

# Разработка технологии и оценка эффективности нового продукта – функционального безглютенового кекса

**Жаркова Ирина Михайловна**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19  
E-mail: zharir@mail.ru*

**Сафонова Юлия Александровна**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19  
E-mail: kulakova7@yandex.ru*

**Густинович Василий Григорьевич**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19  
E-mail: vasil.gustinovich@gmail.com*

**Ильева Татьяна Львовна**

*ООО «Клинический санаторий им. М.Горького»  
Адрес: 394023, город Воронеж, Центральный район  
E-mail: tasha\_ileva@mail.ru*

Для больных, страдающих целиакией или другими формами непереносимости глютена, основным условием при составлении рациона питания является отказ от изделий, содержащих в своем составе продукты переработки зерна пшеницы, ржи, ячменя, то есть строгое соблюдение безглютеновой диеты. Однако, отмечается ограниченность химического состава безглютеновых продуктов, что может отрицательно сказываться на здоровье и самочувствии больных, соблюдающих такой режим питания в течение длительного времени. Поэтому перед исследователями стоит задача создания новых безглютеновых изделий, обогащенных необходимыми веществами: растительной клетчаткой, витаминами, кальцием, магнием, железом и так далее. С этой целью при разработке рецептуры такой категории мучных изделий используют нетрадиционное сырье. В работе представлены результаты исследования по отработке технологии производства безглютенового кекса с применением амарантовой муки, муки из клубней чумы, морковного и яблочного порошков, а также смеси стевиозида и изомальта. При проектировании рецептуры нового изделия было использовано специализированное программное обеспечение, которое на основе составленной математической модели позволило определить оптимальный рецептурный состав моделируемого продукта с необходимым соотношением ингредиентов, согласно заданным ограничениям. Были получены шесть вариантов рецептур безглютенового кекса. Оценка совокупности органолептических и физико-химических показателей позволила выбрать наилучшую рецептуру, сгенерированную программой. Белок безглютенового кекса содержит все незаменимые аминокислоты. Причем получены экспериментальные данные, подтверждающие высокую степень сбалансированности аминокислотного состава белков безглютенового кекса. Полученное изделие можно отнести к группе функциональных пищевых продуктов по содержанию фосфора, магния, селена, а для отдельных групп потребителей – также по содержанию железа, кальция, калия. По показателям безопасности разработанный кекс соответствует требованиям ТР ТС 021. Возможность включения его в рацион питания больных с симптомами непереносимости глютена подтверждена с участием добровольцев. Разработана функциональная и аппаратурно-технологическая схемы производства безглютенового кекса.

**Ключевые слова:** безглютеновые мучные изделия, целиакия, специализированный программный продукт, амарант, чума, морковный порошок, яблочный порошок

## Введение

В структуре потребления пищевых продуктов доля изделий из пшеничной и ржаной муки составляет около 15%. Содержащиеся микронутриенты – железо, кальций, фолаты, а также клетчатка, не позволяют полностью исключить данную группу продуктов питания из рациона. Но следует отметить, что существуют случаи, когда безглютеновая диета является необходимым условием лечения заболеваний, связанных с непереносимостью глютена. Ограниченность химического состава безглютеновых продуктов влияет на обеспечение организма человека необходимым количеством питательных веществ. Поэтому при разработке рецептур новых безглютеновых изделий необходимо применять сырьевые компоненты, богатые клетчаткой, белком и другими дефицитными микронутриентами.

## Литературный обзор

Безглютеновая диета (БГД) – это диета, предусматривающая отказ не только от традиционного хлеба, зерновых хлопьев, макарон, пиццы и пива, поскольку глютен может содержаться во многих других индустриально производимых продуктах, в том числе соусах, витаминно-минеральных премиксах и других. Поэтому строгое соблюдение БГД весьма сложная задача, которую вынуждены решать отдельные группы населения, в первую очередь те, у кого диагностирована целиакия или другие формы непереносимости глютена, или чувствительность к нему (Парфенов, Маев, Баранов, Бакулин, Сабельникова, Крумс, 2017, с. 94-107; Choung, Lamba, Marietta, See, Larson, King, Van Dyke, Tapia, Murray, 2019; Hogg-Kollars, Al Dulaimi, Tait, Rostami, 2014, p. 189-197). Кроме того, в научно-технической литературе имеются сведения о ряде состояний, когда может быть показана безглютеновая диета. Например, отмечена патогенетическая связь между глютеном и IgA нефропатией (Costa, 2018, p. 64). Есть данные о том, что целиакия и сахарный диабет 1 типа имеют высокую склонность к сосуществованию (Oujamaa, Sebbani, Elmoumou, Bourrahoute, El Qadiry, El Moussaoui, Ait Sab, Sbihi, Ennazk, El Mghari-Tabib, El Ansari, Baizri, Amine, Admou, 2019; Goodwin, 2019; Kaur, Bhadada, Minz, Dayal, Kochhar, 2018, p. 399-408), и целиакия диагностируется у 1-16,4% пациентов с сахарным диабетом 1 типа (Sánchez, Cabrera-Rode, Sorell, Galvan, Hernandez, Molina, Perich, Licea, Domínguez, Díaz-Horta, 2007,

p. 103-107; Safi, 2019, p. 647-656). Отмечается, что глютенная болезнь (целиакия) и сахарный диабет 2 типа имеют общие генетические факторы (Mostowy, Montén, Gudjonsdottir, Arnell, Browaldh, Nilsson, Agardh, Torinsson, 2016), и зафиксированы случаи сахарного диабета 2 типа на фоне целиакии (Kylökäs, Kaukinen, Huhtala, Collin, Mäki, Kurppa, 2016, p. 76; Kizilgul, Ozcelik, Beysel, Akinci, Kan, Ucan, Apaydin, Cakal, 2017, p. 62).

Исследована связь между потреблением глютена и риском развития диабета 2 типа в долгосрочной перспективе: установлена линейная обратная зависимость между потреблением глютена до 12 г/день и диабетом 2 типа, особенно при увеличении доли потребляемой клетчатки (Zong, Lebwohl, Hu, Sampson, Dougherty, Willett, Chan, Sun, 2018, p. 2164-2173). Некоторые исследователи связывают соблюдение БГД с уменьшением ожирения и нормализацией состояния при сахарном диабете 2 типа за счет снижения резистентности к лептину и инсулину, улучшения толерантности к глюкозе и увеличения объема бета-клеток (Haupt-Jorgensen, Holm, Josefsen, Buschard, 2018; Haupt-Jorgensen, Buschard, Hansen, Josefsen, Antvorskov, 2016, p. 675-684). Однако имеются и противоположные данные, свидетельствующие о наличии связи между длительным соблюдением БГД и повышенным риском развития диабета 2 типа (Novella, 2017).

Еще одним доводом в пользу введения в рацион безглютеновых продуктов являются результаты исследования, проведенного в период с 2004 по 2010 год в 6 клинических центрах Финляндии, Германии, Швеции и Соединенных Штатов (Andrén Aronsson, Lee, Hård Af Segerstad, Uusitalo, Yang, Koletzko, Liu, Kurppa, Bingley, Toppari, Ziegler, She, Hagopian, Rewers, Akolkar, Krischer, Virtanen, Norris, Agardh, 2019, p. 514-523): более высокое потребление глютена в течение первых 5 лет жизни было связано с повышенным риском развития аутоиммунитета при целиакии и целиакии среди генетически предрасположенных детей.

Имеются данные о том, что приверженность безглютеновой диете во время беременности способствует снижению развития сахарного диабета 1 типа (Haupt-Jorgensen, Holm, Josefsen, Buschard, 2018).

В ряде работ отмечается, что ограничение, а тем более полное исключение потребления глютенсодержащих продуктов, способно привести к значительному снижению потребления клет-

чатки и обеспечению организма витаминами, в том числе группы В, минералами и биологически активными компонентами (Zong, Lebwohl, Hu, Sampson, Dougherty, Willett, Chan, Sun, 2018, p. 2164-2173; Shewry, Hey, 2016, p. 6-13; Жаркова, Гребенщиков, Густинович, 2019, с. 55-62; Miranda, Lasa, Bustamante, Churruca, Simon, 2014, p. 182-187; Shepherd, Gibson, 2013, p. 349-358).

## Теоретическое обоснование

Проведенный анализ научно-технической информации позволяет сделать вывод об актуальности проведения работ по улучшению состава безглютеновых продуктов питания, в том числе мучных кондитерских изделий.

