

Определение рациональных технологических параметров работы барабанного смесителя непрерывного действия при получении безглютеновой мучной смеси

Резниченко Ирина Юрьевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: irina.reznichenko@gmail.com

Бородулин Дмитрий Михайлович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: borodulin_dmitri@list.ru

Шафрай Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: shafraia@mail.ru

Пикулина Наталья Сергеевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: n-pikulina@mail.ru

Потапова Марина Николаевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: potap-1962@list.ru

Шафрай Ольга Петровна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: ilina18.92@mail.ru

Недостаточно широкий ассортимент отечественных мучных кондитерских изделий специализированного питания, представленный на потребительском рынке региона Кузбасс, в том числе безглютеновых продуктов, и рост спроса на данную продукцию определяет необходимость удовлетворения требований покупателей путем расширения ассортимента и внедрения инновационных технологий производства. Актуальность разработки безглютеновых (БГ) продуктов не вызывает сомнений, так как количество людей с непереносимостью глютена возрастает ежегодно и удовлетворение потребительского спроса является важной задачей. Также среди основных задач находится не только разработка рецептур смесей, но и подбор технологических режимов и параметров их получения для практической реализации результатов в промышленном производстве. В статье приведены результаты исследований по получению однородной безглютеновой мучной смеси на барабанном смесителе непрерывного действия. Мучная смесь предназначена для производства мучных кондитерских изделий, не содержащих в своем составе глютен. Для экспериментального исследования процесса смешивания безглютеновой смеси был выбран барабанный смеситель непрерывного действия с гладкой внутренней поверхностью барабана, без дополнительных перемешивающих устройств, и определены рациональные параметрами работы смесителя.

Значения показателей, описывающих неоднородность смеси получены с применением кондуктометрического метода химического анализа. Полученные результаты показали, что лучшее качество получаемой безглютеновой мучной смеси достигается при частоте вращения барабана 10 мин^{-1} и его коэффициенте заполнения 30%. Обработка результатов исследований проводилась с помощью методов множественной регрессии. Полученная регрессионная модель с достаточной точностью может применяться для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси, поскольку среднее значение ее относительной погрешности не превышало 10% (Hurt, 1995).

Ключевые слова: безглютеновая мучная смесь, барабанный смеситель, коэффициент неоднородности, множественная регрессия, качество смешивания

Введение

Глютен (клейковина) – группа растительных белков фракции глютелинов и проламинов, содержащихся в таких злаковых культурах как рожь, овес, ячмень, тритикале. Глютеновая энтеропатия (целиакия) – аутоиммунное генетическое заболевание, характеризующееся нарушением пищеварительного тракта, вызванного повреждением, а в последствии атрофией ворсинок слизистой оболочки тонкого кишечника. В зависимости от формы заболевания, возникает аллергическая реакция, при попадании в организм продуктов питания содержащих глютен. Целиакия – заболевание мультифакторное, отличается сложностью диагностики, клиническим полиморфизмом, в тоже время частота встречаемости составляет 1–3% в Европе от численности населения. При этом установлено заболевание у 59% взрослого контингента, до 40% – в детской возрастной категории (Koning, 2008, p. 82–88; Bai, 2013, p. 121–126; Lionetti, Catassi, 2011, p. 219–231; Ludvigsson, Leffler, Bai, 2013, p. 43–52; Вохмянина, Вавилова, 2016, с. 132–136).

Лечение по профилактике и устранению целиакии связано с соблюдением пожизненной элиминации глютеносодержащих продуктов. При этом отмечено, что приверженность к диете остается довольно низкой, т.к. связана с изменением не только рациона, но и образа жизни. Большинство детей и взрослых испытывают трудности при формировании рациона, безглютеновые продукты питания, как правило, малодоступны (Юлдашева, Камилова, 2011, с.76–78; Лазебник, Ткаченко, Орешко, Ситкин, Карпов, Немцов, Осипенко, Радченко, Федоров, Медведева, Селиверстов, Соловьева, Шабанова, Журавлева, 2015, с. 3–12; Ткаченко, Орешко, Ситкин, Соловьева, Шабанова, Журавлева, 2015, с. 42–49; Ревнова, Романовская, 2017, с. 142–145; Парфенов, Быкова, Сабельникова, Маев, Баранов, Бакулин, Крумс, Бельмер, Боровик, Захарова, Дмитриева, Рославцева, Корниенко, Хавкин, Потапов, Ревнова, Мухина, Щербаков, Федоров, Белоусова, Хомерики, Ротин, Воробьева, Пивник, Гудкова, Чернин, Вохмянина, Пухликова, Дегтерёв, Дамулин, Мкртумян, Джулай, Тетруашвили,

Барановский, Назаренко, Харитонов, Лоранская, Сайфутдинов, Ливзан, Абрамов, Осипенко, Орешко, Ткаченко, Ситкин, Ефремов, Воробьева, 2017, с. 94–107). Учеными доказано, что соблюдение аглютеновой диеты приводит к выздоровлению с полным восстановлением структуры слизистой оболочки тонкой кишки у больных целиакией.

