

Научная статья/Research Article

УДК 664.87

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-246-258

Анатолий Михайлович Попов¹, Анатолий Леонидович Майтаков^{2✉},
Надежда Толибджоновна Ветрова³, Мария Александровна Зверикова⁴

^{1,2,3}Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹popov4116@yandex.ru

^{2,4}may585417@mail.ru

³veteroknadi@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНСТАНТИРОВАННЫХ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПИЩЕКОНЦЕНТРАТОВ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Цель исследования – совершенствование технологии производства гранулированных «instant»-продуктов с заданными показателями качества. Задачи: исследование физико-химических свойств сырья; разработка рецептуры пищевого продукта как части технологического процесса его производства, моделирование технологической схемы производства; оценка качественных показателей готового продукта. Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с привлечением современных методов математической статистики (критериев Кохрена, Стьюдента, Фишера). Особенностью спроектированной технологической схемы производства является ее вариативность: в соответствии с цифровой моделью как технологической системы в целом, так и отдельных подсистем можно изменять параметры технологического процесса на всех этапах его реализации в зависимости от задаваемых параметров выпускаемого продукта. На основании полученных данных была разработана рецептура быстрорастворимых («instant») полидисперсных гранулированных пищевых концентратов, в состав которых в качестве исходного сырья были введены сухая молочная сыворотка, пшеничные зародышевые хлопья, облепиха. Разработанная рецептура стала основой для создания технологии производства различных по составу пищевых концентратов быстрого приготовления (завтрак быстрого приготовления и др.). Особые свойства полученного продукта (легкая усваиваемость, способность нормализовать пищеварение, вывести из организма вредные вещества и др.) позволяют отнести полученный продукт как к продуктам общего, так и функционального назначения. Полученный продукт имел отличные органолептические качества, простоту приготовления, а также достаточно длительный (до 9 месяцев) срок хранения. Исследована зависимость эффективной вязкости от содержания пшеничных зародышевых зерен. В результате математической обработки полученных экспериментальных данных были получены зависимости органолептических свойств (вкус, запах, консистенция, внешний вид), а также эффективной вязкости как функции процентного содержания исходного сырья: крахмала, пшеничных зародышевых хлопьев, температуры (интенсивности) заваривания.

Ключевые слова: полидисперсный гранулированный пищевых концентрат, пшеничные зародышевые хлопья, сухая молочная сыворотка, эффективная вязкость

Для цитирования: Попов А.М., Майтаков А.Л., Ветрова Н.Т., и др. Совершенствование технологии производства инстантированных полидисперсных гранулированных пищевых концентратов на основе местного растительного сырья // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7. С. 246–258. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-246-258.

Anatoly Mikhailovich Popov¹, Anatoly Leonidovich Maytakov^{2✉},
Nadezhda Tolibdzhonovna Vetrova³, Maria Alexandrovna Zverikova⁴

^{1,2,3} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹popov4116@yandex.ru

^{2,4}may585417@mail.ru

³veteroknadi@mail.ru

IMPROVING PRODUCTION TECHNOLOGY OF INSTANT POLYDISPERSE GRANULAR FOOD CONCENTRATES BASED ON LOCAL PLANT RAW MATERIALS

The aim of research is to improve the production technology of granulated "instant" products with specified quality indicators. Objectives: study of the physicochemical properties of raw materials; development of a food product recipe as part of the technological process of its production, modeling of the production flow chart; assessment of the quality indicators of the finished product. The obtained experimental data were processed using modern methods of mathematical statistics (Cochran, Student, Fisher criteria). A feature of the designed production flow chart is its variability: in accordance with the digital model of both the technological system as a whole and individual subsystems, it is possible to change the parameters of the technological process at all stages of its implementation depending on the specified parameters of the manufactured product. Based on the obtained data, a recipe for instant polydisperse granulated food concentrates was developed, which included dry whey, wheat germ flakes, and sea buckthorn as raw materials. The developed recipe became the basis for the creation of a technology for the production of various instant food concentrates (instant breakfast, etc.). The special properties of the resulting product (easy digestibility, ability to normalize digestion, remove harmful substances from the body, etc.) allow us to classify the resulting product as both a general-purpose and a functional product. The resulting product had excellent organoleptic qualities, ease of preparation, and a fairly long shelf life (up to 9 months). The dependence of the effective viscosity on the content of wheat germ grains was studied. As a result of mathematical processing of the obtained experimental data, dependencies of the organoleptic properties (taste, smell, consistency, appearance), as well as the effective viscosity, as a function of the percentage of the original raw materials: starch, wheat germ flakes, temperature (intensity) of brewing were obtained.

Keywords: polydisperse granulated food concentrate, wheat germ flakes, dry whey, effective viscosity

For citation: Popov AM, Maytakov AL, Vetrova NT, et al. Improving production technology of instant polydisperse granular food concentrates based on local plant raw materials. *Bulletin of KSAU*. 2025;(7):246-258. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-246-258.

Введение. Одной из актуальных задач в области создания высококачественных конкурентоспособных пищевых продуктов в условиях реальной рыночной экономики является разработка рецептур, проектирование и создание на их основе высокотехнологичных производств продуктов питания, которые можно отнести не только к продуктам общего, но и специального и функционального назначения.