Эффективно введение в состав безглютеновых рационов амарантовой муки (Бавыкина, Звягин, Мирошниченко, Гусев, Жаркова, 2017, с. 91-99), муки из клубней чуфы и тонкодисперсных овощных и фруктовых порошков (Жаркова, Гребенщиков, Густинович, 2019, с. 55-62).

В эксперименте с провокацией стрептозотоцином диабета у крыс показана эффективность введения в мучной продукт муки из клубней чуфы (тигровый орех) для повышения потенциала снижения уровня глюкозы в крови, а также увеличения энергетической ценности и антиоксидантной активности продукта (Oluwajuyitan, Ijarotimi, 2019).

Введение овощных и фруктовых порошков в рецептуру безглютеновых изделий, кроме повышения их пищевой плотности, способно решить и другую актуальную проблему, связанную с тем, что целиакия и диабет нередко сопровождаются дисбактериозом (Kumar, Singh, Murugesan, Vetizou, McCulloch, Badger, Trinchieri, Al Khodor, 2020, p. 595-638; Yар, Mariño, 2018).

## Исследование

### Сырье, объекты, методы исследования

Объектом разработки послужил безглютеновый кекс, содержащий в своем составе амарантовую муку (ТУ 9293-004-77872064), муку из клубней чуфы (ТУ 9721-001-37981346), морковный и яблочный порошки (ТУ 9164-001-18419372), а

также сахарозаменители: изомальт (RU.77.99.3 2.009.E.011226.11.14) и стевиозид (RU.77.99.88.0 09.E.009177.11.13).

Оценку полученных безглютеновых кексов проводили на основе анализа показателей качества готовых изделий согласно требованиям ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия». Безопасность полученной продукции оценивали согласно требованиям ТР ТС 021/2011.

Оценку клинической эффективности кексов безглютеновых проводили в условиях ООО «Клинический санаторий имени Горького» города Воронежа. Контрольная и экспериментальная группы включали по 30 человек в возрасте 65-77 лет с симптомами непереносимости глютена со сроками лечения не менее 18 дней.

С целью оптимизации рецептурного состава моделируемого изделия разработано специализированное программное обеспечение на основе полученного математического решения применяемой модели.

Была сформулирована задача в общем виде: подобрать рецептурный состав, при котором будет достигнуто наибольшее соответствие эталонному белку по соотношению незаменимых аминокислот, содержание белка, пищевых волокон и кальция в готовом продукте должно быть по возможности максимальным, а соотношение белков и углеводов должно приближаться к 1:4.

В качестве целевой функции выбрали величину отклонения количества незаменимых аминокислот в белке проектируемого продукта от идеального белка, а ограничениями служили желаемые значения содержания в готовом продукте белка, усвояемых углеводов, пищевых волокон и кальция (Сафонова, Жаркова, Баринов, 2019, с. 14-17). Для решения поставленной задачи сначала необходимо ввести информацию о химическом составе всех ингредиентов, а затем осуществить вычисления.

Математическая формализация представляется следующим образом:

$$\sigma = \sum_{l=1}^L \left( 1 - \frac{\sum_{j=1}^m (A_{jl} \cdot C_j^{\sigma} \cdot x_j)}{A_l^{\sigma} \cdot \sum_{j=1}^m C_j^{\sigma} \cdot x_j} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – отклонение аминокислотного состава белка моделируемого продукта от эталона, ед.;  $A_{jl}$ ,  $A_l^{э\tau}$  – содержание  $l$ -ой незаменимой аминокислоты в белке  $j$ -го рецептурного компонента моделируемого продукта и белке-эталоне, соответственно, мг/1 г белка;  $C_j^{\delta}$  – массовая доля белка в  $j$ -ом рецептурном ингредиенте, %;  $x_j$  – доля  $j$ -го ингредиента в рецептуре изделия;  $j = 1, m, l = 1, L$ . где  $C_j^{\delta}$ ,  $C_j^{пв}$ ,  $C_j^{Ca}$ ,  $C_j^Y$  – массовая доля белка, пищевых волокон, кальция и углеводов в  $j$ -ом рецептурном

$$\left\{ \begin{array}{l} d_1' \leq \sum_{j=1}^m C_j^{\delta} \cdot x_j \leq d_1, \\ d_2' \leq \sum_{j=1}^m C_j^{пв} \cdot x_j \leq d_2, \\ d_3' \leq \sum_{j=1}^m C_j^{Ca} \cdot x_j \leq d_3, \\ d_4' \leq \sum_{j=1}^m C_j^Y \cdot x_j \leq d_4, \\ \sum_{j=1}^m x_j = 1, \\ x_j \geq 0 \end{array} \right. , \quad (2)$$

ингредиенте соответственно, %;  $d_1'$ ,  $d_2'$ ,  $d_3'$ ,  $d_4'$  – массовая доля белка, пищевых волокон, кальция и углеводов соответственно, согласно нижней границе нормы потребления для выбранной группы населения;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  – массовая доля белка, пищевых волокон, кальция и углеводов соответственно, согласно верхним границам норм потребления.

Обобщенный алгоритм работы создаваемой программы по моделированию рецептурного состава безглютеновых изделий представлен в виде блок-схемы (Рисунок 1).

Согласно представленному алгоритму, прежде всего, необходимо определиться с видом моделируемого изделия, например, мучное кондитерское изделие, после чего выбрать наименование изделия, соответствующее виду. Перечень видов изделий и наименований продукции содержится в базе данных, в которой также имеются сведения о сырьевых компонентах и их химическом составе. После того как изделие выбрано, определяются рецептурные ингредиенты и вводится предполагаемое значение количества сырья, расходуемого на выработку данной продукции. Далее запускается цикл, позволяющий рассчитать рецептуру разрабатываемого продукта согласно представ-

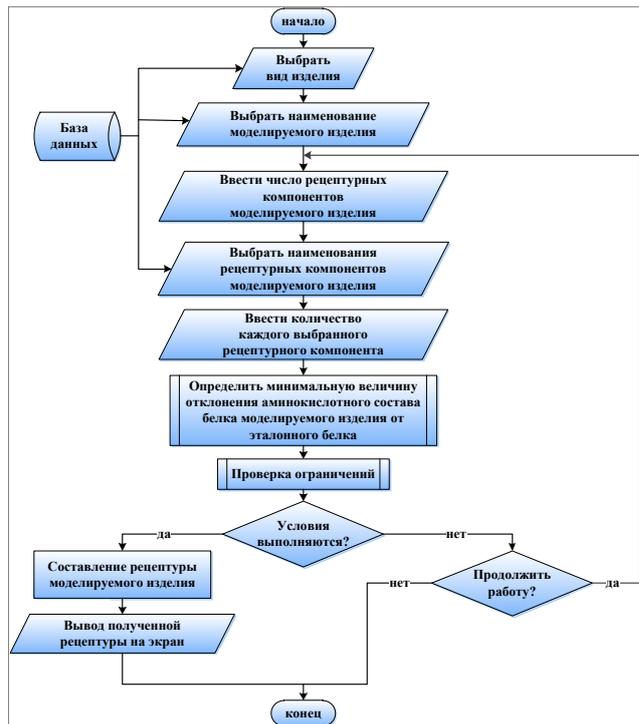


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма работы программы по моделированию состава продукта.

ленной модели: проводится расчет величины отклонения аминокислотного состава белка продукта от белка-эталона в зависимости от количества сырья, вносимого по рецептуре; выбирается минимальное значение величины отклонения и соответствующее ему количество ингредиентов, что и составляет рецептуру моделируемого изделия. При этом проводится определение условий введенных ограничений по массовой доле белка в продукте, пищевых волокон, кальция и углеводов. Если условия выполняются, то составляется рецептура моделируемого продукта, и она выводится на экран; иначе цикл с измененными значениями количества сырья по рецептуре повторяется снова.

## Результаты и их обсуждение

Первоначальным этапом исследования было определение состава и соотношения рецептурных компонентов создаваемого безглютенового изделия. Поставленную задачу решали с помощью разработанного специализированного программного продукта, что позволило сформировать несколько вариантов рецептов проектируемого изделия. В качестве прототипа была использована рецептура безглютенового кекса, приведенная на Рисунке 2.

