – Т. 78. – № 2. – С. 54–60.
9. Патент на полезную модель RU 221906, Двухшнековый пресс-экструдер для отжима масла из масличного материала / А.В. Гукасян, В.С. Косачев, Д.А. Шилько. 29.11.2023. Заявка № 2023126222 от 13.10.2023.
10. Патент на промышленный образец RU 141180. Схема «Экспериментальная линия производства сухих завтраков» / Г.И. Касьянов, А.М. Медведев. 26.03.2024. Заявка № 2023506016 от 30.11.2023.
11. Патент на промышленный образец RU 141983. Схема «Линия производства сухих завтраков из комбинированного мясорастительного сырья» / Г.И. Касьянов, А.М. Медведев. 17.05.2024. Заявка № 2023506208 от 12.12.2023.
12. Патент на промышленный образец RU 149584. Схема «Экструзионный способ промышленного изготовления комбинированных снеков» / А.М. Медведев, Г.И. Касьянов, Н.Б. Савицкий, Е.В. Шейкина. 09.10.2025. Заявка № 2025501047 от 26.02.2025.

13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018618148. Программа для построения регрессионной модели процесса комбинированной CO_2-сверхкритической и вакуумной СВЧ-сушки бахчевых культур / Е.В. Иночкина, С.В. Усатиков, Г.И. Касьянов. 10.07.2018. Заявка № 2018615289 от 23.05.2018.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023616255. Программа для расчета расходно-напорных характеристик пресс-экструдера / А.В. Гукасян, В.С. Косачев, Д.А. Шилько, Д.К. Правдухин, А.Ю. Ковалевский. 23.03.2023. Заявка № 2023614574 от 14.03.2023.

References

1. Borodikhin A.S. Features of the technology of specialized products / A.S. Borodikhin, A.M. Medvedev // In the collection: Modern aspects of production and processing of agricultural products. Collection of articles based on the materials of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 35th anniversary of the foundation of the All-Russian public organization «Russian Engineering Academy». – Krasnodar, 2025. – P. 346–351.
2. Bugayets N.A. Modification of protein products from sesame seeds by treatment with electromagnetic fields of extremely low frequencies to optimize functional properties / N.A. Bugayets, S.V. Usatikov // In the collection: Olympic legacy and large-scale events: impact on the economy, ecology and socio-cultural sphere of host destinations in the context of digitalization. Proceedings of the XII International scientific and practical conference within the framework of the International Tourism Forum «National project «Tourism and hospitality industry» as a tool for transforming the economy and socio-cultural sphere of resort and tourist destinations of Russia». – Sochi, 2021. – P. 23–241.
3. Buzko A.T. Development of a program for simulation modeling of measuring devices and instruments using Internet technologies / A.T. Buzko, P.E. Chechel, E.V. Ozhogova // In the collection: Youth Science. Collection of the best scientific works of young scientists. Proceedings of the 1st student scientific conference. – Krasnodar, 2024. – P. 293–299.
4. Lubentsov V.F. Analysis of the action of disturbances and random noise in control systems with dynamic compensators and state observers / V.F. Lubentsov, E.V. Lubentsova, N.O. Luzhevsky // Devices and systems. Control, monitoring, diagnostics. – 2025. – № 10. – P. 22–30.
5. Medvedev A.M. Development of technologies for multicomponent nut-grain breakfast cereals : dis. ... for the degree of candidate of technical sciences / A.M. Medvedev; «Kuban State Technological University». 06/30/2022. – 153 p.
6. Medvedev A.M. Technology and formulation of a combined meat-vegetable product / A.M. Medvedev, M.A. Yarenkov // In the collection: Modern aspects of production and processing of agricultural products. Collection of articles based on the materials of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 35th anniversary of the foundation of the All-Russian public organization «Russian Engineering Academy». – Krasnodar, 2025. – P. 138–143.
7. Mathematical assessment of the impact of complex processing of apples before storage on product quality / M.D. Nazarko [et al.] // News of higher educational institutions. Food technology. – 2023. – № 5–6(394). – P. 132–139.
8. Ozhogova E.V. Development and study of an automatic control system for thermal processes of a biogas plant / E.V. Ozhogova, V.F. Lubentsov, E.V. Lubentsova // Automation. Modern technologies. – 2024. – Vol. 78. – № 2. – P. 54–60.
9. Patent for utility model RU 221906, Twin-screw press extruder for squeezing oil from oilseed material / A.V. Gukasyan, V.S. Kosachev, D.A. Shilko. 11/29/2023. Application № 2023126222 dated 10/13/2023.
10. Industrial Design Patent RU 141180. Scheme «Experimental Breakfast Cereal Production Line» / G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev. March 26, 2024. Application № 2023506016 dated November 30, 2023.
11. Industrial Design Patent RU 141983. Scheme «Production Line for Breakfast Cereals from Combined Meat and Vegetable Raw Materials» / G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev. May 17, 2024. Application № 2023506208 dated December 12, 2023.
12. Patent for industrial design RU 149584. Scheme «Extrusion method for industrial production of combined snacks» / A.M. Medvedev, G.I. Kasyanov, N.B. Savitsky, E.V. Sheykina. 09.10.2025. Application № 2025501047 dated 26.02.2025.
13. Certificate of Registration of Computer Program RU 2018618148. Program for Constructing a Regression Model for Combined CO2-Supercritical and Vacuum Microwave Drying of Melons / E.V. Inochkina, S.V. Usatikov, G.I. Kasyanov. July 10, 2018. Application № 2018615289 dated May 23, 2018.
14. Certificate of Registration of Computer Program RU 2023616255. Program for Calculating the Flow-Head Characteristics of a Press Extruder / A.V. Gukasyan, V.S. Kosachev, D.A. Shilko, D.K. Pravdukhin, A.Yu. March 23, 2023. Application № 2023614574 dated 03/14/2023.