В 2017 году более 5% населения мира имели генетическую предрасположенность к данному заболеванию (Резниченко, Егорова, 2017, с. 164–171; Reznichenko, Chistyakov, Ustinova, Ruban, 2019). Соблюдение безглютеновой диеты за рубежом достаточно популярно, диеты придерживаются лица, не имеющим клинически подтвержденного диагноза, с целью профилактики целиакии и сопровождающих это заболевание симптомов. В связи с этим линейка безглютеновых продуктов, выпускаемых в странах Европы и Америки, разнообразна и включает готовый хлеб, пиццу, разнообразные мучные кондитерские (кексы, бисквиты, печенье и другие) и кулинарные (блинчики, оладьи) изделия, сухие смеси для их получения в домашних условиях, макаронные изделия и некоторые другие продукты. Надлежит отметить, что в последнее время в России развивается рынок продуктов питания функциональной и специализированной направленности, это касается и безглютеновых продуктов. Среди востребованных и популярных отмечены кондитерские изделия мучные, в том числе готовые мучные смеси для приготовления изделий в домашних условиях. Исследователями предложены мучные смеси для приготовления кексов, оладий на основе муки амарантовой, кунжутной, квиноа, проведена оценка качества и безопасности разработанных продуктов, на многие продукты разработана техническая документация (Бородулин, Резниченко, Пикулина, Комаров, 2018, с. 107–109; Резниченко, Рензязева, Табаторович, 2017, с. 149–162; Резниченко, Зоркина, Егорова, 2016, с. 4–7; Резниченко, Иванец, Алешина, 2013, с. 138–142; Резниченко, Чистяков, Рензязев Т.В., Рензязев А.О., 2019, с. 40–43; Егорова, Козубаева, 2018, с. 40–42; Егорова, Резниченко, 2018, с. 30–38; Егорова, Резниченко, 2018, с. 36–45; Домбровская, Сурмина, Закалюжный, 2017, с. 130–133; Щеколдина, Кудинов,

Вершинина, Христенко, 2018, с. 100–106; Пикулина, Резниченко, Бородулин, 2019, с. 187–188).

Зарубежными учеными предлагается использование других видов муки, не содержащей глютен, таких как мука из соевой окары в производстве хлеба (Lian, Luo, Gong, Zhang, Serventi, 2019, p. 805–812), мука чиа и каштановая мука в производстве мучных изделий (Moreira, Chenlo, 2012, p. 375–383), мука из сорго гибридов Fontanelle-625, Fontanelle-1000, ATx631xRTx2907 и 5040C в производстве тортильи (Winger, Houryieh, Aramouni, Herald, 2014, p. 95–106), мука из маниоки и банана в производстве макаронных изделий (Rachman, Brennan M.A., Morton, Brennan C.S., 2019), незрелая мука подорожника (UPF) для приготовления печенья (García-Solís, Bello-Pérez, Agama-Acevedo, Flores-Silva, 2017), порошок листьев брокколи в приготовлении бисквита (Krupa-Kozak, Drabińska, Rosell, Fadda, Anders, Jeliński, Ostaszyk, 2018, p. 1121–1129), смесь для приготовления хлеба в домашних условиях на основе муки киноа, теффа, лебеды (Rybicka, Doba, Binczak, 2019, p. 2661–2667). Всеми исследователями отмечено, что в настоящее время целиакия становится все более распространенной, растет спрос потребителей на продукты без глютена с высокими пищевыми и вкусовыми качествами.

В тоже время сдерживающим фактором выработки безглютеновых смесей является отсутствие технологической составляющей – параметров и режимов приготовления в промышленных условиях. Особенностью технологии производства многокомпонентной мучной смеси с заданным качеством является подбор смесительного оборудования и его параметров работы¹.

Исходя из этого целью настоящей работы являлось исследование барабанного смесителя при получении безглютеновой мучной смеси заданного качества, определение рациональных технологических параметров его работы на основе результатов анализа данных полученных экспериментально и при помощи уравнений регрессии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследование работы барабанного смесителя при получении безглютеновых смесей заданного состава.
2. Проведение регрессионного анализа для определения зависимости качества получаемой без-

глютеновой мучной смеси от технологических параметров работы барабанного смесителя.

3. Сравнение численных значений качества безглютеновой мучной смеси, полученной экспериментально и при помощи уравнений регрессии.

Материалы и методы исследования

Объект

Объектом исследования являлась конструкция барабанного смесителя при получении многокомпонентной безглютеновой (БГ) мучной смеси.

Предметом исследования являлось установление закономерностей протекания процесса смешивания, выявление рациональных технологических параметров работы барабанного смесителя при получении БГ мучной смеси.

Методы и процедура исследования

Качество смешивания определяли по концентрации ключевого компонента (компонент наименьший по массе) в 30 пробах мучной смеси при помощи метода прямой кондуктометрии, который позволяет определять концентрацию электролита путем измерения электропроводности (Ivanets, Borodulin, Shushpannikov, Sukhorukov, 2015, p. 62–69).

Исследование экспериментальных данных было проведено с помощью программы Statistica 8, для чего использовались такие модули, как «Нелинейное оценивание», «Промышленная статистика» и «Общие регрессионные модели». Наилучшие статистические характеристики показала математическая модель, рассчитанная в модуле «Общие регрессионные модели», поэтому в дальнейшем исследовании принимала участие именно она.

Результаты и их обсуждение

Оценка качества основного сырья

Рецептуру смеси разрабатывали с учетом специализированной направленности продукта, современных научных данных о рекомендуемых нормах содержания глютена в данных видах специализированной продукции, рекомендаций

¹ Рынок безглютеновой продукции // Пищевая индустрия. 2017. № 1(31). с. 8–10.

по применению безглютеновых видов сырья, вкусовой совместимости рецептурных ингредиентов, пищевой ценности, показателей качества и безопасности, а также ценовой доступности.

В качестве основного сырья выбрана рисовая мука. Кроме отсутствия растительного белка глютена, используемая мука имеет ряд других положительных свойств, как для людей, имеющих аллергическую реакцию на глютен, так и для здоровой категории населения.

