

Дарья Вадимовна Котвицкая^{1✉}, Татьяна Викторовна Першакова²

^{1,2}Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹daryakotvitskaya@gmail.com

²7999997@inbox.ru

СОЗДАНИЕ НОВОГО ВИДА ЗЕФИРА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПЮРЕ СЛАДКОГО ПЕРЦА

Цель исследований – научное обоснование параметров технологии и рецептуры для производства зефирной массы с улучшенными органолептическими и структурными характеристиками за счет введения пюре сладкого перца. Задачи: провести сравнительную органолептическую оценку образцов зефирной массы с различным соотношением яблочного и перцевого пюре, исследовать кинетику набора объема при взбивании в зависимости от состава смеси, установить влияние температуры (40, 45, 50 °C) и продолжительности взбивания на динамику изменения плотности и дисперсности пены, разработать регрессионную модель, описывающую зависимость плотности от исследуемых факторов, на основании комплексного анализа определить оптимальные рецептурные и технологические параметры. Проведена органолептическая оценка образцов с разным соотношением яблочного и перцевого пюре (от 100 : 0 до 0 : 100) по 10-балльной шкале. Методом кинетического контроля определено время взбивания до заданного фиксированного объема. Оптимальные параметры аэрации установлены путем синхронного мониторинга динамики изменения плотности (пикнометрически) и дисперсности (микроскопически) пены в зависимости от температуры (40, 45, 50 °C) и продолжительности взбивания. Построена регрессионная модель. Образец с соотношением яблочного и перцевого пюре 70 : 30 % обладал наивысшей интегральной органолептической оценкой (9,5 баллов). Показано, что увеличение доли перца снижает пенообразующую способность, повышая время взбивания. Кинетические исследования выявили четкий оптимум процесса при температуре 45 °C и продолжительности 9 мин, что подтверждается синхронным минимумом плотности (0,240 г/см³) и дисперсности (~75 мкм). Полученная адекватная математическая модель ($R^2 = 0,976$) описывает зависимость плотности от исследуемых факторов. Научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность создания нового вида зефира с гармоничным вкусоароматическим букетом на основе композиции яблочного и перцевого пюре (70 : 30) при оптимальных параметрах аэрации ((45 ± 1) °C, (9 ± 0,5) мин).

Ключевые слова: зефирная масса, пюре сладкого перца, оптимизация взбивания пены, структурно-механические свойства зефирной массы, органолептическая оценка зефира, плотность пены

Для цитирования: Котвицкая Д.В., Першакова Т.В. Создание нового вида зефира с добавлением пюре сладкого перца // Вестник КрасГАУ. 2026. № 6. С. 269–279. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-269-279.

Daria Vadimovna Kotvitskaya^{1✉}, Tatyana Viktorovna Pershakova²

^{1,2}North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russia

¹daryakotvitskaya@gmail.com

²7999997@inbox.ru

CREATING A NEW MARSHMALLOW TYPE ADDED BY SWEET PEPPER PUREE

The objective of research is to scientifically substantiate the process parameters and recipe for the production of marshmallow mass with improved organoleptic and structural characteristics due to the addition of sweet pepper puree. Objectives: to conduct a comparative organoleptic evaluation of marshmallow mass samples with different ratios of apple and pepper puree, to study the kinetics of volume gain during whipping depending on the mixture composition, to determine the effect of temperature (40, 45, 50 °C) and whipping duration on the dynamics of changes in foam density and dispersion, to develop a regression model describing the dependence of density on the studied factors, and to determine the optimal recipe and process parameters based on a comprehensive analysis. An organoleptic evaluation of samples with different ratios of apple and pepper puree (from 100 : 0 to 0 : 100) was carried out on a 10-point scale. The whipping time to a specified fixed volume was determined using the kinetic control method. Optimal aeration parameters were established by synchronously monitoring the dynamics of foam density (pycnometrically) and dispersion (microscopically) depending on temperature (40, 45, and 50 °C) and whipping duration. A regression model was constructed. The sample with a 70:30 % apple and pepper puree ratio had the highest integrated organoleptic score (9.5 points). It was shown that increasing the proportion of pepper reduces foaming capacity, increasing the whipping time. Kinetic studies revealed a clear process optimum at a temperature of 45 °C and a duration of 9 minutes, as confirmed by a simultaneous minimum density (0.240 g/cm³) and dispersion (~75 µm). The resulting adequate mathematical model ($R^2 = 0.976$) describes the dependence of density on the studied factors. The possibility of creating a new type of marshmallow with a harmonious flavor bouquet based on a composition of apple and pepper puree (70 : 30) under optimal aeration parameters ((45 ± 1) °C, (9 ± 0.5) min) has been scientifically substantiated and experimentally confirmed.

