

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОТХОДНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант 2 курса кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».*

*Научный руководитель – Родионов Юрий Викторович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».*

**Аннотация:** разработаны оборудование и технологические линии сушки, водного экстрагирования и измельчения сельскохозяйственного сырья при щадящих режимах, сохраняющих биологически активные вещества. По результатам экспериментальных исследований были определены оптимальные параметры переработки различных растительных материалов, произрастающих в ЦЧР, для использования их в качестве натуральных добавок при производстве продуктов питания функционального назначения.

**Ключевые слова:** комплексная переработка, растительные материалы, сушка, измельчение, экстрагирование, продукты питания функционального назначения.

В настоящее время вопрос о повышении качества питания населения стоит особенно остро и является важной задачей для развития страны [8]. Многие исследования направлены на разработку новых концепций изготовления специализированных пищевых продуктов, обладающих функциональными свойствами, которые подходят для потребителей с различными индивидуальными требованиями к ежедневному рациону. Основным направлением является создание изделий функционального назначения с определенным набором лечебно-профилактических показателей.

Придание традиционным продуктам функциональных свойств возможно путем добавления в рецептуру специально отобранного природного сырья. Растительный материал обладает большим потенциалом для использования в качестве биологически активных добавок (БАД), так как является постоянно возобновляемым ресурсом и содержит в своем составе все необходимые для организма человека нутриенты.

Производство продукции из растительного материала сопровождается несколькими стадиями переработки, на которых зачастую происходит утрата большого количества биологически активных веществ (БАВ). Это

случается из-за неправильных режимных параметров, в частности, повышенных температур, приводящих к разрушению витаминов. Поэтому необходимо ответственно подходить к выбору оборудования для каждого этапа переработки и проводить экспериментальные исследования по выявлению наиболее рациональных режимов, способствующих максимальному сохранению БАВ.

Нами предложен вариант комплексной безотходной переработки растительного материала с применением аддитивных технологий для получения продуктов питания функционального назначения (рис. 1).



**Рис. 1.** Блок-схема линии комплексной переработки растительного материала с применением аддитивных технологий

Важным этапом реализации предлагаемой линии является выбор растительного материала. Необходимо помнить, что важный аспект повышения эффективности производства – сокращение затрат на сырье. Этого можно добиться применением более доступного сырья, произрастающего на близлежащих территориях. Помимо снижения транспортных расходов, происходит удешевление хранения и исключение потерь сырья из-за долгих перевозок. Так, в ЦЧР среди сельскохозяйственных культур, перспективных для создания БАД, можно выделить топинамбур, тыкву, подорожник, пастернак, репу, иссоп, морковь и др. Выбор той или иной культуры основан не только на количестве входящих в ее состав полезных компонентов, но и на экологической безопасности растительного сырья. Важно учитывать условия выращивания сельскохозяйственной культуры, район произрастания, методы удобрения почвы, сроки и способы уборки. Для

производства БАД отбираются растительные материалы исключительно высокого качества.

Помимо отмеченных на рис. 1 этапов, технология безотходной переработки подразумевает использование сельскохозяйственного сырья традиционными способами. Это может быть непосредственное употребление в пищу без обработки, изготовление лекарственных средств, использование в качестве удобрения почвы, производство различных блюд и т. д. Области применения каждой культуры будут индивидуальными в зависимости от химического состава, органолептических показателей и др.

Для высушивания материала при щадящих температурах была разработана двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушильная установка [5]. Режимные параметры выбираются индивидуально для каждого материала с учетом особенностей его строения и состава на основании экспериментальных исследований протекания процесса. Для этого необходимо построение кинетических кривых сушки, которые отражают все стадии удаления влаги.

Так, например, для тыквы сорта «Мичуринская» были выявлены следующие наиболее оптимальные параметры: температура теплоносителя первого периода 75-20-50 °С, скорость 2,5 м/с; во втором периоде скорость теплоносителя 2,5 м/с, температура 56 °С. Влажность воздуха при проведении опытов была равной 30...50 %. Общее время сушки при указанных параметрах составило 90 минут до конечного влагосодержания 10 % [1].

В зависимости от вида высушиваемого материала и свойств, входящих в его состав БАВ температура теплоносителя выбирается из диапазона от 40 °С до 75 °С, а скорость не должна превышать 3 м/с, что исключает денатурацию важных БАВ.

При переработке растительного материала получение порошков является одним из наиболее энергозатратных и сложных процессов [6]. Согласно проведенным теоретическим и экспериментальным исследованиям, можно выделить ряд основных факторов, оказывающих значительное влияние на снижение энергозатрат измельчения [7]:

- сырье перед измельчением высушивается по специально разработанной технологии сушки с учетом его физико-химических свойств;
- остаточная влажность материала после сушки должна составлять 4...5 % и оставаться такой непосредственно до измельчения;
- выбор оборудования и технологических параметров процесса измельчения зависит от природы сырья.