Химический состав рисовой муки включает витамины группы В (В₁, В₂), РР, белок, крахмал, пищевые волокна, минеральные вещества: калий, фосфор, кальций, железо.

Продукт хорошо усваивается организмом, широко используется в производстве детского питания. За счет нейтрального вкуса широко применяется в пищевой промышленности.

В Таблице 1 представлены физико-химические показатели качества рисовой муки согласно регламентированных требований (Резниченко, Бородулин, Пикулина, 2018, с. 120–123). Влажность и крупность помола влияют на подбор технологических параметров.

Представленные данные в Таблице 1 показывают, что рисовая мука соответствует требованиям и может использоваться в дальнейших исследованиях.

В Таблице 2 приведены данные по органолептическим показателям рисовой муки, включенной в мучную БГ смесь.

Органолептические показатели качества рисовой муки, представленные в Таблице 2, полностью соответствуют нормам ГОСТ 31645–2012 «Мука для продуктов детского питания. Технические условия»².

Таблица 1
Физико-химические показатели рисовой муки

Наименование показателя	Характеристика	
	По ГОСТ	Фактически
Массовая доля влаги, %, не более	12,0	9,8+ 0,3
Кислотность, градусы, не более	2,0	0,7+ 0,1
Кислотное число жира, мг К.Н. на 1 г жира	80,0	68,0+ 1,0
Зараженность и загрязненность вредителями	Не допускается	Не обнаружено
Металломагнитная примесь, мг на 1 кг муки	3,0	Отсутствует
Крупность помола, %	2,0	0,8
Остаток на сите №45, не более	–	90,0
Проход через сито №43, не менее	50,0	–

Таблица 2
Оценка органолептических показателей рисовой муки

Наименование показателя	По ГОСТ	Фактически
Внешний вид	Однородный сыпучий продукт с мелкими частицами оболочек	Однородный, сыпучий продукт
Цвет	Белый, белый с кремовым или желтоватым оттенком	Белый
Запах	Свойственный рисовой муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый	Свойственный рисовой муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый
Вкус	Свойственный рисовой муке, не кислый, не горький, без посторонних привкусов	Свойственный рисовой муке, не кислый, не горький, без посторонних привкусов

² ГОСТ 31645–2012. Мука для продуктов детского питания. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что рисовая мука подходит для разработки мучной БГ смеси. Она имеет нейтральный вкус и запах, белый цвет и широко применяется в детском питании, благодаря своим органолептическим и физико-химическим свойствам.

Приготовление мучной смеси

Для приготовления безглютеновой мучной смеси необходимо использовать процесс смешивания сыпучих материалов. В промышленности, для проведения данного процесса, применяются различные виды смесителей: центробежные, вибрационные, барабанные (Бородулин, Шушпанников, Войтикова, 2012, с. 98–103).

Барабанные смесители (БС) характеризуются простой конструкцией, небольшим относительным расходом энергии, малым механическим воздействием на перемешиваемый материал.

Нами был выбран барабанный смеситель непрерывного действия (Патент РФ № 2508937)³, с гладкой внутренней поверхностью барабана, без дополнительных внутренних перемешивающих устройств. БС обладает низкой энергозатратностью, эффективностью смешивания, сохранением структуры смешиваемых компонентов при их соотношении в диапазоне от 1:10 до 1:40.

На Рисунке 1 представлен смесительный агрегат в состав, которого входил смесителя непрерывного действия (СНД) барабанного типа 3, рабочая камера которого приводилась в движение от электродвигателя 5. Компоненты мучной БГ смеси подаются в аппарат из порционных 2 и шнековых 1 дозаторов. Готовая смесь выгружается из барабана смесителя на ленточный транспортер 4, и далее движется на следующую технологическую стадию. Частота вращения всех аппаратов входящих в смесительный агрегат регулировалась при помощи пульта управления СА 6.

Исследования проводились на данном СА с установленным в инжиниринговом центре «FOOD ENGINEERING» кафедры «Технологическое проектирование пищевых производств» Кемеровского государственного университета.

При смешивании компонентов БГ мучной смеси варьировали следующие технологические параметры работы аппарата: частоту вращения бараба-

на (n ,) и коэффициент заполнения барабана (K ,%). Поскольку из внутренней части смесительного аппарата были удалены рециркулирующие устройства,

то для перемещения мучной смеси от загрузочного отверстия к разгрузочному, барабан был размещен под углом $\phi = 5^\circ$ к горизонту. Такие условия позволяют одновременно перемещаться и смешиваться компонентам БГ мучной смеси по внутренней поверхности барабана под действием сил гравитации, направляясь к выходному отверстию смесителя.

Качество смешивания определяли по концентрации ключевого компонента (пищевая соль) в 30 пробах мучной смеси при помощи кондуктометрического метода. Полученные числовые значения применяли для определения коэффициента неоднородности (V_c ,%) (Кошель, Костыря, 2017, с. 103–109).

Рисунок 1. Смесительный агрегат: 1 - шнековые дозаторы; 2 - порционные дозаторы; 3 - барабанный смеситель; 4 - ленточный транспортер; 5 - электродвигатель; 6 – пульт управления СА.

Коэффициент неоднородности смеси V_c рассчитывался исходя из однородности консистенции, которую определяли по величине вариации различных составляющих в ее составе. В общей сложности, для оценки гомогенности конгломерата применяется более двадцати оценок. Чаще всего, при изучении процесса смешения, отталкиваются от случайного характера распределения ингредиентов по объему конгломерата, а в качестве критерия оценки ее качества, используются параметры, описывающие распределение случайной величины. Этими параметрами являются дисперсия, среднеквадратическое отклонение, корреляционный момент, коэффициент вариации и другие. В настоящее время нет единого подхода к подбору определяющего параметра, описывающего качество конгломерата.