Keywords: marshmallow mass, sweet pepper puree, foam whipping optimization, structural and mechanical properties of marshmallow mass, organoleptic evaluation of marshmallow, foam density

For citation: Kotvitskaya DV, Pershakova TV. Creating a new marshmallow type added by sweet pepper puree. *Bulletin of KSAU*. 2026;(6):269–279. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-269-279.

Введение. Зефир относится к числу популярных кондитерских изделий, пользующихся стабильным потребительским спросом благодаря нежной текстуре и сбалансированному вкусу. Одним из актуальных направлений развития ассортимента данной группы продуктов является создание новых видов с улучшенными органолептическими и функциональными свойствами, в т. ч. за счет введения в рецептуру нетрадиционного растительного сырья.

Современная кондитерская промышленность характеризуется устойчивым трендом на обогащение традиционных продуктов функциональными ингредиентами и разработку новых видов с улучшенными потребительскими свойствами. В этом контексте зефир, как популярное изделие на основе пенообразной структуры, представляет значительный интерес для модификации.

Классическая технология зефира, детально описанная в работах [1, 2], основана на термостабильной гелевой системе агар и способности яичного альбумина или других белков к образованию стабильной пены. Формирование заданной нежной, пористой консистенции является ключевой задачей процесса, успешность

решения которой зависит от реологических свойств массы и параметров аэрации [3]. Исследования [4, 5] показывают, что физико-химические и структурно-механические свойства пены (плотность, дисперсность воздушной фазы, стабильность) напрямую определяют качество готового изделия. Оптимизация температуры и времени взбивания для достижения минимальной плотности и размера пузырьков является общепризнанным подходом к управлению качеством [6].

Одним из перспективных направлений развития ассортимента является частичная или полная замена традиционного яблочного пюре на пюре из других плодов и овощей. Исследования посвящены внесению тыквы, моркови, кабачка, что позволяет обогатить продукт витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и придать новый вкусоароматический профиль [7, 8]. Однако введение подобных добавок, богатых клетчаткой и с иным пектиновым комплексом, существенно меняет реологические характеристики массы, что может негативно сказываться на пенообразовании и устойчивости структуры [9].

Сладкий перец (*Capsicum annuum* L.) рассматривается как ценный источник аскорбиновой кислоты, каротиноидов, антиоксидантов и обладает выраженными вкусоароматическими свойствами [10]. Его использование в кондитерских изделиях, в частности в пастило-зефирной группе, изучено недостаточно. Имеющиеся данные [11] указывают на технологические сложности, связанные с более низкой желирующей способностью по сравнению с яблочным сырьем и возможным влиянием на кинетику аэрации. Комплексное исследование, совмещающее оценку органолептических свойств и детальный анализ влияния перцового пюре на кинетику структурообразования при различных режимах взбивания, в литературе не представлено.

Таким образом, анализ литературы выявил существование двух актуальных, но слабо связанных в исследованиях направлений: 1) углубленный контроль структурных параметров пены (плотность, дисперсность) в зависимости от режимов аэрации и 2) разработка рецептур зефира с овощными компонентами, в частности с пюре сладкого перца.

Научной проблемой является отсутствие методического подхода, позволяющего комплексно оценить влияние новой сырьевой композиции как на сенсорные характеристики, так и на фундаментальные параметры пенообразования (кинетику набора объема, оптимальные температуру и время взбивания). Настоящее исследование направлено на заполнение этого пробела путем синтеза методов органолептического анализа, реологии и микроструктурных исследований для научного обоснования технологии зефира с добавлением пюре сладкого перца.

Формирование характерной пористой структуры зефира, определяющей его потребительские качества, происходит на этапе аэрации белково-фруктовой основы. Ключевыми технологическими факторами, управляющими этим процессом, являются температура и продолжительность взбивания, которые напрямую влияют на структурно-механические показатели массы: плотность, дисперсность воздушной фазы, стабильность пены. Однако влияние композиции на основе яблочного и перцового пюре на кинетику взбивания и конечные свойства системы изучено недостаточно. Отсутствует комплексный анализ взаимосвязи между составом сырьевой смеси, режимами аэрации и реологическими характеристиками готовой зефирной массы, что

затрудняет целенаправленную разработку рецептур и технологий.

Цель исследования – установление закономерностей влияния температуры, времени взбивания и состава фруктово-овощной композиции (яблочное и перцовое пюре) на структурно-механические и органолептические свойства зефирной массы для научного обоснования оптимальных параметров производства нового продукта.