На основании этого для выявления оптимальных параметров процесса измельчения и подготовки к измельчению тыквы сорта «Мичуринская» было проведено сравнение двух методов высушивания: двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки (ДКВИС) и конвективной сушки с последующим анализом состава тыквы. Установлено, что вследствие содержания большого количества сахаров, повышается слипаемость частиц с

увеличением температуры материала во время сушки. В дальнейшем это приводит к повышению затрат энергии на процесс измельчения и снижению качества получаемого растительного порошка. Высушивание тыквы до конечной влажности 4...5 % на ДКВИС решает данную проблему.

Для интенсификации процесса измельчения была разработана двухступенчатая дисково-шаровая вакуумная мельница. На первой ступени происходит предварительное (грубое) измельчение, затем материал подается на вторую ступень для получения порошка тонкого и сверхтонкого помола. Предлагаемая мельница позволяет получать растительные порошки заданной фракции, а использование жидкостнокольцевого вакуумного насоса с устройством автоматического регулирования размеров нагнетательного окна [3] способствует значительному снижению затрат электроэнергии.

Производительность процесса измельчения на второй ступени сильно зависит от многих факторов, среди которых: размеры и физические свойства измельчаемого сырья, эксплуатационные условия, степень заполнения мельницы мелющими телами, частота вращения в процессе помола и др.

Все это осложняет теоретические расчеты при проектировании, поэтому разработку мельницы второй ступени целесообразно производить на основе данных, полученных опытным путем с применением экспериментальных установок при режимах работы, максимально приближенных к оптимальным.

Еще одним важным этапом получения БАД растительного происхождения является экстрагирование. Данный процесс осложнен наличием в растительных материалах клеточной оболочки, которая препятствует прониканию экстрагента внутрь, а после – выходу концентрированного раствора. Поэтому предварительно сырье высушивается, что ведет к потере влаги, сморщиванию протоплазмы и превращению содержимого клеток в сухой остаток и заполнению воздухом внутренней части клетки. Растительный материал, подверженный высушиванию, приобретает губчатую структуру, а его клетки теряют характерную им полупроницаемость из-за гибели протоплазмы, становятся пористыми перегородками, через которые возможен процесс диффузии БАВ наружу.

Определение оптимальных режимных параметров водного экстрагирования БАВ из растительного материала проводится путем построения кривых растворения сухих веществ в экстрагенте для выявления кинетических закономерностей процесса.

Установлено, что водное экстрагирование растительного материала предпочтительно осуществлять под вакуумом с предварительным импульсным воздействием. Это значительно сокращает затрачиваемое время по сравнению с настаиванием и подогревом с помешиванием. Разработанная универсальная вакуумная экстракционно-выпарная установка [4] может работать при разных режимах, что дополнительно расширяет возможности

производства жидких БАД функционального назначения. На основании опытных данных, выявлены наиболее рациональные режимные параметры водного экстрагирования тыквы сорт «Мичуринская»: гидромодуль 1:50, температура 54...56 °С при относительной влажности воздуха 30...50 % [2]. Полученные результаты были схожи с экспериментальными данными по экстрагированию шишек хмеля, листьев крапивы, иссопа сорта «Лекарственный», топинамбура сорта «Интерес» и других растительных материалов, произрастающих в ЦЧР.

Полученные в результате переработки порошки и экстракты предлагается применять для аддитивного производства продуктов питания функционального назначения.

Использование сельскохозяйственного сырья, в качестве материала для 3D-печати способствует расширению ассортимента полезных продуктов здорового питания профилактического и лечебного назначения. Важной особенностью выбора ингредиентов для трехмерной печати является возможность использования дешевого нетрадиционного сырья, например, насекомых, мучных червей, водорослей, которые при традиционном производстве трудно, а зачастую невозможно, подать в эстетически приемлемом виде. Главное требование – подходящая для печати консистенция, которая обеспечивается тщательным подбором используемых растительных материалов и связующего вещества.

Как и на стадии переработки, при печати возникает проблема обеспечения температурных режимов, не превышающих температуру денатурации важных биологически активных веществ. Это особенно важно при производстве функциональных продуктов питания лечебно-профилактического назначения. При выдавливании материала происходит его нагрев до определенной температуры, которая должна оставаться постоянной в течение всего процесса печати, ввиду чего целесообразно внедрение тепловых аккумуляторов в устройство печатающей головки. Для обеспечения эффективного температурного режима могут быть использованы электрические нагреватели. Применение эластомеров в качестве основы нагревателей позволит осуществлять равномерный подвод тепла на поверхностях, обладающих сложным рельефом и большой площадью.