Наиболее рациональным считается использование математического ожидания (M), выборочной исправленной дисперсии (S^2) и выборочного исправленного среднеквадратического отклонения (S) концентрации основного компонента в пробах конгломерата, рассчитываемых по формулам:

$$M = \bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{(i=1)}^n c_i, \quad (1)$$

³ Барабанный смеситель: пат. 2508937 Рос. Федерация № 2012128003/05 / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Комаров С.С. ; заявл. 03.07.12 ; опубл. 10.03.14, Бюл. № 7. 5 с.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2, \quad (2)$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (3)$$

где n – число проб, отобранных из смеси; c_i – массовая концентрация ключевого компонента в i -ой пробе; \bar{c} – средняя концентрация ключевого компонента в пробах.

Безразмерным параметром оценки однородности смеси, рассчитанным по этим величинам, является коэффициент вариации (неоднородности):

$$V_c = \frac{S}{\bar{c}} \cdot 100\% = \frac{1}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Значения коэффициента неоднородности, в зависимости от технологических параметров работы барабанного смесителя, представлены в Таблице 3.

Из Таблицы 3 видно, что лучшее качество получаемой БГ мучной смеси достигается при частоте вращения барабана 10 мин^{-1} и его коэффициенте заполнения 30%. Это объясняется тем, что при данных технологических параметрах работы смесителя, компоненты смеси находятся дольше по времени в рабочей зоне аппарата, равномерно смешиваясь друг с другом. Коэффициент K , равный 30% способствует слоистому перемещению слоёв смеси друг относительно друга в поперечном сечении барабана. При увеличении частоты вращения барабана до 25 мин^{-1} и выше наблюдалось увеличение интенсивности смешивания компонентов смеси, однако значительно сокращалось время пребывания частиц в рабочей зоне аппарата, не зависимо от его коэффициента заполнения. Помимо этого, увеличение частоты вращения приводило к заметному увеличению эффекта проскальзывания рабочей поверхности барабана относительно компонентов БГ мучной смеси. Все это способствовало некоторому ухудшению получаемой смеси, о чем свидетельствуют полученные значения коэффициентов неоднородности.

Статистический анализ

Для решения второй поставленной задачи – проведения регрессионного анализа необходимо было установить степень зависимости, независимых исследуемых переменных, влияющих на качество многокомпонентной мучной БГ смеси, а так же получить регрессионную модель, которая

будет способна предсказывать коэффициент неоднородности в зависимости от технологических параметров работы БС.

За зависимый параметр приняли качество получаемой многокомпонентной БГ смеси, оцениваемое коэффициентом неоднородности V_c . Частота вращения ротора n и коэффициент заполнения барабана K , были приняты за независимые переменные.

В ходе статистического анализа данных, с помощью инструмента «Полиномиальная регрессия», выведена регрессионная модель, оценки которой приведены в Таблице 4.

Таблица 4
Оценки регрессионной модели

R	R ²	F	p
0,83925	0,70434	2,38229	0,21055

Коэффициент корреляции (R) имеет значение 0,83925, что указывает на сильную связь качества получаемой БГ мучной смеси с независимыми технологическими параметрами работы смесителя. Коэффициент детерминации (R^2), соответствующий величине 0,70434, иллюстрирует долю дисперсии коэффициента неоднородности V_c , объясняемую рассматриваемой моделью, и равной 70,434%. P -уровень находится на уровне 0,21055, он показывает вероятность того, что математическая модель является случайным совпадением для данной выборки.

Коэффициенты регрессионной модели приведены в Таблице 5.

Таблица 5
Коэффициенты модели

	Значение	t-критерий	p-уровень	β
Свободный член	16,333	2,47867	0,06830	–
n	0,333	0,95225	0,39489	1,51696
n^2	-0,007	-1,01160	0,36894	-1,61151
K	-1,008	-1,60809	0,18309	-3,06037
K^2	0,019	1,24602	0,28075	2,37131

Полученные значения критериев Стьюдента (t -критерий) и p -уровня имеют среднюю статистическую значимость этих коэффициентов. Аналогично оценены коэффициенты β , которые показывают степень чувствительности одной переменной (качество смешивания, определяемое

коэффициентом неоднородности V_c) к другим переменным (частота вращения барабана и коэффициент его заполнения). Анализ β коэффициентов показал, что наибольшее влияние на качество смешивания БГ мучных смесей оказывает коэффициент заполнения барабана. Влияние частоты вращения ротора барабана оказывает меньшее, но тоже значимое влияние, на коэффициент неоднородности, поэтому ее влиянием нельзя пренебрегать.

Полученная в ходе исследования модель имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot n + b_2 \cdot K + b_{11} \cdot n^2 + b_{22} \cdot K^2. \quad (5)$$

Для прогнозирования качества смешивания БГ мучной смеси, получаемой на барабанном смесителе, необходимо подставить коэффициенты из таблицы 5 в формулу (5), в итоге получилась следующая математическая модель:

$$V_c = 16,333 + 0,333 \cdot n - 1,008 \cdot K - 0,007 \cdot n^2 + 0,019 \cdot K^2. \quad (6)$$

Далее по найденному уравнению получили поверхность отклика, показывающую зависимость коэффициента неоднородности V_c от частоты вращения барабана и коэффициента его заполнения (Рисунок 2).