Задачи: провести сравнительную органолептическую оценку образцов зефирной массы с различным соотношением яблочного и перцового пюре; исследовать кинетику набора объема при взбивании в зависимости от состава смеси; установить влияние температуры (40, 45, 50 °C) и продолжительности взбивания на динамику изменения плотности и дисперсности пены; разработать регрессионную модель, описывающую зависимость плотности от исследуемых факторов; на основании комплексного анализа определить оптимальные рецептурные и технологические параметры.

Объекты и методы. Исследования проводились в отделе хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Объекты исследования – образцы зефирной белковой массы, приготовленные по традиционной технологии с модификацией рецептуры. В основе предложенной рецептуры лежит рецептура, поддержанная патентами:

— Зефир функционального назначения. Котвицкая Д.В., Щербакова Е.В. Патент на изобретение RU 2815348 C1, 13.03.2024. Заявка № 2023106303 от 16.03.2023.

— Способ получения зефира функционального назначения. Котвицкая Д.В., Щербакова Е.В. Патент на изобретение RU 2808724 C1, 04.12.2023. Заявка № 2023106325 от 16.03.2023.

В качестве модифицирующей добавки использовали композицию фруктово-овощного пюре, приготовленного из яблок и сладкого перца (рис. 1). Было изучено 5 образцов с различным массовым соотношением компонентов:

- контроль – 100 % яблочное пюре;
- образец 1 – 70 % яблочное + 30 % перцовое;
- образец 2 – 50 % яблочное + 50 % перцовое;
- образец 3 – 30 % яблочное + 70 % перцовое;
- образец 4 – 100 % пюре сладкого перца.

Исходное сырье (яблоки и сладкий перец) мыли, очищали от семенных коробочек и плодоножек. Подготовленные плоды нарезали и подвергали тепловой обработке – бланшированию паром при температуре 96–98 °С в течение 10–12 мин для инактивации ферментов и размягчения тканей. После охлаждения мякоть протирали

через сито с диаметром отверстий 0,7–1,0 мм для получения однородного пюре. Яблочное и перцовое пюре смешивали в заданных массовых соотношениях непосредственно перед использованием. Схематично технология представлена на рисунке 1.

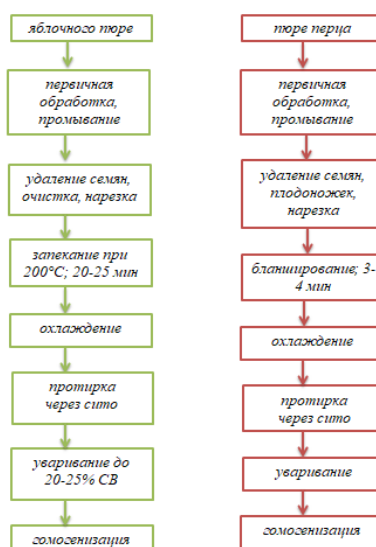


Рис. 1. Технология приготовления пюре
Technology of making puree

Зефирную массу готовили на основе агара. Агар-агар предварительно замачивали для набухания на 3–4 ч. Сахарный сироп с агар-агаром уваривали до температуры 110–112 °С и концентрации сухих веществ (84,5 ± 0,5) %. Отдельно взбивали яичные белки до увеличения их объема в 5–6 раз и получения устойчивой пены. На этом этапе во взбитые белки вводили заданное количество исследуемой фруктово-овощной смеси (пюре) при температуре (~20 °С) и продолжали взбивание в течение 1 мин для гомогенизации. Затем, не прекращая механического воздействия, в массу тонкой струей вливали горячий сироп. Взбивание продолжали до полного охлаждения и формирования устойчивой структуры.

Органолептическая оценка проводилась профильным методом комиссией экспертов (5 человек) в стандартных условиях. Использовали 10-балльную дескрипторную шкалу (0 – отсутствие признака / очень плохо, 10 – максимальная выраженность / отлично). Оценивали шесть ключевых показателей: внешний вид, консистенцию, запах, вкус (включая баланс и выраженность нот), сбалансированность вкусового впе-

чатления и послевкусие. Итоговый балл образца рассчитывали как среднее арифметическое по всем критериям. Статистическую значимость различий определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, $p < 0,05$).

Определение времени достижения фиксированного объема ($t_{\text{объем}}$). Фиксированный объем – это целевой объем пены, соответствующий оптимальной структуре и аэрации, которую должен иметь готовый зефир. Этот фиксированный объем определяется через параметр кратность вспенивания (К). Стандартная кратность для взбитых кондитерских масс составляет 3,0.

Для оценки пенообразующей способности массу каждого состава взбивали при постоянной температуре ((45 ± 1) °С) и скорости в стандартном мерном цилиндре. Фиксировали время, необходимое для подъема пены до заранее установленной метки, соответствующей заданному увеличению объема (кратность указывается). Для каждого образца проводили 3–5 параллельных измерения.