Наряду с решением задачи обеспечения продовольственной безопасности создание новых технологий является одной из задач, решение которых неразрывно связано с широким использованием систем искусственного интеллекта, технологий, основанных на достижениях генной инженерии, робототехнических систем и др.

Использование местных как растительных (ягоды, зерно), так и животных (сухая молочная

сыrovотка) ресурсов, присущих именно данному региону (с его микроклиматом, количеством солнечных дней в году), позволяет не только повысить пищевую ценность создаваемого продукта, но и существенно увеличить его конкурентоспособность за счет приближения предприятий-производителей к потребителю.

Основным приоритетом при создании новых пищевых продуктов является создание продуктов с отличными органолептическими показателями (вкус, цвет и др.), которые можно отнести к продуктам функционального назначения, т. е. обладающим лечебно-профилактическими свойствами [1].

Данная задача решается в ходе проектирования и создания ряда технологий производства пищевых продуктов, в которых моделируются технологические процессы на основе варьиро-

вания в определенных диапазонах рецептурного состава, количества и качества исходного сырья, контроля качества полученного продукта. При этом параметры качества, свойства полученного продукта должны быть жестко регламентированы техническими условиями. Такая система комплексной оценки требует создания нескольких подсистем, таких как «состав – технология», «технология – пищевая ценность» и других.

Цель исследования – совершенствование технологии производства гранулированных «instant»-продуктов с заданными показателями качества.

Задачи: исследование физико-химических свойств сырья; разработка рецептуры пищевого продукта как части технологического процесса его производства, моделирование технологической схемы производства; оценка качественных показателей готового продукта.

Объекты и методы. Технология производства полидисперсных гранулированных пище-концентратов на основе местного растительного сырья включала в себя использование плодоягодного сырья, зерна и других растительных и биологических ресурсов Сибирского федерального округа (различных морфологических групп), разрешенных к применению в пищевой промышленности. В качестве объектов исследований в данной работе при разработке рецептур полидисперсных гранулированных пище-концентратов были использованы:

- облепиха сорта Теньга селекции НИИСС, произрастающая в Бийском районе Алтайского края, сбор 2021 г.;
- сыворотка сухая молочная деминерализованная (ТУ 923-069-05268977-06), производства «Рубцовский молочный завод» Алтайского края;
- хлопья пшеничные зародышевые (ПЗХ) (ГОСТ 34972-2023), произведенные по ТИНПЦ «Агропищепром»;
- пудра сахарная – ГОСТ 31895-2012, крахмал картофельный – ГОСТ Р 53876-2010, витаминно-минеральный премикс для пище-концентратов производства «Арт-Лайф» (г. Томск), составленный в соответствии с СанПиН 2.4.5.2409-08.

Принимая во внимание особые условия, предъявляемые к пищевым продуктам (безопасность, соответствие нормам экологичности и др.), при проведении исследований были использованы стандарты, реактивы, растворители, отвечающие нормам соответствующей нормативной документации.

При определении значимых признаков используемого растительного сырья и сборов был применен микроскопический анализ, проведенный в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи Российской Федерации (ГФ), как основного нормативного документа (сборника стандартов и положений, определяющих показатели качества выпускаемых в РФ лекарственных субстанций и изготовленных из них препаратов).

Биологические активные вещества, а именно флавоноиды, полисахариды, дубильные вещества в ходе проведения исследований выявлялись и идентифицировались методами высокоэффективной жидкостной хроматографии.

В качестве показателя идентификации исследуемых веществ были использованы спектры их поглощения в выбираемом диапазоне в ультрафиолетовой и инфракрасной областях. При этом анализировались характерные сдвиги максимумов поглощения.

Применение титриметрических, спектрофотометрических, а также хроматоспектрофотометрических методов исследования дало возможность определить количественный состав исследуемых биологически активных веществ. Все проведенные хроматографические исследования проводились в специализированных аккредитованных лабораториях г. Кемерово. Для проведения анализов были подготовлены хроматографически чистые образцы продукции и стандарты.

На стадии входного контроля определялись технологические параметры исходных плодов и сборов, к важнейшим из которых относятся влажность, растворимость, объемная плотность, содержание солей тяжелых металлов. Определялось также содержание полисахаридов, минеральных веществ и других физико-химических веществ исходного сырья.

Особое внимание при проведении исследований было уделено микробиологической, а в отдельных случаях и радиологической чистоте исходного сырья.

Для проведения реологических экспериментов был использован ротационный вискозиметр Reotest-2; измерительная система – цилиндрическая (S/S2). Диапазон изменения скорости сдвига – $1,0\text{--}437,4\text{ с}^{-1}$. Температура при исследованиях – $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термостатирование – в жидкостном ультратермостате.

Полученные в ходе экспериментов результаты были обработаны с использованием статис-

тических методов обработки данных. Использовались критерии Кохрена, Стьюдента. Проверка адекватности постулированной модели проводилась с использованием критерия Фишера.