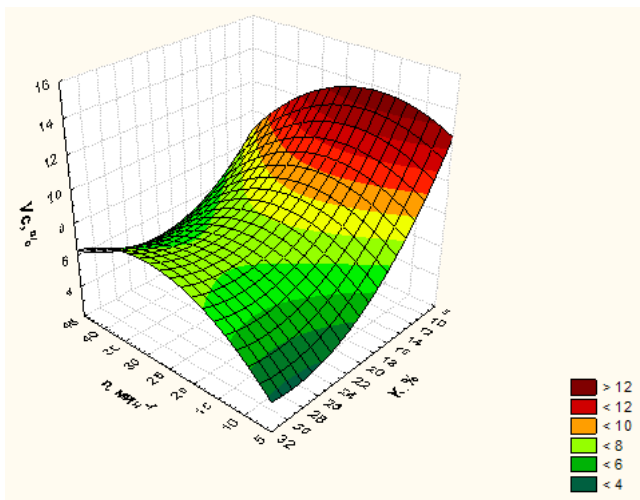


Рисунок 2. Зависимость коэффициента неоднородности V_c от частоты вращения барабана n и коэффициента его заполнения K .

Из Рисунка 2 видно, что построенная графическая зависимость подтверждает полученные экспериментальным путем рациональные технологические параметры работы барабанного смесителя. Например, при частоте вращения барабана

10 мин⁻¹ и коэффициенте заполнения в интервале 24–30%, можно получить БГ мучную смесь с заданным качеством, при этом V_c будет равен 4–6% (о чем свидетельствует темно-зеленая окраска полученной поверхности).

Далее была подсчитана относительная погрешность модели (6), для чего использовались экспериментальные и моделируемые значения:

$$\Delta V_c = \frac{V_c^{Эксп} - V_c^M}{V_c^{Эксп}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

В Таблице 6 приведены результаты сравнения экспериментальных и моделируемых значений. Из нее видно, что значения относительной погрешности достаточно малы, следовательно, полученную регрессионную модель с достаточной точностью можно применять для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси.

Таблица 6
Сравнение экспериментальных и модельных значений

Экспериментальные	Моделируемые	Погрешность, %
10,283	10,819	5,212
7,717	7,235	6,245
5,476	6,241	13,97
14,720	13,155	10,631
6,398	7,273	13,676
6,365	5,946	6,582
8,323	8,621	3,58
6,365	6,078	4,509
7,387	7,478	1,231
Средняя погрешность		7,292

Заключение

Исследования параметров работы барабанного смесителя при получении безглютеновых смесей позволили установить его рациональные технологические параметры работы: частота вращения барабана 10 мин⁻¹; коэффициент заполнения 30%. Доказано, что при данных технологических параметрах работы смесителя, компоненты смеси находятся дольше по времени в рабочей зоне аппарата равномерно смешиваясь друг с другом. Коэффициент K , равный 30% способствует слоистому перемещению слоёв смеси друг относительно друга в поперечном сечении барабана.

Проведенный регрессионный анализ показал зависимость качества получаемой безглютеновой мучной смеси от технологических параметров работы барабанного смесителя, при этом подтверждая рациональные значения коэффициента заполнения барабана в интервале 24–30%. Полученную регрессионную модель с достаточной точностью (в исследуемом интервале технологических параметров) можно применять для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси.

Литература

- Бородулин Д.М., Резниченко И.Ю., Пикулина Н.С., Комаров С.С. Получение безглютеновой мучной смеси на барабанном смесителе непрерывного действия // *Современные тенденции развития науки: сборник тезисов национальной конференции*. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2018. с. 107–109.
- Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Войтикова Л.А. Исследование функционирования центробежного смесителя непрерывного действия методом множественного регрессионного анализа // *Техника и технология пищевых производств*. 2012. № 1(24). с. 98–103.
- Вохмянина Н.В., Вавилова Т.В. Принципы лабораторной диагностики целиакии. Критерии и алгоритмы обследования // *Уральский медицинский журнал*. 2016. № 3(136). с. 132–136.
- Домбровская Я.П., Сурмина А.В., Закалюжный Д.А. Обогащение сухих смесей для производства безглютеновых кексов // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2017. Т. 79, № 1(71). с. 130–133. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-130-133>
- Егорова Е.Ю., Козубаева Л.А. Разработка рецептур сухих смесей с амарантовой и кунжутной мукой для изготовления безглютеновых оладий // *Хлебопродукты*. 2018. № 2. с. 40–42.
- Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Обоснование применения амарантовой муки для разработки пищевых концентратов - полуфабрикатов безглютеновых кексов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2018. № 2(49). с. 30–38.
- Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Разработка пищевого концентрата – полуфабриката безглютеновых кексов с амарантовой мукой // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48, № 2. с. 36–45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
- Кошель М.В., Костыря М.В. Кондуктометрический метод количественного анализа двухкомпонентных растворов электролитов // *Электронная обработка материалов*. 2017. Т. 53, № 2. с. 103–109. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1053457>
- Лазебник Л.Б., Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Ситкин С.И., Карпов А.А., Немцов В.И., Осипенко М.Ф., Радченко В.Г., Федоров Е.Д., Медведева О.И., Селиверстов П.В., Соловьева Е.А., Шабанова А.А., Журавлева М.С. Рекомендации по диагностике и лечению целиакии взрослых // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2015. № 5(117). с. 3–12.
- Парфенов А.И., Быкова С.В., Сабельникова Е.А., Маев И.В., Баранов А.А., Бакулин И.Г., Крумс Л.М., Бельмер С.В., Боровик Т.Э., Захарова И.Н., Дмитриева Ю.А., Рославцева Е.А., Корниенко Е.А., Хавкин А.И., Потапов А.С., Ревнова М.О., Мухина Ю.Г., Щербаков П.Л., Федоров Е.Д., Белоусова Е.А., Халиф И.Л., Хомерики С.Г., Ротин Д.Л. Воробьева Н.Г., Пивник А.В., Гудкова Р.Б., Чернин В.В., Вохмянина Н.В., Пухликова Т.В., Дегтерёв Д.А., Дамулин И.В., Мкртумян А.М., Джулай Г.О.СТ, Тетруашвили Н.К., Барановский А.Ю., Назаренко Л.И., Харитонов А.Г., Лоранская И.Д., Сайфутдинов Р.Г., Ливзан М.А., Абрамов Д.А., Осипенко М.Ф., Орешко Л.В., Ткаченко Е.И., Ситкин С.И., Ефремов Л.И., Воробьева Н.Н. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых // *Терапевтический архив*. 2017. Т. 89, № 3. с. 94–107. <https://doi.org/10.17116/terarkh201789394-107>
- Пикулина Н.С., Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М. Роль безглютеновой диеты в профилактике целиакии // *Кузбасс: образование, наука, инновации: материалы Инновационного конвента / Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области*. Кемерово: Сибирский государственный индустриальный университет, 2019. с. 187–188.
- Ревнова М.О., Романовская И.Э. Безглютеновая диета как единственный метод лечения целиакии // *Пищевая непереносимость у детей. Современные аспекты диагностики, лечения, профилактики и диетотерапии: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции / под ред. В.П. Новиковой, Т.В. Косенковой*. СПб.: О.О.«ИнформМед», 2017. с. 142–145.
- Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М., Пикулина Н.С. Современные подходы для создания инновационных технологий безглютеновых продуктов питания // *Актуальные вопросы создания функциональных продуктов птицеводства и других отраслей пищевой промышленности: сборник трудов научной конференции / под ред. И.В. Мокшанцевой*. Ржавки: В.И.ПП, 2018. с. 120–123.
- Резниченко И.Ю., Егорова Е.Ю. Обоснование применения амарантовой и кунжутной муки для