Метод кинетического контроля оптимального времени взбивания. Для определения

оптимальных параметров аэрации ($t_{\text{опт}}$) проводили синхронный мониторинг двух структурно-механических показателей в зависимости от времени при фиксированной температуре (45 ± 1) °С.

Плотность (ρ , г/см³) – определяли пикнометрически путем взвешивания точно отмеренного объема пены, отобранной через фиксированные интервалы (5, 7, 9, 11 мин).

Дисперсность (d , мкм) – определяли методом световой микроскопии с компьютерным анализом изображений для расчета среднего размера воздушных пузырьков в тех же временных точках.

На основе данных строили кинетические кривые $\rho = f(t)$ и $d = f(t)$. За оптимальное время взбивания принимали момент, предшествующий статистически значимому ухудшению обоих параметров, т. е. точку совпадающих минимумов плотности и дисперсности.

Математическая обработка данных проводилась с использованием стандартного пакета

статистических программ (например Microsoft Excel, Statistica). Достоверность различий оценивали при $p < 0,05$. Для описания зависимости плотности от факторов (температура, время) применяли регрессионный анализ.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе проводилась органолептическая оценка зефирной массы с композицией яблочного и перцового пюре.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Результаты органолептической оценки зефирной массы с различным соотношением яблочного и перцового пюре, представленные в таблице 1, выявил достоверные различия между образцами по всем оцениваемым критериям.

Единая таблица 10-балльной дескрипторной шкалы органолептической оценки зефира, на основании критериев которой проводилась оценка, представлена в таблице 2.

Таблица 1

Органолептическая оценка зефирной массы с композицией яблочного и перцового пюре (по 10-балльной шкале)

Organoleptic evaluation of marshmallow mixture with apple and pepper puree (on a 10-point scale)

Критерий оценки	Контроль (100 % яблочное)	Образец 1 (70 % Я + 30 % П)	Образец 2 (50 % Я + 50 % П)	Образец 3 (30 % Я + 70 % П)	Образец 4 (100 % перцовое)
1. Внешний вид (цвет, однородность)	9	10	9	8	7
2. Консистенция (пористость, нежность)	10	9	8	6	5
3. Запах (интенсивность, гармоничность)	9	10	9	8	7
4. Вкус:					
сладость / кислинка (баланс)	10	9	8	6	3
выраженность фруктовой ноты	10	8	6	4	1
выраженность овощной / перцовой ноты	0	8	8	9	10
отсутствие постороннего привкуса	10	10	10	9	8
5. Сбалансированность вкуса (общее впечатление)	8	10	7	6	4
6. Послевкусие (продолжительность, приятность)	9	10	8	7	5
Итого средний балл	9,4	9,5	7,9	6,8	5,3
Ранг (место)	2	1	3	4	5

Единая таблица 10-балльной дескрипторной шкалы органолептической оценки зефира
A unified 10-point descriptor scale for the organoleptic evaluation of marshmallows

Критерий оценки	10 баллов (Идеал)	7–9 баллов (Хорошо)	5–6 баллов (Удовлетворительно)	1–4 балла (Неприемлемо)
1. Внешний вид	Равномерный цвет. Однородная поверхность.	Цвет хороший, небольшие дефекты поверхности	Цвет неравномерный, заметная неоднородность	Неравномерный цвет, сильные дефекты, рыхлость
2. Консистенция	Идеальная текстура. Высокая, равномерная пористость	Нежность высокая, пористость хорошая, чуть более рыхлая, чем у идеала	Консистенция более рыхлая, пористость снижена	Структура чрезмерно рыхлая, быстро опадает
3. Запах	Гармоничный и чистый. Яркие фруктовые и тонкие овощные ноты	Запах приятный. Фруктовая основа доминирует, перечная нота ощутима, но не резка	Начинает доминировать нехарактерный овощной запах	Отсутствие аромата или выраженный посторонний запах
4.1. Вкус (баланс)	Идеальный баланс. Сладость достаточная, кислотка мягко подчеркивает вкус	Баланс хороший, возможна немного избыточная сладость или недостаточная кислотка	Вкус заметно смещен: приторно сладко или избыточная кислотность	Сильный дисбаланс
4.2. Вкус (выраженность фруктовой ноты)	Ярко выраженный, чистый аромат яблочного пюре	Фруктовая нота присутствует, но ослаблена другими компонентами	Фруктовая нота слабо ощутима	Фруктовая нота практически не ощущается
4.3. Вкус (выраженность овощной ноты)	Выраженная, но гармоничная нота перца, дополняющая вкус	Перечная нота ощутима, но еще не доминирует	Перечная нота начинает доминировать, ощущается овощная составляющая	Вкус неприятный
4.4. Вкус (отсутствие постороннего привкуса)	Полное отсутствие посторонних привкусов.	Привкус неуловим	Легкий, но заметный посторонний привкус	Четко выраженный неприятный привкус, маскирующий основной вкус
5. Баланс вкуса (общее впечатление)	Идеальный гармоничный вкус, создающий новый, целостный профиль	Вкус хороший, но ощущается легкая доминанта одного из компонентов	Вкус неоднозначный	Вкус не гармоничен, общее впечатление отрицательное
6. Послевкусие	Послевкусие чистое, долгое	Приятное, но не длительное	Послевкусие затянутое	Послевкусие неприятное