При аддитивном производстве продуктов питания в некоторых случаях требуется дополнительная обработка для доведения изделия до готовности, например, выпекание или жарка. Зачастую это осуществляется на рабочем столе, оснащенный устройствами подогрева и поддержания требуемых температур, обеспечивающих более качественное осаждение и затвердевание материала.

Для вакуумного выпекания была разработана камера (рис. 2), определенная величина вакуума в которой создается и поддерживается жидкостнокольцевым вакуумным насосом.



**Рис. 2.** Камера для вакуумного выпекания

Также важным конструктивным элементом пищевого 3D-принтера являются экструдер. Его исполнение определяет скорость и качество печати. Пищевой материал, имеющий вязкую пастообразную консистенцию, проталкивается через сопло, как правило, с помощью сжатого воздуха или выдавливания. Форсунки могут различаться в зависимости от того, какой используется тип продуктов питания или желаемой скорости печати (обычно, чем меньше размер сопла, тем больше времени занимает печать). Это делает актуальным вопрос о разработке сопла, оснащенного устройством автоматического изменения размера.

3D-печать позволяет создавать уникальные продукты питания сложной формы с заданными вкусовыми качествами и требуемыми функциональными свойствами, отвечающими индивидуальным потребностям диетического питания. Поэтому включение пищевого 3D-принтера в технологическую линию комплексной переработки растительного сырья, производящего в условиях ЦЧР, открывает новые перспективы.

Модернизация конструкции пищевого 3D-принтера позволит расширить ассортимент здоровых продуктов питания, обладающих требуемым набором функциональных свойств и заданными органолептическими показателями. Использование дешевого растительного сырья способствует обеспечению продовольственной безопасности страны. Выбор ингредиентов высокого качества в совокупности с высокоэффективными технологиями переработки снизит затраты на производство при сохранении лечебно-профилактических показателей готовой продукции.

#### **Библиографический список:**

1. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производ-

ства чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.С. Зорин. – Тамбов, 2019. – 156 с.

2. Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта «Мичуринская» / С.П. Рудобашта, А.А. Гуськов и др. // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, посвящ. 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. – М., 2018. – С. 189-195.

3. Пат. 2303166 Российская Федерация, МПК F04C 15/00. Жидкостно-кольцевая машина с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна / Волков А.В., Воробьев Ю.В., Никитин Д.В., Попов В.В., Родионов Ю.В., Свиридов М.М.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамб. ГТУ». – № 2005116616/06; заявл. 31.05.2005; опубл. 20.07.2007. Бюл. № 20. – 6 с.

4. Пат. 2738938 С1 Российская Федерация, МПК B01D 11/02, B01D 1/22 Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка / С.А. Анохин, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов, А.А. Гуськов, И.А. Елизаров, В.Н. Назаров: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». – № 2019143887; заявл. 23.12.2019; опубл. 18.12.2020. Бюл. № 35. – 9 с.

5. Пат. 2548230 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 5/04 Энергосберегающая двухступенчатая сушильная установка для растительных материалов / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, А.С. Зорин, А.В. Щегольков, В.М. Дмитриев, Е.П. Ларионова: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ», ООО «Навакс». – № 2013111266/06; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.04.2015. Бюл. № 11. – 6 с.

6. Проблемы и перспективы производства растительных порошков / Ю.В. Родионов, О.В. Ломакина, Д.В. Никитин [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2019. – №1. – С. 69-77.

7. Совершенствование технологии получения порошков из растительного сырья / С.И. Данилин, Ю.Ю. Родионов, Ю.В. Родионов [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2020. – № 4. – С. 150-159.

8. Указ Президента РФ от 21.01.2020 №20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 27.01.2020. – № 4, ст. 345.

## TECHNOLOGICAL LINE FOR INTEGRATED WASTE-FREE PROCESSING OF PLANT MATERIALS

**Skomorokhova Anastasia Igorevna** – 2nd year undergraduate student of the Department «Computer Integrated Systems in Mechanical Engineering» Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russian Federation.

**Scientific supervisor – Rodionov Yury Viktorovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department «Mechanics and Engineering Graphics» Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russian Federation.

**Abstract:** equipment and technological lines for drying, water extraction and grinding of agricultural raw materials have been developed under gentle conditions that preserve biologically active substances. Based on the results of experimental studies, the optimal parameters for the processing of various plant materials growing in the Central Chernobyl region were determined for their use as natural additives in the production of functional food products.

**Keywords:** complex processing, plant materials, drying, grinding, extraction, functional foodstuffs.