- разработки мучных изделий специализированного назначения // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 20. с. 164–171. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-164-171>
- Резниченко И.Ю., Зоркина Н.Н., Егорова Е.Ю. Совершенствование ассортимента кондитерских изделий специализированного назначения // Ползуновский вестник. 2016. № 2. с. 4–7.
- Резниченко И.Ю., Иванец Г.Е., Алешина Ю.А. Обоснование рецептуры и товароведная оценка вафель специализированного назначения // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 1(28). с. 138–142.
- Резниченко И.Ю., Рензьева Т.В., Табаторович А.Н., Сурков И.В., Чистяков А.М. Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 2(45). с. 149–162.
- Резниченко И.Ю., Чистяков А.М., Рензьева Т.В., Рензьев А.О. Разработка рецептур мучных кондитерских изделий функционального назначения // Хлебопродукты. 2019. № 6. с. 40–43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-6-40-43>
- Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Ситкин С.И., Соловьева Е.А., Шабанова А.А., Журавлева М.С. Функциональное питание - важнейший компонент лечения метаболических расстройств при целиакии // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2015. № 12(124). с. 42–49.
- Щеколдина Т.В., Кудинов П.И., Вершинина О.Л., Христенко А.Г. Разработка системы Х.С.П при производстве сухих смесей на основе киноа для создания безглютеновых продуктов питания // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5–6(365–366). с. 100–106.
- Юлдашева Д.Х., Камилова А.Т. Опыт применения глютенгидролизующих штаммов индигенной флоры в комплексном лечении целиакии у детей // Вопросы детской диетологии. 2011. Т. 9, № 1. с. 76–78.
- Bai J.C., Fried M., Corazza G.R., Schuppan D., Farthing M., Catassi C., Greco L., Cohel H., Ciacci C., Eliakim R., Fasano A., González A., Krabshuis J.H., LeMair A. World Gastroenterology Organization Global Guidelines on Celiac Disease // Journal of Clinical Gastroenterology. 2013. Vol. 47, issue 2. P. 121–126. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31827a6f83>
- García-Solís S.E., Bello-Pérez L.A., Agama-Acevedo E., Flores-Silva P.C. Plantain Flour: A Potential Nutraceutical Ingredient to Increase Fiber and Reduce Starch Digestibility of Gluten-Free Cookies // Starch Starke. 2017. Vol. 70, issue 1–2. <https://doi.org/10.1002/star.201700107>
- Hunt R.C. How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements. Santa Ana, CA: Sensor Development, 1995. 17 p.
- Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of Bulk Material Mixing in New Designs of Drum, Vibratory and Centrifugal Mixers // Foods and Raw Materials. 2015. Vol. 3, issue 1. P. 62–69. <https://doi.org/10.12737/11239>
- Koning F. Celiac Disease: Across the Threshold of Tolerance // Frontiers in Celiac Disease. Pediatric and Adolescent Medicine. 2008. Vol. 12. P. 82–88. <https://doi.org/10.1159/000128662>
- Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Fadda C., Anders A., Jeliński T., Ostaszyk A. Broccoli Leaf Powder as an Attractive by Product Ingredient: Effect on Batter Behaviour, Technological Properties and Sensory Quality of Gluten Free Mini Sponge Cake // Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 54, issue 4. P. 1121–1129. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13972>
- Lian H., Luo K., Gong Y., Zhang S., Serventi L. Okara Flours from Chickpea and Soy are Thickeners: Increased Dough Viscosity and Moisture Content in Gluten-Free Bread // International Journal of Food Science. 2019. Vol. 55, issue 2. P. 805–812. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14332>
- Lionetti E., Catassi C. New Clues in Celiac Disease Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, and Treatment // International Reviews of Immunology. 2011. Vol. 30, issue 4. P. 219–231. <https://doi.org/10.3109/08830185.2011.602443>
- Ludvigsson J.F., Leffler D.A., Bai J.C., Biagi F., Fasano A., Green P.H.R., Hadjivassiliou M., Kaukinen K., Kelly C.P., Leonard J.N., Lundin K.E.A., Murray J.A., Sanders D.S., Walker M.M., Zingone F., Ciacci C. The Oslo Definitions for Coeliac Disease and Related Terms // Gut. 2013. Vol. 62, issue 1. P. 43–52. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301346>
- Moreira R., Chenlo F., Torres M. Effect of Shortening on the Rheology of Gluten-Free Doughs: Study of Chestnut Flour With Chia Flour, Olive and Sunflower Oils // Journal of Texture Studies. 2012. Vol. 43, issue 5. P. 375–383. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00348.x>
- Rachman A., Brennan M.A., Morton J., Brennan C.S. Effect of Cassava and Banana Flours Blend on Physico-Chemical and Glycemic Characteristics of Gluten-Free Pasta // Journal of Food Processing and Preservation. 2019. Vol. 43, issue 9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14084>
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Ustinova Y.V., Ruban N.Y. I.Q.ality Management of the Enriched