Наибольший итоговый балл (9,5 из 10) продемонстрировал образец 1 с соотношением 70 % яблочного и 30 % перцевого пюре. Его оценка статистически значимо ($p < 0,05$) превысила оценку контрольного образца (100 % яблочное пюре, 9,4 балла).

Основное преимущество образца 1 над контролем было достигнуто за счет более высоких оценок по параметрам «Внешний вид», «Запах», «Сбалансированность вкуса» и «Послевкусие». Это указывает на формирование нового, гармоничного и визуально привлекательного продукта.

Последовательное увеличение доли перцевого пюре в рецептуре (образцы 2–4) приводило к закономерному и статистически значимому снижению общего балла. Наблюдалось ухудшение консистенции, нарушение баланса вкуса в сторону выраженной овощной ноты и снижение сладости, что негативно отразилось на общем впечатлении.

Таким образом, частичная (30 %) замена яблочного пюре на пюре сладкого перца позволяет получить инновационный продукт с лучшими органолептическими характеристиками по сравнению с классическим зефиром. Оптимальным признано соотношение компонентов 70 : 30.

Установив оптимальное соотношение компонентов по органолептическим показателям, перешли к исследованию физико-химических свойств выбранных образцов. Для оценки технологических характеристик и устойчивости пенной структуры определяли кинетику набора объема при взбивании.

Целью данного блока экспериментов было установление времени, необходимого для достижения заданного фиксированного объема зефирной массы каждого состава, что является ключевым параметром для стандартизации технологического процесса.

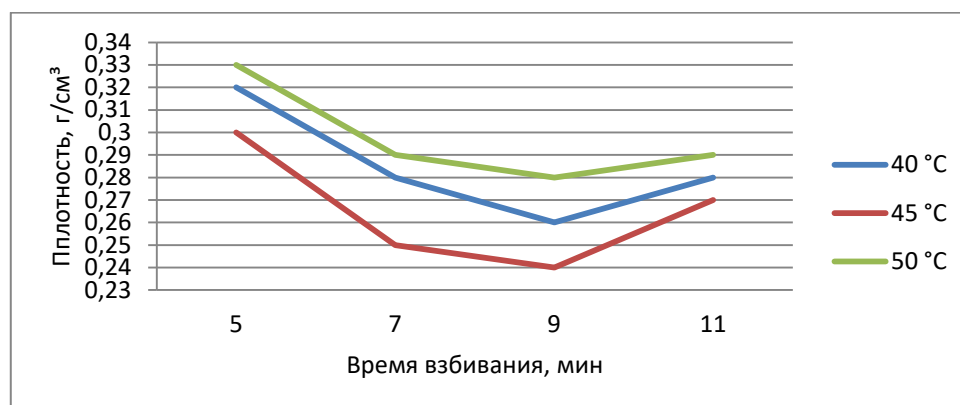


Рис. 2. Зависимость времени взбивания зефирной массы до достижения фиксированного объема от дозировки пюре из сладкого перца

The time it takes to beat the marshmallow mixture to a fixed volume depends on the amount of sweet pepper puree added

Установлена четкая зависимость – с увеличением доли пюре сладкого перца в рецептуре время, необходимое для достижения заданного объема, статистически значимо увеличивается. Это указывает на снижение пенообразующей способности и скорости аэрации по мере замены яблочного сырья на перцевое, что, вероятно, связано с различиями в содержании пектина, сахаров и пищевых волокон.

При этом, несмотря на некоторое увеличение технологического времени по сравнению с контролем, образец 1 (70 : 30) выбран в каче-

стве базового для последующих этапов исследований по следующим причинам:

- продемонстрировал наивысшие органолептические показатели (9,5 балла), превзойдя традиционный рецепт по сбалансированности вкуса, аромату и внешнему виду;

- увеличение продолжительности технологической операции является незначительным и не оказывает критического влияния на эффективность процесса, особенно с учетом получения продукта с повышенной потребительской привлекательностью.

Данный образец представляет оптимальный баланс между инновационными сенсорными свойствами и приемлемыми реологическими характеристиками процесса структурообразования.