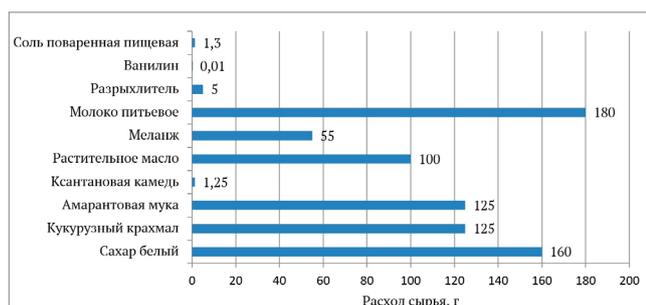


Рисунок 2. Рецепт безглютенового кекса-прототипа.

Работа с программным продуктом заключается в следующем: после запуска файла программы появляется окно выбора вида и наименования изделия, заполняется поле с количеством рецептурных компонентов проектируемого изделия (Рисунок 3а). Далее после нажатия кнопки «Продолжить» проводится подбор из списка необходимого сырья, и вводится его количество (Рисунок 3б).

При нажатии на кнопку «Далее» программа производит расчет массовой доли белка, пищевых волокон, углеводов и кальция в моделируемом продукте, и эта информация выводится на экран (Рисунок 3в), дополняя данные по рецептуре изделия. Нажатие на кнопку «Сохранить» позволяет вывести на экран полученную рецептуру проектируемого изделия в формате \*.pdf.

В результате расчетов, которые проводились с помощью разработанного программного продукта, были сгенерированы 6 вариантов рецептур для кекса безглютенового, отличающиеся по количеству вносимых компонентов. Безглютеновая смесь, состоящая из кукурузного крахмала и амарантовой муки, была модифицирована и, помимо перечисленных ингредиентов, включала муку из клубней чумы. С целью повышения содержания в готовом продукте минеральных веществ и витаминов в рецептуру разрабатываемого безглютенового кекса дополнительно были введены яблочный и морковный порошки. При этом расход муки амарантовой первого сорта на 1 т готовой продукции составлял от 121,85 кг до 172,96 кг, крахмала кукурузного – 146,6-245,7 кг, муки из клубней чумы – 123,8-174,2 кг, порошка яблочного – 12,77-14,77 кг, порошка морковного – 11,79-12,99 кг. На Рисунке 4 в качестве примера представлены сгенерированные программой варианты рецептур безглютенового кекса № 2 и № 4.

Расчетные показатели по содержанию нутриентов в готовом изделии были следующими, %: белок – 5-10, углеводы – 45-47, пищевые волокна – 4,8-2,55, кальций – от 184,6 до 209,57 мг/100 г.

Полученные 6 вариантов рецептур, удовлетворяющие заданным требованиям по содержанию отдельных биологически значимых веществ, были взяты за основу для дальнейшей отработки технологических параметров производства безглютенового кекса. Внешний вид безглютеновых кексов, полученных по сгенерированным рецептурам, показан на Рисунке 5а, характеристика показателей качества представлена в Таблицах 1 и 2.

Анализ представленных данных (Рисунок 5, Таблицы 1 и 2) позволил сделать вывод, что по совокупности органолептических и физико-химических показателей лучшими были кексы, изготовленные по варианту рецептуры № 2, сгенерированному программой.

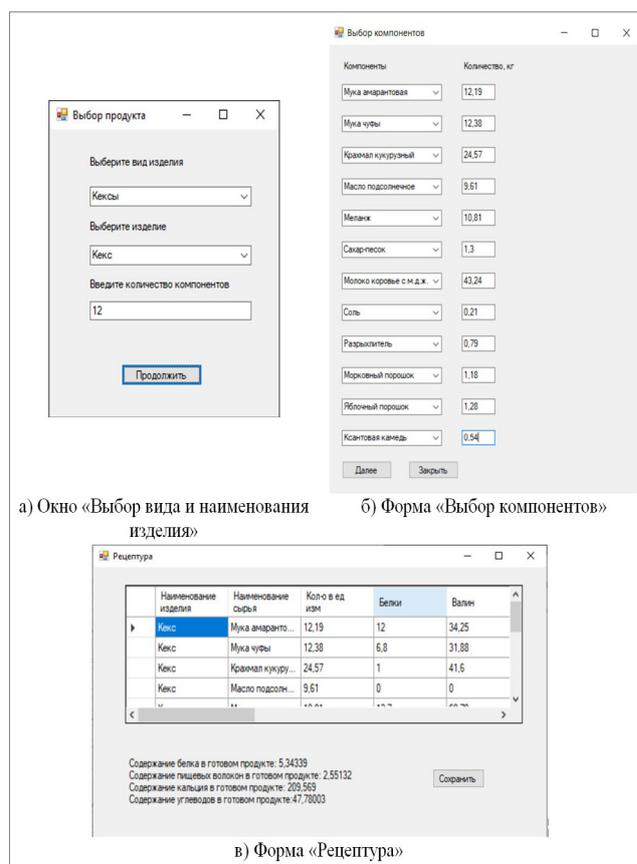


Рисунок 3. Интерфейс разработанного программного продукта для расчета модельных рецептур.

Таблица 1  
Органолептические показатели безглютеновых кексов

Показатель	Характеристики образцов безглютеновых кексов по вариантам рассчитанных программой рецептов:					
	1	2	3	4	5	6
Запах	Ярко выраженный, характерный для изделий из амарантовой муки	Выраженный амарантовый с ореховым оттенком	Характерный амарантовый	Характерный для изделий из муки амаранта и чуфы		
Вкус	Сладкий, ореховый привкус		Сладкий, с характерным амарантовым привкусом	Выраженный привкус жирового продукта		
Поверхность	Выпуклая, гладкая, с подрывами у верхней корки, разрывами верхней корки	Выпуклая, гладкая, с небольшими подрывами у верхней корки и небольшими трещинами	Недостаточно выпуклая, гладкая, с подрывами у верхней корки, небольшими разрывами верхней корки	Выпуклая, слегка шероховатая с небольшими трещинами		с выраженными трещинами на поверхности
Цвет корки	Золотисто-коричневой	Желто-коричневый	Светло-коричневый	Коричневый	Темно-коричневый	
Цвет мякиша	Желтый	Желтый с коричневым оттенком	Светло-коричневый	Коричневый	Серо-коричневый	
Эластичность мякиша	Малозластичный, упругий, слегка влажный на ощупь, заминающийся	Среднеэластичный, более плотный, сухой на ощупь	Высокоэластичный, упругий,	Среднеэластичный, упругий,	Высокоэластичный, упругий, маслянистый на ощупь	
Структура мякиша	Плотная, слабо разрыхленная	Пористая, мягкая		Разрыхленная, пористая, мягкая		

Таблица 2  
Физико-химические показатели безглютеновых кексов

Показатель	Характеристика образцов по вариантам рецептов:					
	1	2	3	4	5	6
Массовая доля влаги, %	29,2	27,1	31,9	28,2	27,5	29,2
Крошковатость, %	8,4	32,9	10,2	21,1	33,4	14,5
Удельная набухаемость, см <sup>3</sup> /г СВ	61,2	241,93	168,27	169,92	184,83	156,31
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	1,60	1,73	1,49	1,56	1,66	1,68

Рецептура кексы

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг		Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг	
		в натуре	в сухих веществах			в натуре	в сухих веществах
Мука амарантовая	88	121,85	107,23	Мука амарантовая	88	171,85	151,23
Крахмал кукурузный	86	245,67	211,27	Крахмал кукурузный	86	145,67	125,28
Мука из клубней чуфы	94	123,82	116,39	Мука из клубней чуфы	94	173,82	163,39
Сахар-песок	99,85	13,01	12,99	Сахар-песок	99,85	13,01	12,99
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	99,9	96,1	96	Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	99,9	76,1	76,02
Меланж	27	108,09	29,19	Меланж	27	118,09	31,88
Разрыхлитель	0	7,94	0	Разрыхлитель	0	7,94	0
Соль поваренная пищевая	96,5	2,06	1,99	Соль поваренная пищевая	96,5	2,06	1,99
Молоко коровье с м.д.ж. 1.5%	11,5	432,37	49,72	Молоко коровье с м.д.ж. 1.5%	11,5	442,37	50,87
Ксантеновая камедь	85	5,4	4,59	Ксантеновая камедь	85	5,4	4,59
Порошок яблочный	92	12,77	11,75	Порошок яблочный	92	14,77	13,59
Порошок морковный	92	11,79	10,85	Порошок морковный	92	12,99	11,95

(а)

(б)

Рисунок 4. Рецептуры № 2(а) и № 4(б) безглютенового кекса, рассчитанные программой.