Результаты и их обсуждение. Решая проблемы продовольственной безопасности нашей страны, необходимо отметить, что разработка рецептур и на их основе проектирование и создание инновационных предприятий с использованием местных ресурсов предполагает насыщение пищевых продуктов комплексом полезных, легко усваиваемых организмом человека элементов, к числу которых могут быть отнесены премиксы, полиненасыщенные жирные кислоты и др. [2].

Все вышесказанное было учтено при создании рецептуры и технических условий инновационного пищевого продукта – полидисперсного быстрорастворимого гранулированного концентрата завтрака.

В соответствии с разработанными техническими условиями рецептурный состав включает в себя 57,2 % полидисперсной смеси пшеничных зародышевых хлопьев и крахмала (в данной рецептуре картофельный); сок облепихи – 16,7 % (концентрат – 50 %); сыворотка сухая, молочная – 6,0; пудра сахарная – 20,0; премикс «Валитек-3» – 0,33 %.

Пищевая ценность, к основным показателям которой можно отнести вкус, запах, внешний вид и др., а также энергетическая и биологическая ценность (содержание аминокислот, микроэлементов и др.) полученного пищевого концентрата соответствовали всем регламентам, включая и экологическую безопасность.

Вошедшие в рецептуру созданного продукта плоды облепихи (химический состав и содержа-

ние минеральных элементов приведены в таблицах 1 и 2 [2]) представляют собой сочетание полезных и необходимых организму человека элементов, витаминов, микроэлементов. Содержание витамина С (аскорбиновая кислота) – $(78,7 \pm 2,36)$ мг/100 г; β -каротин – $(13,2 \pm 0,04)$ мг/100 г.

В разработанной рецептуре представлены пшеничные зародышевые хлопья (ПЗХ) – экологически чистый, содержащий полноценный белок продукт, способный нормализовать пищеварение, вывести из организма вредные вещества, песок из почек и вымыть соли из суставов. Кроме того, входящие в ПЗХ полиненасыщенные жирные кислоты, «легкие» углеводы, витамин Е, селен (особо ценный элемент, принимая во внимание его дефицит в организме человека) увеличивают его пищевую ценность.

Продукт «тонкой» переработки молока – сухая молочная сыворотка, содержащая в своем составе лактозу (70 %), жир (7,5 %), минеральные соли (8 %), относится к пищевым продуктам высокой пищевой и биологической ценности [3, 4].

Присутствие тонкодиспергированного жира в молочной сыворотке обеспечивает практически полное ее усвоение организмом человека. Аналогичным свойством обладает и молочный сахар: его усвоение – в пределах 99,0–99,7 %.

По биологической активности молочная сыворотка не уступает цельному молоку, а по отдельным показателям превосходит его. Отмеченные свойства представляют практически неограниченные возможности применения сухой молочной сыворотки в напитках для диетического и функционального питания [5, 6]. Химический состав ПЗХ приведен в таблице 3 [3].

Таблица 1

Плоды облепихи: химический состав
Seabuckthornfruits: chemical composition

Показатель	Массовая доля компонентов в соке с мякотью, %
1	2
Содержание сухих веществ: растворимые общие	7,6 $\pm$ 0,04 14,4 $\pm$ 0,07
Содержание титруемых кислот (в пересчете на яблочную)	1,1 $\pm$ 0,05
Содержание сахаров: общие редуцирующие	4,2 $\pm$ 0,02 1,41 $\pm$ 0,007

Окончание табл. 1

1	2
Содержание жира	3,6±0,01
Содержание азотистых веществ (общий азот)	0,46±0,001
Содержание протеина	2,87±0,006
Содержание пектиновых веществ	0,4±0,001
Содержание клетчатки	4,7±0,01
Содержание золы	0,36±0,02

Таблица 2

Содержание минеральных элементов в плодах облепихи, мг/100 г плодов
The content of mineral elements in sea buckthorn fruits, mg/100 g of fruit

Показатель	Значение
Массовая доля золы	360,0 ±18,0
Калий	22,0 ±9,80
Кальций	7,1 ±0,57
Натрий	19,6 ±1,57
Магний	7,6 ±0,61
Железо	0,44 ±0,04
Марганец	0,1 ±0,0100
Никель	0,23 ±0,002
Медь	0,085 ±0,0070
Цинк	0,12 ±0,0100
Кобальт	0,015 ±0,0010
Хром	0,003 ±0,0002

Таблица 3

Пшеничные зародышевые хлопья: химический состав
Wheat germ flakes: chemical composition

Показатель	Массовая доля компонентов, %	
	Диапазон	Медиана
Влага	3,2–3,7	3,45
Белок	37,97–47,88	42,92
Жир	10,70–13,97	12,28
Моно- и дисахариды	11,04–14,98	13,07
Крахмал	19,04–21,97	20,50
Пищевые волокна	2,14–2,36	2,26

Проектирование и далее создание инновационных пищевых продуктов при современном уровне развития пищевой промышленности Российской Федерации требует четкой локализации объема и ассортимента производимой продукции. Основными критериями, наряду с экономическими показателями, такими как рентабельность, срок окупаемости и др., являются использование местных ресурсов, экологичность производства, социальная направлен-

ность создаваемых и производимых пищевых продуктов. В связи с этим могут быть созданы как производства, ориентированные на выпуск больших объемов продукции ограниченной номенклатуры (крупнотоннажное производство), так и многоассортиментные, мобильно меняющиеся производства пищевого продукта при достаточно частой его замене, при выпуске небольших партий, в соответствии с запросами рынка (малотоннажное производство). Такое

производство характеризуется также разнообразием в зависимости от сезонности применяемого сырья, многовариантностью применяемых при их производстве технологических процессов, целью которых является создание быстрорастворимых гранулированных пищевых концентратов (завтраков, киселей), при использовании одного и того же сырья. Однако при проектировании таких производств нельзя не отметить сложности, возникающие при его практической реализации создаваемой структуры, ее подсистем.