Таким образом, для разработки нового продукта выбран образец 1, технологический режим для которого (время взбивания ~ 11,7 мин) подлежит дальнейшей детализации и оптимизации.

На следующем этапе определяли оптимальные параметры (температуру и время

взбивания) для достижения наилучших органолептических и структурных характеристик зефира на основе заданной рецептуры.

Для этого определяли плотность и дисперсность пены, в зависимости от температуры и времени взбивания.

На рисунке 3 представлены кинетические кривые зависимости плотности (г/см^3) зефирной массы от продолжительности взбивания (мин) при трех температурных режимах: 40, 45 и 50 °C.

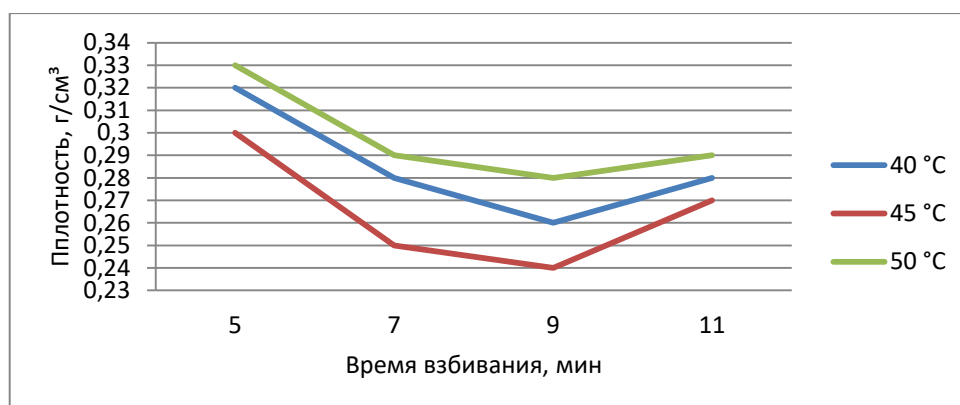


Рис. 3. Кинетика изменения плотности зефирной массы при различных температурах
Kinetics of changes in the density of marshmallow mass at different temperatures

Все три кривые имеют ярко выраженный U-образный характер, что свидетельствует о наличии четкого оптимума процесса.

Кривая при 45 °C демонстрирует наиболее глубокий и четкий минимум. Плотность закономерно снижается с 0,300 г/см^3 (на 5-й мин) до минимального значения 0,240 г/см^3 на 9-й мин, после чего наблюдается ее рост.

Кривая при 40 °C имеет сглаженный вид. Минимум плотности (0,260 г/см^3) также достигается к 9-й мин, но исходные и конечные значения плотности выше, чем при 45 °C.

Кривая при 50 °C характеризуется самым ранним наступлением минимума. Наименьшая плотность (0,290 г/см^3) фиксируется уже на 7-й мин, после чего следует резкий рост показателя, что указывает на быструю дестабилизацию системы.

Графики наглядно иллюстрируют значимое влияние температуры на кинетику аэрации. Режим 45 °C обеспечивает не только максимальное снижение плотности (максимальное насыщение воздухом), но и наибольшую временную

стабильность полученной пенной структуры после достижения оптимума. Это подтверждает его эффективность для получения продукта с заданными структурно-механическими свойствами.

На основе предоставленных данных методом регрессионного анализа получена следующая модель:

$$\rho = 3,6365 - 0,108 \cdot T - 0,389 \cdot t + 0,0012 \cdot T^2 + 0,022 \cdot t^2 + 0,0025 \cdot T \cdot t,$$

где ρ – плотность пены (г/см^3); T – температура (°C); t – время взбивания (мин).

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,976$.

Таким образом, установлен оптимальный режим – 44–45 °C, 9 мин взбивания. При отклонении температуры на ± 2 °C от оптимума плотность увеличивается на 2–3 %. При отклонении времени на ± 1 мин плотность увеличивается на 1–2 %.

Для достижения стабильного качества. Рекомендуется поддерживать температуру (45 ± 1) °C и время взбивания ($9 \pm 0,5$) мин.