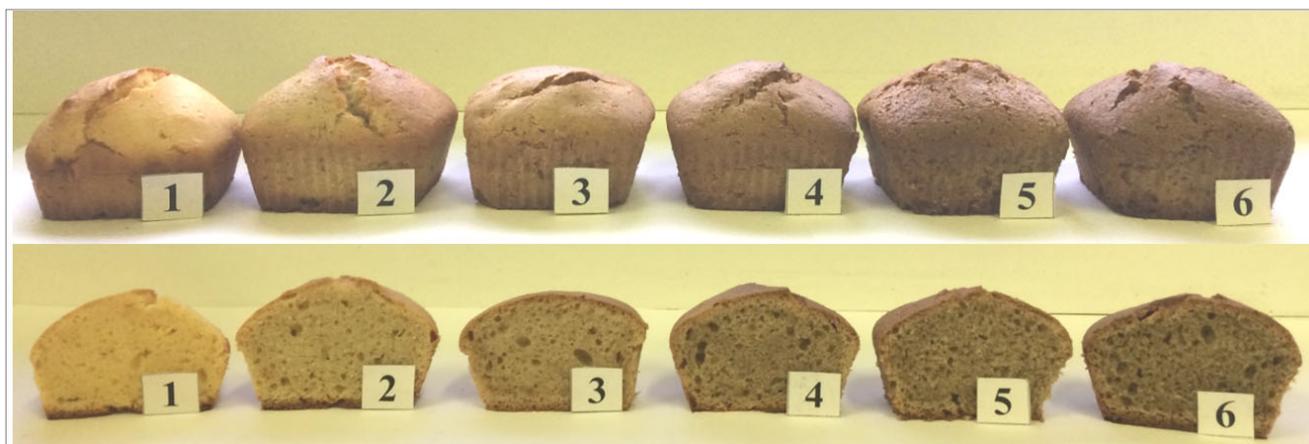


Рисунок 5. Внешний вид безглютеновых кексов, изготовленных по модельным рецептурам – варианты 1-6 соответственно.

Для расширения ассортимента безглютеновых кексов, разрешенных также людям, страдающим сахарным диабетом 2 типа, предусмотрена замена сахара белого в рецептуре кексов на такое же количество комбинации изомальта и стевии, взятых в соотношении 100:0,3.

Характеристика некоторых показателей химического состава безглютенового кекса со смесью стевии и изомальта представлена в Таблице 3, минерального состава – в Таблице 4, аминокислотного состава – на Рисунке 6.

Таблица 3

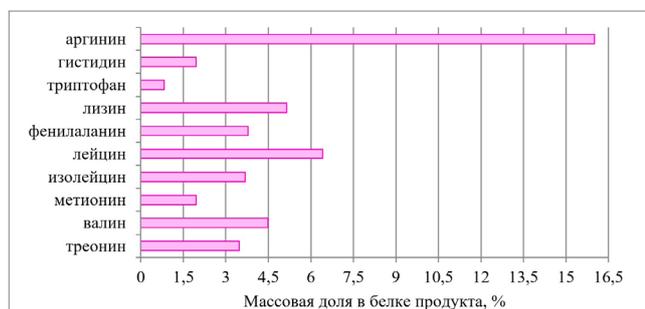
Характеристика некоторых показателей химического состава безглютенового кекса

Показатель	Значение
Массовая доля, %:белка	5,00
жира	15,9
крахмала	30,5
пищевых волокон	2,17

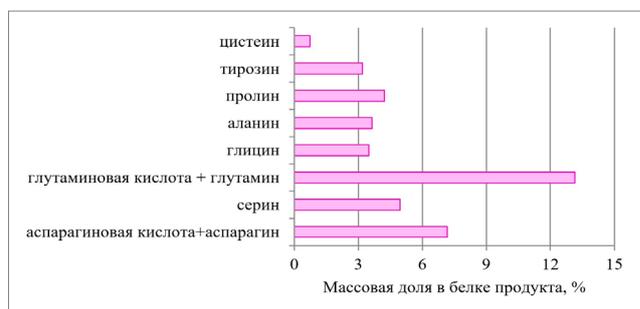
Таблица 4

Характеристика минерального состава безглютенового кекса

Элемент	Содержание в образце, мкг/г (среднее значение ± погрешность, P=0,95)	Элемент	Содержание в образце, мкг/г (среднее значение ± погрешность, P=0,95)
Al	6,7±0,67	Zn	14,24±1,42
B	1,79±0,18	V	0,1±0,014
Ca	1663±96	Si	17,47±1,75
Co	0,02±0,002	Se	0,31±0,037
Cr	0,42±0,051	P	2401±240
Cu	1,42±0,14	Na	2488±249
Fe	23,74±2,37	Mn	3,76±0,38
I	0,14±0,017	Mg	676±68
K	2781±278	Li	0,01±0,002



Незаменимые и условно незаменимые аминокислоты



Заменимые аминокислоты

Рисунок 6. Характеристика состава аминокислот безглютенового кекса.

Из данных, приведенных на Рисунке 6, видно, что белок безглютенового кекса со смесью стевииозидов и изомальта содержит все незаменимые аминокислоты, то есть является полноценным. Показатели, характеризующие биологическую ценность белка продукта, приведены на Рисунках 7 и 8. Представленные данные свидетельствуют о высокой степени сбалансированности аминокислотного состава белков безглютенового кекса: значение показателя коэффициента утилитарности (Ku) сравнимо с аналогичным показателем для белков молока коров красно-пестрой породы (Аль-Бази Мезхер, Прудников, Шаповалов, Ионов, Руденко, Русько, 2013, с. 57-64).

Одной из групп показателей безопасности пищевой продукции, нормируемой ТР ТС 021/2011, являются тяжелые металлы. Результаты исследования содержания тяжелых металлов в разработанном безглютеновом кексе со смесью стевииозидов и изомальта представлены в Таблице 5. Анализировали безопасность готового изделия по микробиологическим показателям и по содержанию пестицидов, микотоксинов. Полученные данные свидетельствуют о том, что разработанный безглютеновый кекс соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

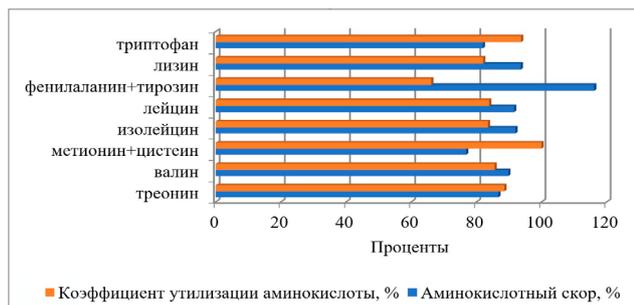


Рисунок 7. Характеристика сбалансированности аминокислотного состава белка безглютенового кекса.

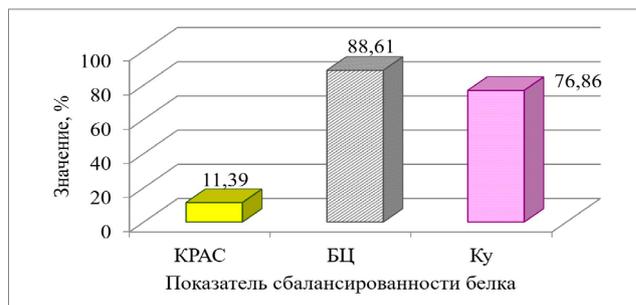


Рисунок 8. Показатели, характеризующие биологическую ценность белков безглютенового кекса со смесью стевиозида и изомальта.

Таблица 5

Результаты исследования безглютенового кекса со смесью стевиозида и изомальта по показателям безопасности пищевого продукта

Наименование показателя, ед. измерения	Содержание в образце	Допустимый уровень в соответствии с ТР ТС 021/2011
Микробиологические свойства:		
Патогенные, том числе сальмонеллы, см <sup>3</sup> , г	не обнаружены	не допускаются в 25
КМАФАнМ, КОЕ/г	4,5×10 <sup>2</sup>	не более 5×10 <sup>3</sup>
БГКП (колиформы), см <sup>3</sup> , г	не обнаружены	не допускаются в 0,1
S.aureus, г	не обнаружены	не допускаются в 0,1
Дрожжи, КОЕ/г	менее 1×10	не более 50
Плесени, КОЕ/г	менее 1×10	не более 100
Токсичные элементы:		
As	0,006±0,0011	не более 0,3
Cd	0,02±0,003	не более 0,1
Pb	0,02±0,003	не более 0,5
Hg	менее 0,0018	не более 0,02
Sr	2,11±0,21	
Sn	0,01±0,002	Не нормируются
Ni	0,37±0,045	
Пестициды:		
Гексахлорциклогексан, мг/кг	менее 0,00008	не более 0,2
ДДТ и его метаболиты, мг/кг	менее 0,0002	не более 0,02
Микотоксины:		
Афлатоксин В <sub>1</sub> , мг/кг	менее 0,0025	не более 0,005
Дезоксиниваленол, мг/кг	менее 0,05	не более 0,7

Дальнейшие исследования были направлены на подтверждение соответствия разработанного изделия требованиям ТР ТС 027/2012 и стандарта ALINORM 08/31/26, предъявляемым к безглютеновым продуктам по содержания глиаина. Результат составил менее 2,5 мг/кг, что свидетельствует о возможности введения разработанного безглютенового кекса в рацион питания людей, страдающих любой формой непереносимости глютена.