- Flour Confectionery with Application of the Qualimetric Analysis // I.P.Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315, issue 2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022006>
- Rybicka I., Doba K., Binczak O. Improving the Sensory and Nutritional Value of Gluten-Free Bread // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 54, issue 9. P. 2661–2667. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Winger M., Khouryieh H., Aramouni F., Herald T. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla // Journal of Food Quality. 2014. Vol. 37, issue 2. P. 95–106. <https://doi.org/10.1111/jfq.12080>

Determination of Rational Technological Parameters for the Operation of a Continuous Drum Mixer When Obtaining a Gluten-Free Flour Mixture

Irina Y. Reznichenko

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: irina.reznichenko@gmail.com*

Dmitry M. Borodulin

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: borodulin_dmitri@list.ru*

Anton V. Shafrai

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: shafraia@mail.ru*

Natalia S. Pikulina

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: n-pikulina@mail.ru*

Marina N. Potapova

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: potap-1962@list.ru*

Olga P. Shafrai

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: ilina18.92@mail.ru*

The insufficiently wide range of domestic flour confectionery products for specialized nutrition presented on the consumer market of the Kuzbass region, including gluten-free products, and the growth in demand for these products determines the need to meet customer requirements by expanding the range and introducing innovative production technologies. The relevance of developing gluten-free (GF) products is beyond doubt, since the number of people with gluten intolerance is increasing annually and satisfying consumer demand is an important task. Also, the main task is not only the development of the mixtures, but also to select technological modes and parameters for their preparation for practical implementation of the results in industrial production. The article presents the results of studies on obtaining a homogeneous gluten-free flour mixture on a continuous drum mixer. The flour mixture is intended for the production of flour confectionery products that do not contain gluten. For an experimental study of the gluten-free mixture mixing process, a continuous drum mixer with a smooth inner surface of the drum without additional mixing devices was selected, and rational mixer operation parameters were determined. The values of the indicators describing the heterogeneity of the mixture were obtained using the conductometric method of chemical analysis. The results obtained showed that the best quality of the obtained gluten-free flour mixture is achieved at a drum rotation frequency of 10 min^{-1} and its fill factor of 30%. Processing of the research results was carried out using multiple regression methods. The obtained regression model can be used with sufficient accuracy to predict the quality of the obtained GF flour mixture, since the average value of its relative error did not exceed 10%.

Keywords: gluten-free flour mix, drum mixer, heterogeneity coefficient, multiple regression, mixing quality.