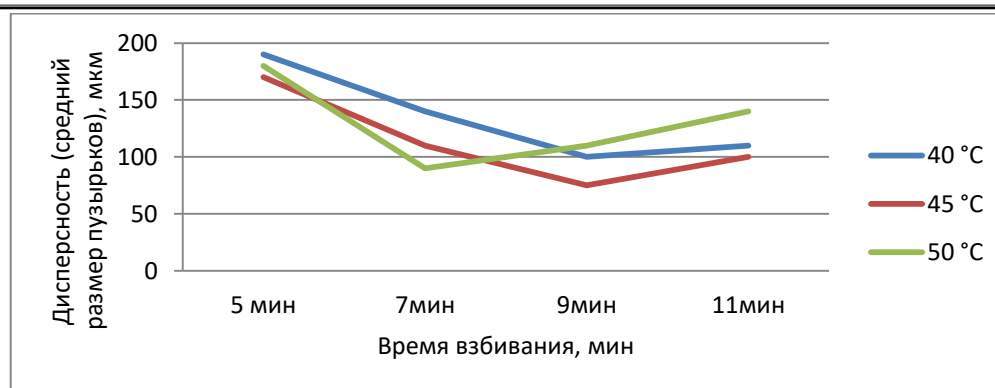


Рис. 4. Влияние температуры на кинетику дисперсности зефирной массы
The influence of temperature on the kinetics of dispersion of marshmallow mass

Для всех температур характер кривых подтверждает теоретическую модель процесса – фаза диспергирования → минимум дисперсности (оптимум) → фаза коалесценции (укрупнение пузырьков).

Температура 45 °C (оптимальная) – кривая имеет наиболее глубокий и выраженный минимум (~75 мкм в момент $t = 9$ мин). Это свидетельствует о формировании наиболее стабильной и тонкой пенной структуры с наилучшим соотношением скорости дробления пузырей и прочности стабилизирующих пленок.

Температура 40 °C – минимум дисперсности (~100 мкм) выражен слабее и смещен к более позднему времени. Более высокая вязкость массы при пониженной температуре замедляет процессы диспергирования воздуха и реорганизации пленок.

Температура 50 °C – минимум дисперсности является наименее глубоким (~90 мкм) и самым ранним ($t = 7$ мин), после чего наблюдается резкий рост показателя. Повышенная температура ускоряет диспергирование, но одновременно снижает вязкость и упругость межфазных пленок, вызывая их быстрое истончение и раннюю коалесценцию пузырьков.

Положение минимумов дисперсности на графиках полностью коррелирует с точками минимальной плотности.

Проведенный сравнительный анализ кинетических кривых изменения плотности и дисперсности в процессе аэрации подтверждает высокую степень корреляции ($R^2 > 0,95$) между этими ключевыми структурными параметрами. Оптимальное время взбивания для каждой температуры соответствует совпадающему экстремуму на обоих графиках. Наибольшая стабильность пенной структуры и наилучшие

текстурные показатели достигаются при температуре 45 °C и продолжительности взбивания 9 мин, что подтверждается синхронным минимумом плотности (0,40 г/см³) и дисперсности (~75 мкм).

Закключение. Установлено, что частичная замена яблочного пюре на пюре сладкого перца в количестве 30 % позволяет получить зефирную массу с органолептическими характеристиками, превосходящими традиционный продукт. Оптимальным признано соотношение 70 % яблочного и 30 % перцевого пюре (образец 1), получившее наивысшую интегральную оценку 9,5 балла за счет улучшенного внешнего вида, гармоничного вкусоароматического букета и приятного послевкусыя.

Выявлено, что увеличение доли перцевого пюре в рецептуре приводит к статистически значимому увеличению времени, необходимого для достижения заданного фиксированного объема при взбивании, что указывает на снижение пенообразующей способности массы. Для выбранного оптимального образца (70 : 30) время взбивания до заданного объема составило ~11,7 мин, что технологически приемлемо.

Методом кинетического контроля (мониторинг плотности и дисперсности) определены оптимальные параметры процесса структурообразования: температура 45 °C и продолжительность взбивания 9 мин. При этих условиях достигается минимальная плотность (0,240 г/см³) и наименьший размер воздушных пузырьков (~75 мкм), что соответствует формированию наиболее стабильной и нежной пенной структуры.

Разработана адекватная математическая модель зависимости плотности от температуры и времени взбивания ($R^2 = 0,976$), подтвер-

ждающая установленный оптимум. Для обеспечения стабильного качества продукта рекомендуется поддерживать режим: температура (45 ± 1) °С, время взбивания ($9 \pm 0,5$) мин.

Таким образом, научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность создания нового вида зефира с улучшенными сенсорными свойствами на основе композиции яблочного и перцового пюре (70 : 30) при опти-

мальных параметрах аэрации (45 °С, 9 мин), исходя из определенных параметров температуры, продолжительности взбивания и состава сырьевой композиции зефирной массы. Дальнейшие исследования будут направлены на определение остальных органолептических и физико-химических показателей, регламентируемых ГОСТ 6441-2014.