Характеристика степени удовлетворения суточной потребности в некоторых пищевых веществах при употреблении 100 г безглютеновых кексов со смесью стевиозида и изомальта приведена в Таблице 6.

Из представленных данных следует, что разработанный безглютеновый кекс по ряду показателей можно отнести к группе функциональных пищевых продуктов, в частности, по содержанию фосфора, магния, селена, а для отдельных групп

потребителей – также по содержанию железа, кальция, калия. Следует отметить, что для отдельных возрастных групп детей необходимо снизить суточное потребление разработанного изделия до 25-50 г для того, чтобы избежать избыточного поступления в организм некоторых минеральных веществ (магний, селен, фосфор, железо, цинк).

Проводилась оценка состояния здоровья людей при употреблении разработанного безглютенового кекса. Непереносимость глютена у добровольцев выявлялась методом клинического тестирования самооценки симптомов в баллах по 10-балльной шкале при поступлении и при выписке пациентов, находящихся на санаторно-курортном лечении, по 16 признакам: наличие боли в животе через 30-60 мин после еды; метеоризм; нарушение стула; головокружение после еды; нарушения эмоциональной сферы (нестабильность настроения, тревожность, депрессия); головные боли; фибромиалгия; непереносимость лактозы; железодефицитная анемия; хроническая усталость; плохое состояние зубов и десен при систематическом уходе; снижение иммунитета; кожные проблемы (зуд, сыпь, экзема, дерматит); нейропатия; аутоиммунные заболевания; необъяснимые колебания массы тела. Критерием отбора

стало наличие свыше половины симптомов различной степени выраженности. Была сформирована группа из 30 человек, которым в рацион был введен безглютеновый кекс. На протяжении всего исследования пациенты находились под врачебным контролем в соответствии со стандартом оказания санаторно-курортной помощи и с целью отслеживания нежелательных явлений и контроля проводимого исследования. На пищеблоке контроль за употреблением функциональных продуктов осуществлялся диетсестрой. Все больные получали медикаментозное лечение, бальнеотерапевтические и физиотерапевтические процедуры. По окончании срока лечения (нахождения в санатории) проводилось повторное анкетирование с оценкой динамики выраженности симптомов. Более половины исследуемой группы (56,6%) отметили у себя снижение выраженности или полное исчезновение следующих симптомов непереносимости глютена: отсутствовала или снижалась боль в животе через 30-60 мин после еды; уменьшался метеоризм; стабилизировался стул; исчезали признаки нарушения эмоциональной сферы; снижалась или полностью исчезала фибромиалгия; проходила хроническая усталость; состояние кожи приходило в норму; отсутствовали необъяснимые колебания массы тела.

Таблица 6

*Характеристика степени удовлетворения суточной потребности в некоторых пищевых веществах при употреблении 100 г безглютеновых кексов со смесью стевиозида и изомальта*

Наименование показателя	Содержание	Нормы суточной физиологической потребности*			Уровень удовлетворения, % от адекватного суточного потребления		
		Взрослые до 60 лет		Дети	Взрослые до 60 лет		Дети
		мужчины	женщины		мужчины	женщины	
Белок, г/100 г	5	65-117	58-87	36-87	7,69-4,27	8,62-5,75	13,89-5,75
Жир, г/100 г	15,9	70-154	50-102	40-97	22,71-10,32	31,80-15,59	39,75-16,39
Пищевые волокна, г/100 г	2,17	20		10-20	10,85		21,7-10,85
Минеральные вещества, мг/100 г:							
кальций	166,3	1000		400-1200	16,63		41,58-13,86
железо	2,37	10	18	4-18	23,70	13,17	59,25-13,17
фосфор	240,1	800		300-1200	30,01		80,03-20,01
магний	67,6	400		55-400	16,90		122,91-16,90
цинк	1,42	12		3-12	11,83		47,33-11,83
медь	0,142	1,0		0,5-1,0	14,20		28,40-14,20
йод	0,014	0,15		0,06-0,15	9,33		23,33-9,33
калий	278,1	2500		400-2500	11,12		69,53-11,12
селен	0,031	0,07	0,055	0,01-0,05	44,29	56,36	310,0-62,00
кремний	1,75	30		-	5,83		-

\* – согласно МР 2.3.1.2432-08

Участники исследования отметили высокие органолептические качества безглютенового кекса со смесью стевии и изомальта (Рисунок 9).

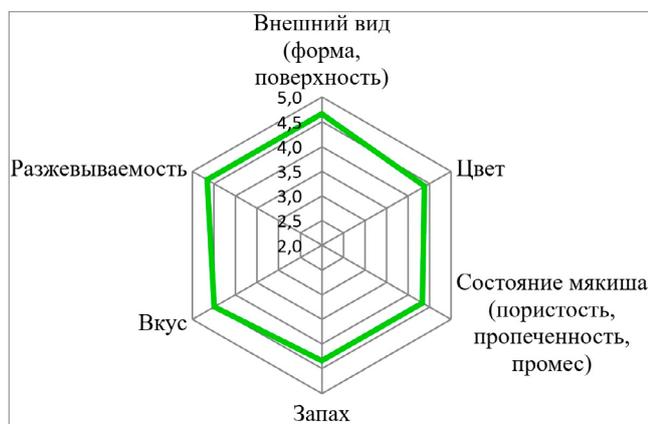


Рисунок 9. Профилограмма органолептических характеристик безглютенового кекса со смесью стевии и изомальта по результатам опроса участников исследования.

Отличие схемы производства безглютеновых кексов от существующих заключается в наличии этапа подготовки клубней чумы, состоящей в их мойке, просушивании и измельчении до крупности частиц, проходящих сквозь металлическое сито № 045. Клубни чумы через приемник (1) поступают на транспортер (2), которым они доставляются на моечную машину (3); после мойки сушка клубней чумы происходит на секционном столе (4). Высушенные клубни чумы поступают на измельчитель (5), где получают муку (Рисунок 11).

Приготовление яично-сахарной смеси путем взбивания сахара и меланжа происходит в сбивальной машине (17). Приготовление молочно-жировой смеси осуществляется в смесителе (15), в который из расходных емкостей (12) подаются растительное масло, молоко и соль. К яично-сахарной смеси добавляют молочно-жировую смесь с помощью дозатора жидких компонентов (14).

Сыпучие компоненты из просеивателя (7) поступают в накопительную емкость (10), затем в производственный силос (11), из которого они подаются к дозатору (13). Происходит приготовлением мучной смеси путем смешивания сухих мучных компонентов и разрыхлителя в коническом смесителе (16). Следующим этапом является внесение полученной мучной смеси в перемешанную массу, состоящую из молочно-жировой и сахарно-яичной смесей, находящуюся в сбивальной машине (17). На малой скорости пере-

мешивают сухие и жидкие компоненты в течение 60–90 с до исчезновения комочков и образования однородной массы.