Выстраивание вновь создаваемых технологических производств, а также «глубокая» модернизация существующего производства, целью которого является получение инновационного пищевого продукта предложенной рецептуры, представляются еще на стадии проектирования как сложная технологическая система, включающая в себя ряд подсистем, выходные параметры которых задаются исходя из технических условий, характеристик применяемого или вновь создаваемого оборудования и др.

Одним из эффективных методов при создании и исследовании таких сложных многовариантных технологических систем является системный подход [7, 8], особенно на стадии предпроектного проектирования. В ходе реализации такого подхода осуществляется исследование отдельных подсистем (микроисследования), а далее, используя в качестве входных параметров полученные выходные параметры микроисследований, выстраивается и исследуется вся система – макроисследования.

Основой такого системного анализа является так называемый модульный принцип, где каждая подсистема представлена как отдельный модуль, имеющий определенный, специально задаваемый «набор» входных и выходных параметров [9, 10]. Объединяясь в различных сочетаниях, модули образуют технологический поток, частным случаем которого и будет являться требуемый технологический процесс производства полидисперсного пищевого концентрата с заданными параметрами качества [11]. Большим достоинством применения модульного принципа является и то обстоятельство, что из имеющегося набора различных модулей можно при минимальных трудовых и материальных затратах создать оригинальный технологический поток (системы процессов).

Начальный этап проектирования технологического потока включает в себя отыскание существующих систем, решающих аналогичные поставленные задачи. Одним из требований при поиске аналогичных технологических процессов является максимальная степень применения унифицированного технологического оборудования. При отсутствии унифицированных технологических процессов рассматриваются варианты синтеза технологических процессов либо используются методы прототипирования.

Выбор типового технологического процесса производится исходя из рациональности применения, примерно с одинаковым содержанием и последовательностью осуществления технологических операций для определенных изделий или материалов, обладающих общими признаками. Наибольшая сложность проектирования технологического потока будет в том случае, когда отсутствует прототип.

На следующем этапе производится моделирование технологических потоков. При этом модель такой сложной системы, причем при разных уровнях иерархичности, будет формироваться как коллаборация более простых модулей; в этом проявляется принцип системности.

Моделирование представляется как взаимодействие подсистем на разных уровнях взаимодействия. При этом за счет составления графиков взаимодействия или расписания функционирования подсистем последняя (последние) приобретает новые возможности, отсутствующие у первоначальных модулей.

Смоделированная теоретически и реализованная практически на основании разработанной рецептуры (приведена выше) технологическая схема производства гранулированного концентрата завтрака представлена на рисунке 1.

Главной особенностью приведенной технологической схемы производства является ее вариативность. Данное свойство заключается в том, что в соответствии с цифровой моделью как технологической системы в целом, так и отдельных подсистем можно изменять параметры технологического процесса на всех этапах его реализации (в большинстве случаев параметры исходного сырья) в зависимости от задаваемых параметров выпускаемого продукта.