Список источников

1. Соколовский А.Л., ред. Технология кондитерских производств. М.: Пищепромиздат, 2018. 400 с.
2. Петрухин Д.А., Ковалева Е.Д., Ключко Н.Ю. Современные тенденции в производстве мармеладно-пастильных изделий // Вестник молодежной науки. 2020. № 3 (25).
3. Paduret S., Zimbru R.O., Amariei S. Texture and rheological evaluation of aerated confectionery // Ovidius University Annals of Chemistry. 2020. N 31. P. 60–65. DOI: 10.2478/auoc-2020-0012.
4. Присухина Н.В., Ермош Л.Г., Типсина Н.Н., и др. Разработка нового вида зефира черносмородинового с использованием базилика // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3 (156). С. 135–142. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-135-142.
5. Калиновская Т.В., Омельчук В.И., Гаврилов А.В. Исследование влияния технологических факторов на изменение структурно-механических свойств затяжных аэрированных конфетных масс на основе сывороточных белков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84, № 2. С. 128–134. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-128-134.
6. Zimbru R.O., Paduret S., Amariei S. Effect of aeration on physicochemical, color and texture characteristics of confectionery foams // Ukrainian Food Journal. 2020. N 9. P. 99–110. DOI: 10.24263/2304-974X-2020-9-1-9.
7. Бакина А.П., Камоза Т.Л. Перспективы использования пюре из мякоти тыквы и джема из ягод красной смородины при производстве зефира // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6 (159). С. 207–214. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-207-214.
8. Ayala-Zavala J.F., Vega-Vega V., Rosas-Dominguez C., et al. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives // Food Research International. 2011. N 44. P. 1866–1874. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2011.02.021.
9. Иванова И.В., Белкина Т.В., Белоглазова М.В., и др. Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. 2016. № 1 (9). С. 43–47. EDN: WNFZSL.
10. Ghasemnezhad M., Sherafati M., Payvast G.A. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times // Journal of Functional Foods. 2011. V. 3, is. 1. P. 44–49. DOI: 10.1016/j.jff.2011.02.002.
11. Фощан А. Применение комбинированных структурирующих веществ различного происхождения в производстве жележных изделий // Вестник Алматинского технологического университета. 2023. № 2. С. 147–156. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-2-147-156.

References

1. Sokolovskij AL, ed. Tekhnologiya konditerskih proizvodstv. Moscow: Pishchepromizdat; 2018. 400 p. (In Russ.).
2. Petrukhin DA, Kovaleva ED, Kliuchko NYu. Modern trends in the production of marmalade and pastilles. *Vestnik molodezhnoy nauki*. 2020;3. (In Russ.).
3. Paduret S, Zimbru RO, Amariei S. Texture and rheological evaluation of aerated confectionery // *Ovidius University Annals of Chemistry*. 2020;31:60-65. DOI: 10.2478/auoc-2020-0012.

4. Prisukhina NV, Ermosh LG, Tipsina NN, et al. The development of a new type of blackcurrant marshmallow with using basil. *Bulletin of KSAU*. 2020;(3):135-142. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-135-142.
5. Kalinovskaya TV, Omelchuk VI, Gavrilov AV. Study of the influence of technological factors on the change in the structural and mechanical properties of protracted aerated candy masses based on whey proteins. *Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies*. 2022;84(2):128-134. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-128-134.
6. Zimbru RO, Paduret S, Amariei S. Effect of aeration on physicochemical, color and texture characteristics of confectionery foams. *Ukrainian Food Journal*. 2020;(9):99-110. DOI: 10.24263/2304-974X-2020-9-1-9.
7. Bakina AP, Kamoza TL. The research on the prospects of using pumpkin pulp puree and red currant jam in marshmallow production. *Bulletin of KSAU*. 2020;(6):207-214. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-207-214.
8. Ayala-Zavala JF, Vega-Vega V, Rosas-Dominguez C, et al. Agro-industrial potential of exotic fruit by-products as a source of food additives. *Food Research International*. 2011;44:1866-1874. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2011.02.021.
9. Ivanova IV, Belkina TV, Beloglazova MV, et al. The use and obtaining of fruit and vegetable additives in the productions of flour, confectionery and bakery products. *Technologies of the food and processing industry of AIC*. 2016;(1):43-47. (In Russ.). EDN: WNFZSL.
10. Ghasemnezhad M, Sherafati M, Payvast GA. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*. 2011;3(1):44-49. DOI: 10.1016/j.jff.2011.02.002.
11. Foshchan A. The use of combined structuring agents of various origins in the production of jelly products. *The Journal of Almaty Technological University*. 2023;(2):147-156. (In Russ.). DOI: 10.48184/2304-568X-2023-2-147-156.

Статья принята к публикации 13.03.2026 / The article accepted for publication 13.03.2026.

Информация об авторах:

Дарья Вадимовна Котвицкая, аспирант

Татьяна Викторовна Першакова, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент

Information about the authors:

Daria Vadimovna Kotvitskaya, Postgraduate student

Tatyana Viktorovna Pershakova, Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Docent