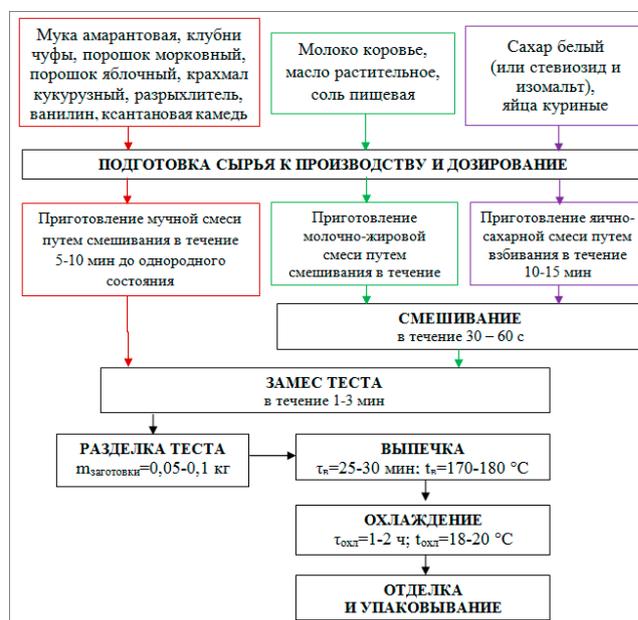


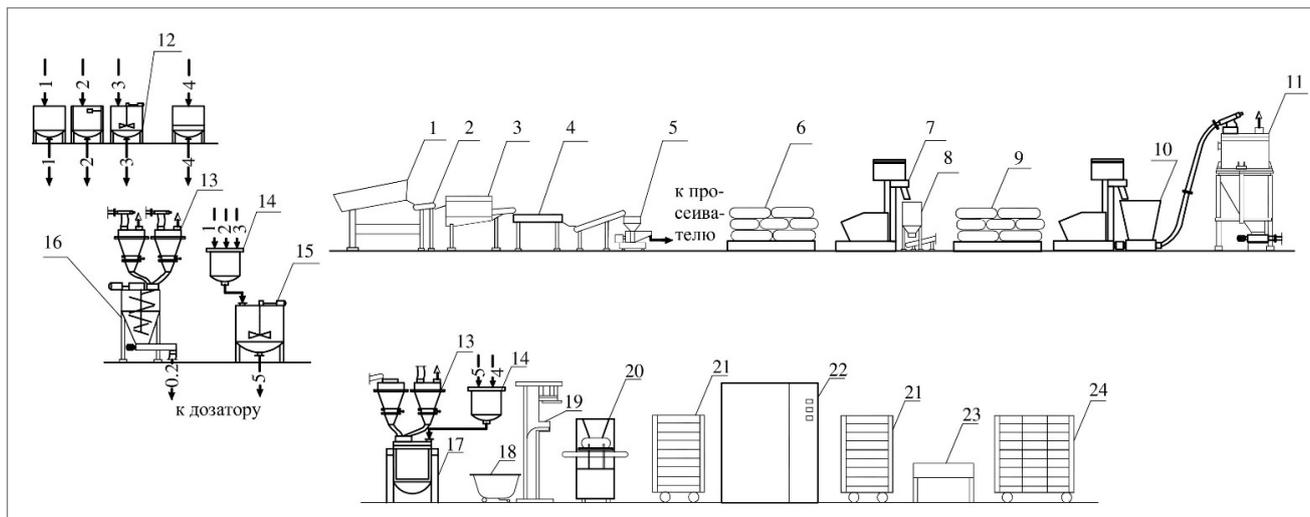
Рисунок 10. Функциональная схема производства безглютенового кекса.

Разделка теста, выпечка заготовок, охлаждение изделий и их упаковывание осуществляют традиционным способом. Режим выпечки: температура 170–175°C, продолжительность 25–30 мин.

На разработанные безглютеновые кексы с мукой из клубней чумы и тонкодисперсными растительными порошками оформлен пакет технической документации (ТУ, ТИ, РЦ 10.72.12-491-02068108-2018 «Кексы «Фараон»»), получена декларация о соответствии выработанной партии продукции требованиям ТР ТС 021/2011.

## Выводы

Разработана технология безглютеновых кексов с мукой амаранта и из клубней чумы с тонкодисперсными порошками моркови и яблок в двух вариантах: с сахаром; со смесью стевии и изомальта, которые по содержанию кальция, фосфора, магния, селена могут быть отнесены к группе функциональных пищевых продуктов. Скомпонованы функциональная и аппаратно-технологическая схемы производства безглютенового кекса.



**Рисунок 11.** Аппаратно-технологическая схема производства безглютеновых кексов: 1 – приемник; 2 – транспортер; 3 – моечная машина; 4 – секционный стол; 5 – измельчитель; 6 – сухие компоненты (сахар) в мешках; 7 – просеиватель; 8 – накопительная емкость для сахара; 9 – сыпучие компоненты в мешках; 10 – накопительная емкость для сыпучих компонентов; 11 – производственный силос; 12 – расходные емкости для жидких компонентов; 13 – дозаторы сыпучих компонентов; 14 – дозатор жидких компонентов; 15 – смеситель для жидких компонентов; 16 – смеситель конический для сухих компонентов; 17 – сбивальная машина; 18 – дежа; 19 – дежеопркидыватель; 20 – формовочная отсадочная машина; 21 – стеллажная тележка; 22 – печь; 23 – стол для упаковки; 24 – контейнер для хранения упакованных изделий.

### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0256 от 26 сентября 2017 г. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57717X0256.

### Литература

Аль-Бази Мезхер К., Прудников В.Г., Шаповалов С.О., Ионов И.А., Руденко Е.В., Русько Н.П. Оценка биологической полноценности белков молока // Научно-технічний бюллетень ІТ НААН. 2013. № 109(2). С. 57-64.  
 Бавыкина И.А., Звягин А.А., Мирошниченко Л.А., Гусев К.Ю., Жаркова И.М. Эффективность продуктов из амаранта в безглютеновом питании детей с непереносимостью глютена // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 2. С. 91-99.  
 Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Густиневич В.Г. Исследование в условиях *in vivo* эффек-

тивности безглютенового мучного изделия в зависимости от состава // Вопросы детской диетологии. 2019. Т. 17. № 2. С. 55-62.  
 Парфенов А.И., Маев И.В., Баранов А.А., Бакулин И.Г., Сабельникова Е.А., Крумс Л.М. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых // Терапевтический архив. 2017. Т. 89. № 3. С. 94-107.  
 Сафонова Ю.А., Жаркова И.М., Баринов А.С. Моделирование рецептур функциональных пищевых продуктов // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 49-12. С. 14-17.  
 Andrén Aronsson C., Lee H.S., Hård Af Segerstad E.M., Uusitalo U., Yang J., Koletzko S., Liu E., Kurppa K., Bingley P.J., Toppari J., Ziegler A.G., She J.X., Hagopian W.A., Rewers M., Akolkar B., Krischer J.P., Virtanen S.M., Norris J.M., Agardh D. Association of gluten intake during the first 5 years of life with incidence of celiac disease autoimmunity and celiac disease among children at increased risk // JAMA. 2019. Vol. 322. No. 6. P. 514-523.  
 Choung R.S., Lamba A., Marietta E.V., See J.A., Larson J.J., King K.S., Van Dyke C.T., Tapia A.R., Murray J.A. Effect of a gluten-free diet on quality of life in patients with nonclassical versus classical presentations of celiac disease // Journal of clinical gastroenterology. 2019 Oct 31. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31688364> (дата обращения: 04.12.2019).