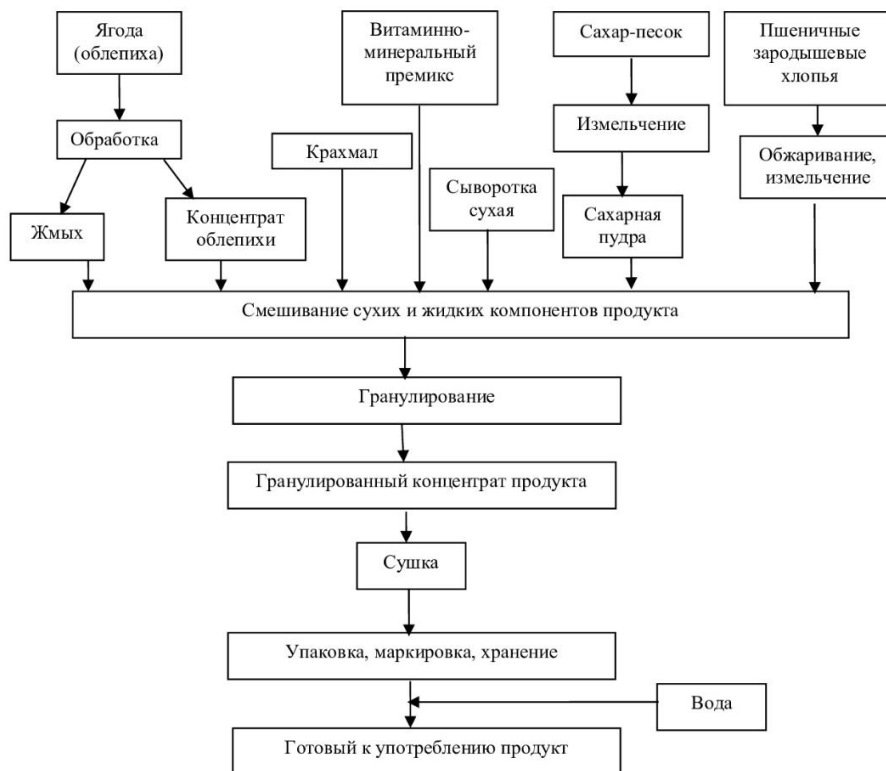


Рис. 1. Смоделированная технологическая схема производства полидисперсного гранулированного пищевого концентрата (завтрака)
 A simulated technological scheme for the production of polydisperse granular food concentrate (breakfast)

На начальной стадии производства гранулированного концентрата завтрака (см. рис. 1) осуществляется переработка плодово-ягодного сырья – облепихи.

Облепиху перерабатывают по традиционной схеме консервного производства: упаковка, как выходной параметр технологического процесса, и предшествующие ей (упаковке) подготовка сырья, микширование компонентов согласно разработанной рецептуре, гранулирование полученной полидисперсной смеси и сушка.

Переработка включает подготовку ягод как операцию, предшествующую измельчению ягод перед протиркой и дальнейшим прессованием или центрифугированием с целью отбора сока (промывку, очистку от листьев и т. п.). Сок стерилизуется и сгущается; шрот облепихи подсушивается, измельчается механическим путем и просеивается.

На начальном же этапе производится обжарка пшеничных зародышевых хлопьев и их измельчение. Одновременно производится размалывание сахара до состояния пудры. Размеры фракций определяются техническими условиями.

Подготовленные таким образом компоненты, равно как и другие, входящие в рецептуру (сухая молочная сыворотка, премиксы, крахмал и др.), тщательно перемешиваются и гранулируются в тарельчатых грануляторах методом окатывания. Размер гранул – до 3 мм; дальнейшее их агрегирование нецелесообразно, в т. ч. и с точки зрения упаковки продукта. Полученные гранулы подвергают сушке; по техническим условиям массовая доля сухих веществ должна составлять 93–95 %.

Финальная стадия технологического процесса производства полидисперсных гранулированных пищевых концентратов – упаковка готового продукта.

Экспериментальные исследования проводились на четырех специально подготовленных образцах с различным содержанием пшеничных зародышевых хлопьев. Диапазон содержания ПЗХ и шаг определялся в ходе предварительных экспериментов. В образце № 1 содержание ПЗХ составило 20 г, в образце № 2 – 25, в образце № 3 – 0, в образце № 4 – 35 г.

В приведенных образцах на ротационном вискозиметре Reotest-2 была определена эф-

эффективная вязкость. Использовалась цилиндрическая измерительная система S/S2. Диапазон скорости сдвига – $1,0\text{--}437,4\text{ с}^{-1}$. Температура фиксированная – $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Все измерения выполнялись при трехкратном повторении. Термостатирование производилось в жидкостном термостате.

Кривые течения – графические зависимости скорости сдвига (ось ординат – $\dot{\gamma}_i$) от напряжения сдвига (ось абсцисс – τ_i) приведены на рисунке 2.

Эксперименты проводились при условии минимального разрушения полученных образцов – гранул. Эффективная вязкость гранул определялась после их инстантирования горячей ($85\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$) водой при соотношении гранулы/вода – $20\text{ г}/180\text{ мл}$.

Как видно из рисунка 2, вязкость полученных гранул прямо пропорциональна содержанию пшеничных зародышевых зерен.

В качестве критерия при проведении реологических исследований была принята эффективная вязкость $\eta_{\text{э}}$ при фиксированной скорости сдвига. Эффективная вязкость определялась по формуле $\eta_{\text{э}} = \frac{\tau_i}{\dot{\gamma}_i}$ (расшифровка значений τ_i и $\dot{\gamma}_i$ приведена выше).

Оценивая результаты проведенных экспериментов с точки зрения практической значимости, был рекомендован диапазон изменения $\dot{\gamma}_i$ – диапазон, при котором быстрое разрушение гранул практически закончилось. Проанализировав все кривые течения, была принята величина скорости сдвига $\dot{\gamma}_i = 110,5\text{ с}^{-1}$. Сравнительный контроль образцов проводился при постоянном значении $\dot{\gamma}_i$.

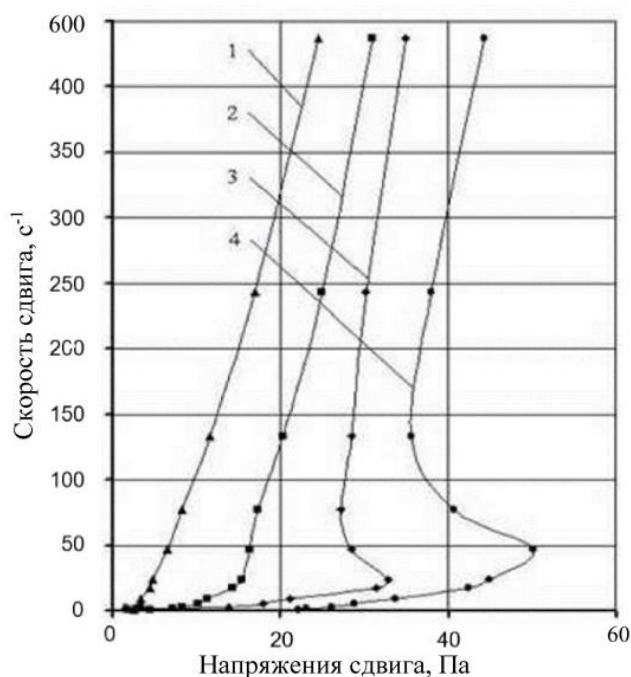


Рис. 2. Графические зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига:

1 – 20 г ПЗХ; 2 – 25 г; 3 – 30 г; 4 – 35 г

Graphical dependences of the shear rate on the shear stress

1 – 20 g of PPX; 2 – 25 g; 3 – 30 g; 4 – 35 g

Были проведены исследования, цель которых – определить, каким образом содержание пшеничных зародышевых хлопьев оказывает влияние на эффективную вязкость (табл. 4). Из таблицы 3: в исследуемых образцах при увеличении содержания пшеничных зародышевых

зерен с 25 до 35 г рост эффективной вязкости составил 54,5 %.

При этом эффективная вязкость образцов с содержанием ПЗХ 20, 25, и 30 г возрастала соответственно в 2,2; 1,83 и 1,32 раза по сравнению с образцом с содержанием пшеничных зародышевых хлопьев – 35 г.

Влияние содержания ПЗХ на эффективную вязкость гранул
The effect of the PPC content on the effective viscosity of granules

Номер образца	Содержание ПЗХ, г	Эффективная вязкость, Па · с
1	20	0,15±0,02
2	25	0,18±0,02
3	30	0,25±0,02
4	35	0,33±0,02

Проведенный органолептический анализ показал, что 3 образца имели достаточно «ощутимые» недостатки:

- недостаточно плотная структура; практически невыраженный вкус – у образца № 1;
- появляющийся в процессе хранения осадок, при этом вкус нежный – у образца № 2;
- невыразительное послевкусие – у образца № 4.

Таким образом, в дальнейших экспериментах использовался образец с содержанием ПЗХ 30 г (образец № 3), как не имеющий названных недостатков.

Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с привлечением современных методов математической статистики (с проверкой по критериям Кохрена, Стьюдента, Фишера).

Результаты математической обработки экспериментальных данных представлены в виде уравнений регрессии – полиномов 1-й и 2-й степеней, где: y_1 – кодовое обозначение вкуса и запаха; y_2 – кодовое обозначение внешнего вида и консистенции; y_3 – кодовое обозначение эффективной вязкости; x_1 – кодовое обозначение содержания крахмала; x_3 – кодовое обозначение температуры заваривания.

Диапазоны варьирования: содержание крахмала – 5–15 г (шаг 5 г), содержание ПЗХ – 25–35 г с шагом 5 г, температура заваривания – от 30 до 90 °С с шагом 30 °С.

Поверхности отклика функциональных зависимостей некоторых выходных параметров смоделированного и осуществленного технологического процесса приведены на рисунке 3–6.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 5,987 + 0,853x_2 - 0,017x_1^2 - 0,015x_2^2 + 0,001x_3^2; \\
 y_2 &= 2,867 + 0,104x_3 - 0,017x_1^2 - 0,001x_3^2; \\
 y_3 &= 0,258 + 0,008x_1 - 0,001x_1^2.
 \end{aligned}$$

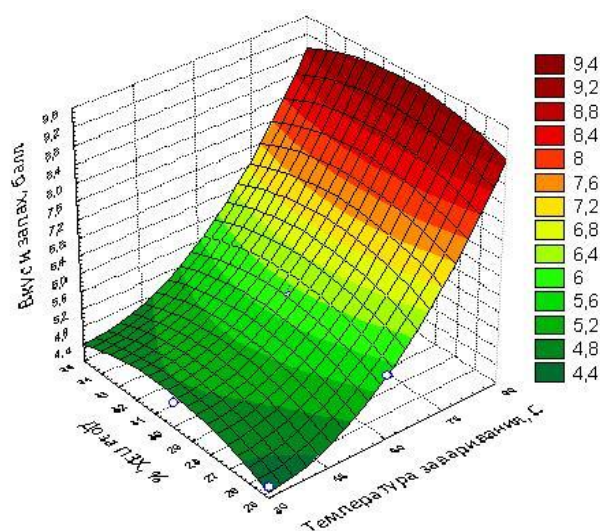


Рис. 3. Поверхность отклика функциональной зависимости вкуса и запаха от содержания ПЗХ и температуры заваривания при постоянном содержании крахмала
The response surface of the functional dependence of taste and smell on the dose PPC and the brewing temperature at a constant dose of starch