- Costa S., Currò G., Pellegrino S., Lucanto M.C., Tuccari G., Ieni A., Visalli G., Magazzù G., Santoro D. Case report on pathogenetic link between gluten and IgA nephropathy // *BMC Gastroenterology*. 2018. Vol. 18. No. 1. P. 64.
- Goodwin G. Type 1 diabetes mellitus and celiac disease: distinct autoimmune disorders that share common pathogenic mechanisms // *Hormone research in paediatrics*. 2019 Oct 8. P. 1-8. [Epub ahead of print]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31593953> (дата обращения: 04.12.2019).
- Haupt-Jorgensen M., Buschard K., Hansen A.K., Josefsen K., Antvorskov J.C. Gluten-free diet increases beta-cell volume and improves glucose tolerance in an animal model of type 2 diabetes // *Diabetes/metabolism research and reviews*. 2016. Vol. 32. No. 7. P. 675-684.
- Haupt-Jorgensen M., Holm L.J., Josefsen K., Buschard K. Possible prevention of diabetes with a gluten-free diet // *Nutrients*. 2018. Vol. 10. No. 11. pii: E1746. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30428550> (дата обращения: 04.12.2019).
- Hogg-Kollars S., Al Dulaimi D., Tait K., Rostami K. Type 1 diabetes mellitus and gluten induced disorders // *Gastroenterology and hepatology from bed to bench*. 2014. Vol. 7. No. 4. P.189-97.
- Kaur N., Bhadada S.K., Minz R.W., Dayal D., Kochhar R. Interplay between type 1 diabetes mellitus and celiac disease: implications in treatment // *Digestive diseases*. 2018. Vol. 36. No. 6. P. 399-408.
- Kizilgul M., Ozcelik O., Beysel S., Akinci H., Kan S., Ucan B., Apaydin M., Cakal E. Screening for celiac disease in poorly controlled type 2 diabetes mellitus: worth it or not? // *BMC Endocrine disorders*. 2017. Vol. 17. No. 1. P. 62.
- Kumar M., Singh P., Murugesan S., Vetizou M., McCulloch J., Badger J.H., Trinchieri G., Al Khodor S. Microbiome as an immunological modifier // *Methods in molecular biology*. 2020 P. 595-638. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31502171> (дата обращения: 04.12.2019).
- Kylökäs A., Kaukinen K., Huhtala H., Collin P., Mäki M., Kurppa K. Type 1 and type 2 diabetes in celiac disease: prevalence and effect on clinical and histological presentation // *BMC Gastroenterology*. 2016. Vol. 16. No. 1. P. 76.
- Miranda J., Lasa A., Bustamante M.A., Churrua I., Simon E. Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten // *Plant Foods Hum Nutr*. 2014. Vol. 69. No. 2. P. 182-187.
- Mostowy J., Montén C., Gudjonsdottir A.H., Arnell H., Browaldh L., Nilsson S., Agardh D., Torinsson Å. Naluai Shared genetic factors involved in celiac disease, type 2 diabetes and anorexia nervosa suggest common molecular pathways for chronic diseases // *PLoS One*. 2016. Vol. 11. No. 8. e0159593. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27483138> (дата обращения: 04.12.2019).
- Novella S. Risks of a gluten-free diet. 2017. URL: <https://sciencebasedmedicine.org/risks-of-a-gluten-free-diet/> (дата обращения: 04.12.2019).
- Oluwajuyitan T.D., Ijarotimi O.S. Nutritional, antioxidant, glycaemic index and Antihyperglycaemic properties of improved traditional plantain-based (*Musa AAB*) dough meal enriched with tigernut (*Cyperus esculentus*) and defatted soybean (*Glycine max*) flour for diabetic patients // *Heliyon*. 2019. Vol. 5. No. 4. e01504.
- Oujamaa I., Sebbani M., Elmoumou L., Bourrahouate A., El Qadiry R., El Moussaoui S., Ait Sab I., Sbihi M., Ennazk L., El Mghari-Tabib G., El Ansari N., Baizri H., Amine M., Admou B. The prevalence of celiac disease-specific auto-antibodies in type 1 diabetes in a moroccan population // *International journal of endocrinology*. 2019 Sep 19. 7895207. eCollection 2019. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31641352> (дата обращения: 04.12.2019).
- Safi M.A. Celiac disease in type 1 diabetes mellitus in the Kingdom of Saudi Arabia. Characterization and meta-analysis // *Saudi medical journal*. 2019. Vol. 40. No. 7. P. 647-656.
- Sánchez J.C., Cabrera-Rode E., Sorell L., Galvan J.A., Hernandez A., Molina G., Perich P.A., Licea M.E., Domínguez E., Díaz-Horta O. Celiac disease associated antibodies in persons with latent autoimmune diabetes of adult and type 2 diabetes // *Autoimmunity*. 2007. Vol. 40. No. 2. P. 103-107.
- Shepherd S.J., Gibson P.R. Nutritional inadequacies of the gluten-free diet in both recently-diagnosed and long-term patients with coeliac disease // *J Hum Nutr Diet*. 2013. Vol. 26. No. 4. P. 349-358.
- Shewry P.R., Hey S.J. Do we need to worry about eating wheat? // *Nutrition bulletin*. 2016. Vol. 41. No. 1. P. 6-13.
- Yap Y.A., Mariño E. An insight into the intestinal web of mucosal immunity, microbiota, and diet in inflammation // *Frontiers in immunology*. 2018. No. 9. P. 2617.
- Zong G., Lebwohl B., Hu F.B., Sampson L., Dougherty L.W., Willett W.C., Chan A.T., Sun Q. Gluten intake and risk of type 2 diabetes in three large prospective cohort studies of US men and women // *Diabetologia*. 2018. Vol. 61. No. 10. P. 2164-2173.

# Development of Technology and Evaluation of the Efficiency of a New Product – a Functional Gluten-Free Cup

**Irina M. Zharkova**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: zharir@mail.ru*

**Yulia A. Safonova**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: kulakova7@yandex.ru*

**Vasiliy G. Gustinovich**

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: vasili.gustinovich@gmail.com*

**Tatyana L. Ileva**

*Clinical Sanatorium named after M. Gorky  
Central District, Voronezh, 394023, Russian Federation  
E-mail: tasha\_ileva@mail.ru*

For patients suffering from celiac disease or other forms of gluten intolerance, the main condition for the preparation of the diet is the rejection of products containing processed products of wheat, rye, barley, i.e. strict adherence to a gluten-free diet. However, there is a limited chemical composition of gluten-free products, which may adversely affect the health and well-being of patients who observe this diet for a long time. Therefore, the researchers are faced with the task of creating new gluten-free products enriched with the necessary substances: plant fiber, vitamins, calcium, magnesium, iron, etc. For this purpose, unconventional raw materials are used in the development of the formulation of this category of flour products. The paper presents the results of a study on the development of a technology for the production of gluten-free cake using amaranth flour, flour from chufa tubers, carrot and apple powders, as well as a mixture of stevioside and isomalt. When designing the recipe for the new product, specialized software was used, which, based on the compiled mathematical model, made it possible to determine the optimal recipe composition of the simulated product with the necessary ratio of ingredients, according to the given restrictions. Six gluten-free cake formulations were prepared. Evaluation of the totality of organoleptic and physico-chemical indicators made it possible to choose the best recipe generated by the program. Gluten-free cake protein contains all the essential amino acids. Moreover, experimental data have been obtained confirming a high degree of balance of the amino acid composition of gluten-free cake proteins. The resulting product can be attributed to the group of functional food products by the content of phosphorus, magnesium, selenium, and for individual consumer groups - also by the content of iron, calcium, potassium. In terms of safety, the developed cake complies with the requirements of TS TS 021. The possibility of including it in the diet of patients with symptoms of gluten intolerance was confirmed with the participation of volunteers. A functional and hardware-technological scheme for the production of gluten-free cake is developed.

**Keywords:** gluten-free flour products, celiac disease, specialized software product, amaranth, chufa, carrot powder, apple powder

## Funding

The study was produced with the financial support provided by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for applied research under the federal target program "Research and Development in Priority Areas of Development of the Russian Scientific and Technological Complex for 2014-2020", grant agreement No. 14.577.21.0256, September 26, 2017, unique identifier ASRED RFMEFI57717X0256.