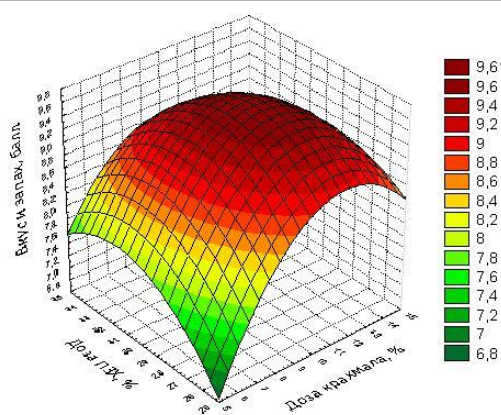


Рис. 4. Поверхность отклика функциональной зависимости вкуса и запаха от содержания крахмала и ПЗХ при постоянной температуре заваривания
The response surface of the functional dependence of taste and smell on the dose of starch and PCP at a constant brewing temperature

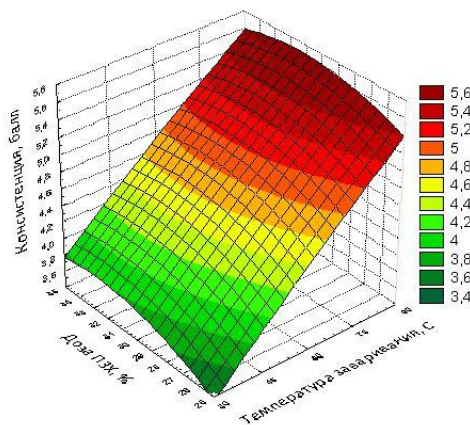


Рис. 5. Поверхность отклика функциональной зависимости внешнего вида и консистенции от содержания ПЗХ и температуры заваривания при постоянном содержании крахмала
The response surface of the functional dependence of appearance and consistency on the dose of PCP and the brewing temperature at a constant dose of starch

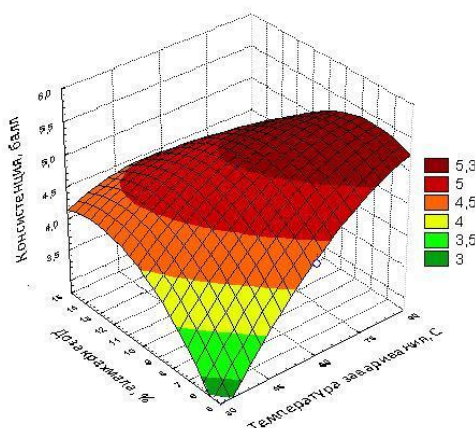


Рис. 6. Поверхность отклика функциональной зависимости внешнего вида и консистенции от содержания крахмала и температуры заваривания при постоянном содержании ПЗХ
The response surface of the functional dependence of appearance and consistency on the dose of starch and the brewing temperature at a constant dose of PCP

Как следует из приведенных уравнений, температура заваривания, а также содержание крахмала как исходного ингредиента в незначительной степени оказывают влияние на вкус и запах получаемого продукта; в большей степени они зависят от содержания пшеничных зародышевых хлопьев. Температура заваривания оказывает значительное влияние на внешний вид и консистенцию при незначительном влиянии на эти параметры содержания крахмала. Что касается эффективной вязкости как основного параметра, влияющего на стойкость гранулы, то она зависит только от содержания крахмала.

Заключение. Экспериментальные исследования состава, физико-химических свойств натурального растительного сырья, произрастающего в данной местности (плодов облепихи, пшеничных зародышевых хлопьев (ПЗХ), – экологически чистого продукта, способного нормализовать пищеварение), а также сухой деминерализованной молочной сыворотки легли в основу разработки рецептуры, а на ее основе – цифровой модели, проектирования и создания технологической схемы производства пищевого концентрата быстрого приготовления.

Особенностью спроектированной технологической схемы производства является ее вариативность: в соответствии с цифровой моделью как технологической системы в целом, так и отдельных подсистем можно изменять параметры

технологического процесса на всех этапах его реализации в зависимости от задаваемых параметров выпускаемого продукта. Это дает возможность создавать пищевые продукты как общего, так и функционального и лечебно-профилактического назначения, с отличными органолептическими свойствами.

Проведены реологические исследования эффективной вязкости как критерия прочности полученных гранул. Оценивая результаты проведенных экспериментов с точки зрения практической значимости, был рекомендован диапазон изменения скорости сдвига. Получены графические зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига (кривые течения). Вязкость полученных гранул прямо пропорциональна содержанию пшеничных зародышевых зерен.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии – зависимости органолептических свойств (вкус, запах, консистенция, внешний вид), а также эффективной вязкости как функции содержания (процентного содержания) исходного сырья (крахмала, ПЗХ, температуры (интенсивности) заваривания). Обработка полученных экспериментальных данных проводилась с привлечением современных методов математической статистики, включая проверку по критериям Кохрена, Стьюдента, Фишера.

Список источников

1. Лепешкин А.И., Надточий Л.А., Четкина А.Ю. Проектирование состава продуктов питания с заданными свойствами. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 46 с.
2. Котова Т.И., Хантургаев А.Г. Переработка облепихи: научные основы и практическая реализация. Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2023. 214 с.
3. Губаненко Г.А., Речкина Е.А., Наймушина Л.В., и др. Технология переработки ростков пшеницы с получением порошка из выжимок с высоким содержанием биологически активных веществ // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81, № 2 (80). С. 154–161. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-154-161. EDN: RIRTAV.
4. Храмцов А.Г. Инновационные разработки в использовании молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 3. С. 5–15. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15. EDN: YWOFML.
5. Майтаков А.Л., Попов А.М. Синергетика технологий производства многокомпонентных продуктов // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2018. № 2-3 (362-363). С. 112–116. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.2-3.29. EDN: USZRUF.
6. Майтаков А.Л., Берязева Л.Н., Ветрова Н.Т., и др. Получение гранулированных быстрорастворимых киселей на основе молочной сыворотки и растительного сырья // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2020. № 2-3 (374-375). С. 38–42. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.2-3.10. EDN: ESPHIC.

7. Майтаков А.Л. Моделирование и многокритериальный синтез производства гранулированных пищекопцентратов. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2017. 224 с.
8. Майтаков А.Л., Сарафанов А.А. Перспективы развития безотходных технологий продуктов на основе растительного сырья и молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 2. С. 261–272. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-261-272. EDN: PAUCDB.
9. Майтаков, А.Л. Математическая модель процесса гранулообразования дисперсных смесей на основе молочной сыворотки в аппаратах тарельчатого типа // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 3. С. 383–392. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-383-392. EDN: XXHASY.
10. Майтаков А.Л., Попов А.М., Ветрова Н.Т., и др. Оптимизация информационных моделей технологических блоков формообразования гранул пищекопцентратов // Известия вузов. Пищевая технология. 2018. № 5-6 (365-366). С. 86–89. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.21. EDN: PMFQFV.
11. Maytakov A.L., Yusupov S.H.T., Popov A.M., et al Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Food and raw materials*. 2018. Vol. 6. № 1. 172–181. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-172-181. EDN: XQVNLN.

References

1. Lepeshkin AI, Nadtochiy LA, Chechetkina AYU. *Designing the composition of food products with specified properties*. St. Petersburg: ITMO University; 2020. 46 p. (In Russ.).
2. Kotova TI, Khanturgaev AG. *Sea buckthorn processing: scientific foundations and practical implementation*. Ulan-Ude: East Siberian State University; 2023. 214 p. (In Russ.).
3. Gubanenko GA, Rechkina EA, Naimushina LV, et al. Technology of processing wheat germ to obtain powder from pomace with a high content of biologically active substances. *Bulletin of VGUIT*. 2019;81(2):154-161. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-154-161. EDN: RIRTAV.
4. Khrantsov AG. Innovative developments in the use of whey. *Machinery and technology of food production*. 2018;48(3):5-15. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15. EDN: YWOFML.
5. Maytakov AL, Popov AM. Synergetics of technologies for the production of multicomponent products. *Izvestiya VUZov. Food technology*. 2018;(2-3):112-116. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2018.2-3.29. EDN: USZRUF.
6. Maytakov AL, Beryazeva LN, Vetrova NT, et al. Production of granular instant jelly based on whey and vegetable raw materials. *Izvestiya VUZov. Food technology*. 2020;(2-3):38-42. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2020.2-3.10. EDN: ESPHIC.
7. Maytakov AL. *Modeling and multicriteria synthesis of granular food concentrates production*. Kemerovo: Kemerovo State University, 2017. 224 p. (In Russ.).
8. Maytakov AL, Sarafanov AA. Prospects for the development of waste-free technologies for products based on vegetable raw materials and whey. *Machinery and technology of food production*. 2020;50(2):261-272. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-261-272. EDN: PAUCDB.
9. Maytakov AL. Mathematical model of the granulation process of dispersed mixtures based on whey in dish-type apparatuses. *Machinery and technology of food production*. 2020;50(3):383-392. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-383-392. EDN: XXHASY.
10. Maytakov AL, Popov AM, Vetrova NT, et al. Optimization of information models of technological blocks for forming granules of food concentrates. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2018;(5-6):86-89. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.21. EDN: PMFQFV.
11. Maytakov AL, Yusupov ShT, Popov AM, et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Food and raw materials*. 2018;6(1):172-181. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-172-181. EDN: XQVNLN.

Статья принята к публикации 22.04.2025 / The article accepted for publication 22.04.2025.

Информация об авторах:

Анатолий Михайлович Попов¹, профессор кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, доктор технических наук, профессор

Анатолий Леонидович Майтаков², профессор кафедры управления качеством, доктор технических наук, доцент

Надежда Толибджоновна Ветрова³, доцент кафедры управления качеством, кандидат технических наук, доцент

Мария Александровна Зверикова⁴, аспирант кафедры управления качеством

Information about the authors:

Anatoly Mikhailovich Popov¹, Professor at the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor

Anatoly Leonidovich Maytakov², Professor at the Department of Quality Management, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Nadezhda Tolibdzhonovna Vetrova³, Associate Professor at the Department of Quality Management, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Maria Alexandrovna Zverikova⁴, Postgraduate student at the Department of Quality Management