## References

- Al-Bazi Mezher K., Prudnikov V.G., Shapovalov S.O., Ionov, I.A., Rudenko Ye.V., Rusko N.P. Otsenka biologicheskoy polnotsennosti belkov moloka [Evaluation of milk proteins biological usefulness]. *Naukovo-tekhnichniy byulleten IT NAAN [Scientific and technical bulletin of the Institute of animal breeding of the National Academy of agricultural sciences of Ukraine]*, 2013, no. 109(2), pp. 57-64
- Bavykina I.A., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A., Gusev K.Yu., Zharkova I.M. Effektivnost produktov iz amaranta v bezglyutenovom pitanii detey s neperenosimostyu glyutena [The effectiveness of amaranth products in gluten-free nutrition of children with gluten intolerance]. *Voprosy pitaniya [Nutrition issues]*, 2017, vol. 86, no. 2, pp. 91-99.
- Parfenov A.I., Bykova S.V., Sabelnikova E.A., Maev I.V., Baranov A.A., Bakulin I.G., Krums L.M., Belmer S.V., Borovik T.E., Zakharova I.N., Dmitrieva Yu.A., Roslavtseva E.A., Kornienko E.A., Khavkin A.I., Potapov A.S., Revnova M.O., Mukhina Yu.G., Shcherbakov P.L., Fedorov E.D., Belousova E.A., Khalif I.L., Khomeriki S.G., Rotin D.L., Vorobyeva N.G., Pivnik A.V., Gudkova R.B., Chernin V.V., Vokhmyanina N.V., Pukhlikova T.V., Degterev D.A., Damulin I.V., Mkrtumyan A.M., Dzhulai G.S., Tetrushvili N.K., Baranovsky A.Yu., Nazarenko L.I., Kharitonov A.G., Loranskaya I.D., Saifutdinov R.G., Livzan M.A., Abramov D.A., Osipenko M.F., Oreshko L.V., Tkachenko E.I., Sitkin S.I., Efremov L.I. Vserossiyskiy konsensus po diagnostike i lecheniyu tseliakii u detey i vzroslykh [All-Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults]. *Terapevticheskiy arkhiv [Therapeutic archive]*, 2017, vol. 89, no. 3, pp. 94-107.
- Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Gustinovich V.G. Issledovaniye v usloviyakh in vivo effektivnosti bezglyutenovogo muchnogo izdeliya v zavisimosti ot sostava [In vivo study of the effectiveness of gluten-free flour products depending on the composition]. *Voprosy detskoj diyetologii [Pediatric Nutrition]*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 55-62.
- Safonova Yu.A., Zharkova I.M., Barinov A.S. Modelirovaniye retseptur funktsional'nykh pishchevykh produktov [Modeling of functional food product formulations]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]*, 2019, no. 49-12, pp. 14-17.
- Andrén Aronsson C., Lee H.S., Hård Af Segerstad E.M., Uusitalo U., Yang J., Koletzko S., Liu E., Kurppa K., Bingley P.J., Toppari J., Ziegler A.G., She J.X., Hagopian W.A., Rewers M., Akolkar B., Krischer J.P., Virtanen S.M., Norris J.M., Agardh D. Association of Gluten Intake During the First 5 Years of Life With Incidence of Celiac Disease Autoimmunity and Celiac Disease Among Children at Increased Risk. *JAMA*, 2019, vol. 322, no. 6, pp. 514-523. doi: 10.1001/jama.2019.10329
- Choung R.S., Lamba A., Marietta E.V., See J.A., Larson J.J., King K.S., Van Dyke C.T., Tapia A.R., Murray J.A. Effect of a Gluten-free Diet on Quality of Life in Patients With Nonclassical Versus Classical Presentations of Celiac Disease. *J Clin Gastroenterol*, 2019. doi: 10.1097/MCG.0000000000001277
- Costa S., Currò G., Pellegrino S., Lucanto M.C., Tuccari G., Ieni A., Visalli G., Magazzù G., Santoro D. Case report on pathogenetic link between gluten and IgA nephropathy. *BMC Gastroenterology*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 64. doi: 10.1186/s12876-018-0792-0
- Goodwin G. Type 1 Diabetes Mellitus and Celiac Disease: Distinct Autoimmune Disorders That Share Common Pathogenic Mechanisms. *Horm Res Paediatr*, 2019 Oct 8, pp. 1-8. doi: 10.1159/000503142
- Haupt-Jorgensen M., Buschard K., Hansen A.K., Josefsen K., Antvorskov J.C. Gluten-free Diet Increases Beta-cell Volume and Improves Glucose Tolerance in an Animal Model of Type 2 Diabetes. *Diabetes Metab Res Rev*, 2016, vol. 32, no. 7, pp. 675-684. doi: 10.1002/dmrr.2802
- Haupt-Jorgensen M., Holm L.J., Josefsen K., Buschard K. Possible Prevention of Diabetes with a Gluten-Free Diet. *Nutrients*, 2018, vol. 10, no. 11, E1746. doi: 10.3390/nu10111746
- Hogg-Kollars S., Al Dulaimi D., Tait K., Rostami K. Type 1 Diabetes Mellitus and Gluten Induced Disorders. *Gastroenterol Hepatol Bed Bench*, 2014, vol. 7, no. 4, pp. 189-97. pmcid: PMC4185872
- Kaur N., Bhadada S.K., Minz R.W., Dayal D., Kochhar R. Interplay between Type 1 Diabetes Mellitus and Celiac Disease: Implications in Treatment. *Dig Dis*, 2018, vol. 36, no. 6, pp. 399-408. doi: 10.1159/000488670

- Kizilgul M., Ozcelik O., Beysel S., Akinci H., Kan S., Ucan B., Apaydin M., Cakal E. Screening for Celiac Disease in Poorly Controlled Type 2 Diabetes Mellitus: Worth it or not? *BMC Endocr Disord*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 62. doi: 10.1186/s12902-017-0212-4
- Kumar M., Singh P., Murugesan S., Vetizou M., McCulloch J., Badger J.H., Trinchieri G., Al Khodor S. Microbiome as an Immunological Modifier. *Methods Mol Biol*, 2020, pp. 595-638. doi: 10.1007/978-1-4939-9773-2\_27
- Kylökäs A., Kaukinen K., Huhtala H., Collin P., Mäki M., Kurppa K. Type 1 and Type 2 Diabetes in Celiac Disease: Prevalence and Effect on Clinical and Histological Presentation. *BMC Gastroenterol*, 2016, vol. 16, no. 1, p. 76. doi: 10.1186/s12876-016-0488-2
- Miranda J., Lasa A., Bustamante M.A., Churrua I., Simon E. Nutritional Differences Between a Gluten-free Diet and a Diet Containing Equivalent Products with Gluten. *Plant Foods Hum Nutr*, 2014, vol. 69, no. 2, pp. 182-187. doi 10.1007/s11130-014-0410-4
- Mostowy J., Montén C., Gudjonsdottir A.H., Arnell H., Browaldh L., Nilsson S., Agardh D., Torinsson Naluai Å. Shared Genetic Factors Involved in Celiac Disease, Type 2 Diabetes and Anorexia Nervosa Suggest Common Molecular Pathways for Chronic Diseases. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 8, e0159593. doi: 10.1371/journal.pone.0159593
- Novella S., Lasa A., Bustamante M.A., Churrua I., Simon E. Risks of a Gluten-Free Diet, 2017. URL: <https://sciencebasedmedicine.org/risks-of-a-gluten-free-diet/> (accessed 04.12.2019).
- Oluwajuyitan T.D., Ijarotimi O.S. Nutritional, Antioxidant, Glycaemic Index and Antihyperglycaemic Properties of Improved Traditional Plantain-based (Musa AAB) Dough Meal Enriched With Tigernut (*Cyperus esculentus*) and Defatted Soybean (*Glycine max*) Flour for Diabetic Patients. *Heliyon*, 2019, vol. 5, no. 4, e01504. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01504
- Oujamaa I., Sebbani M., Elmoumou L., Bourrahouate A., El Qadiry R., El Moussaoui S., Ait Sab I., Sbihi M., Ennazk L., El Mghari-Tabib G., El Ansari N., Baizri H., Amine M., Admou B. The Prevalence of Celiac Disease-Specific Auto-Antibodies in Type 1 Diabetes in a Moroccan Population. *Int J Endocrinol*, 2019 Sep 19, 7895207. doi: 10.1155/2019/7895207
- Safi M.A. Celiac Disease in Type 1 Diabetes Mellitus in the Kingdom of Saudi Arabia. Characterization and Meta-analysis. *Saudi Med J*, 2019, vol. 40, no. 7, pp. 647-656. doi: 10.15537/smj.2019.7.24293
- Sánchez J.C., Cabrera-Rode E., Sorell L., Galvan J.A., Hernandez A., Molina G., Perich P.A., Licea M.E., Domínguez E., Díaz-Horta O. Celiac Disease Associated Antibodies in Persons With Latent Autoimmune Diabetes of Adult and Type 2 Diabetes. *Autoimmunity*, 2007, vol. 40, no. 2, pp. 103-107. doi: 10.1080/08916930601118825
- Shepherd S.J., Gibson P.R. Nutritional Inadequacies of the Gluten-free Diet in Both Recently-diagnosed and Long-term Patients With Coeliac Disease. *J Hum Nutr Diet*, 2013, vol. 26, no. 4, pp. 349-358. doi: 10.1111/jhn.12018
- Shewry P.R., Hey S.J. Do We Need to Worry About Eating Wheat? *Nutr Bull*, 2016, vol. 41, no. 1, pp. 6-13. doi: 10.1111/nbu.12186
- Yap Y.A., Mariño E. An Insight Into the Intestinal Web of Mucosal Immunity, Microbiota, and Diet in Inflammation. *Front Immunol*, 2018, no. 9, pp. 2617. doi: 10.3389/fimmu.2018.02617
- Zong G., Lebwohl B., Hu F.B., Sampson L., Dougherty L.W., Willett W.C., Chan A.T., Sun Q. Gluten Intake and Risk of Type 2 Diabetes in Three Large Prospective Cohort Studies of US Men and Women. *Diabetologia*, 2018, vol. 61, no. 10, pp. 2164-2173. doi: 10.1007/s00125-018-4697-9