References

- Borodulin D.M., Reznichenko I.Y., Pikulina N.S., Komarov S.S. Poluchenie bezglyutenovoi muchnoi smesi na barabannom smesitele nepreryvno-go deistviya [Getting gluten-free flour mixture on a continuous drum mixer]. In *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki: sbornik tezisov natsional'noi konferentsii* [Modern trends in the development of science: Proceedings of the of the national conference]. Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet, 2018, pp. 107–109.
- Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Voitikova L.A. Issledovanie funktsionirovaniya tsentrobezhnogo smesitelya nepreryvno-go deistviya metodom mnozhestvennogo regressionnogo analiza [Research of functioning of the centrifugal mixer of continuous action by the method of multiple regression analysis]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2012, no. 1(24), pp. 98–103.
- Vokhmyanina N.V., Vavilova T.V. Printsipy laboratornoi diagnostiki tseliakii. Kriterii i algoritmy ob sledovaniya [Specific principles of celiac disease diagnostics, clinical laboratory criteria and diagnostic algorithms]. *Ural'skii meditsinskii zhurnal* [Ural medical journal], 2016, no. 3(136), pp. 132–136.
- Dombrovskaya Ya.P., Surmina A.V., Zakalyuzhnyi D.A. Obogashchenie sukhikh smesei dlya proizvodstva bezglyutenovykh keksov [Enrichment of dry mixes for gluten-free muffins]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Voronezh state university of engineering technologies bulletin], 2017, vol. 79, no. 1(71), pp. 130–133. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-130-133>
- Egorova E.Y., Kozubaeva L.A. Razrabotka retseptur sukhikh smesei s amarantovoi i kunzhutnoi mukoi dlya izgotovleniya bezglyutenovykh oladii [Development of recipes for dry mixes with amaranth and sesame flour for the production of gluten-free pancakes]. *Khleboprodukty* [Bakery products], 2018, no. 2, pp. 40–42.
- Egorova E.Y., Reznichenko I.Y.. Obosnovanie primeniya amarantovoi muki dlya razrabotki pishchevykh kontsentratsionnykh polufabrikatov bezglyutenovykh keksov [Rationale for application of amaranth flour for development of food concentrate – semi-finished of gluten-free cupcakes]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], 2018, no. 2(49), pp. 30–38.
- Egorova E.Y., Reznichenko I.Y.. Razrabotka pishchevogo kontsentrata – polufabrikata bezglyutenovykh keksov s amarantovoi mukoi [Development of food concentrate – semi-finished product with amaranth flour for gluten-free cupcakes]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2018, vol. 48, no. 2, pp. 36–45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
- Koshel' M.V., Kostyrya M.V. Konduktometricheskii metod kolichestvennogo analiza dvukhkomponentnykh rastvorov elektrolitov [Conductometric method for quantitative analysis of two-component solutions of electrolytes]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic material processing], 2017, vol. 53, no. 2, pp. 103–109. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1053457>
- Lazebnik L.B., Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Sitkin S.I., Karpov A.A., Nemtsov V.I., Osipenko M.F., Radchenko V.G., Fedorov E.D., Medvedeva O.I., Seliverstov P.V., Solov'eva E.A., Shabanova A.A., Zhuravleva M.S. Rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu tseliakii vzroslykh [Recommendations for the diagnosis and treatment of celiac disease in adults]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and clinical gastroenterology], 2015, no. 5(117), pp. 3–12.
- Parfenov A.I., Bykova S.V., Sabel'nikova E.A., Maev I.V., Baranov A.A., Bakulin I.G., Krums L.M., Bel'mer 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. Vorob'eva 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., Baranovskii A.Y., 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., Vorob'eva N.N. Vserossiiskii konsensus po diagnostike i lecheniyu tseliakii u detei i vzroslykh [All-Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults]. *Terapevticheskii arkhiv* [Therapeutic archive], 2017, vol. 89, no. 3, pp. 94–107. <https://doi.org/10.17116/terarkh201789394-107>
- Pikulina, N.S., Reznichenko I.Y., Borodulin D.M. Rol' bezglyutenovoi diety v profilaktike tseliakii [The role of a gluten-free diet in prevention of celiac]. *Kuzbass: obrazovanie, nauka, innovatsii: materialy Innovatsionnogo konventa* [Kuzbass: education, science, innovation: Innovation convention]. Kemerovo: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2019, pp. 187–188.
- Revnova M.O., Romanovskaya I.E. Bezglyutenovaya dieta kak edinstvennyi metod lecheniya tseliakii

- [Gluten-free diet as the only treatment for celiac disease]. *Pishchevaya neperenosimost' u detei. Sovremennye aspekty diagnostiki, lecheniya, profilaktiki i dietoterapii [Food intolerance in children. Modern aspects of diagnosis, treatment, prevention and diet therapy, (2nd All-Russian scientific and practical conference), 21 April 2017]*. S.Petersburg: OOO "InformMed", 2017, pp. 142–145.
- Reznichenko I.Y., Borodulin D.M., Pikulina N.S. Sovremennye podkhody dlya sozdaniya innovatsionnykh tekhnologii bezglyutenovykh produktov pitaniya [Modern approaches to create innovative technologies for gluten-free food]. In *Aktual'nye voprosy sozdaniya funktsional'nykh produktov ptitsevodstva i drugikh otraslei pishchevoi promyshlennosti: sbornik trudov nauchnoi konferentsii [Topical issues of creating functional poultry products and other food industries: Proceedings of the scientific conference]*. Rzhavki: V.I.PP, 2018, pp. 120–123.
- Reznichenko I.Y., Egorova E.Y.. Obosnovanie primeniya amarantovoi i kunzhutnoi muki dlya razrabotki muchnykh izdelii spetsializirovannogo naznacheniya [Reasons for the use of amaranth and sesame flour for the development of flour products for specialized purposes]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya [Scientific works of the north caucasus federal scientific center for horticulture, viticulture, winemaking]*, 2018, vol. 20, pp. 164–171. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-164-171>
- Reznichenko I.Y., Zorkina N.N., Egorova E.Y.. Sovershenstvovanie assortimenta konditerskikh izdelii spetsializirovannogo naznacheniya [Improvement of the range of specialized confectionery]. *Polzunovskii vestnik [Polzunovsky bulletin]*, 2016, no. 2, pp. 4–7.
- Reznichenko I.Y., Ivanets G.E., Aleshina Yu.A. Obosnovanie retseptury i tovarovednaya otsenka vafel' spetsializirovannogo naznacheniya [The recipe explanation and merchandising valuation of special purpose waffles]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]*, 2013, no. 1(28), pp. 138–142.
- Reznichenko I.Y., Renzyaeva T.V., Tabatorovich A.N., Surkov I.V., Chistyakov A.M. Formirovanie assortimenta muchnykh konditerskikh izdelii funktsional'noi napravlenosti [Formation of a range of functional flour confectionery products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]*, 2017, no. 2(45), pp. 149–162.
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Renzyaeva T.V., Renzyaev A.O. Razrabotka retseptur muchnykh konditerskikh izdelii funktsional'nogo naznacheniya [Development of recipes for flour confectionery products for functional purposes]. *Khleboprodukty [Bakery products]*, 2019, no. 6, pp. 40–43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-6-40-43>
- Rynok bezglyutenovoi produktsii [Gluten free market]. *Pishchevaya industriya [Food industry]*, 2017, no. 1(31), pp. 8–10.
- Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Sitkin S.I., Solov'eva E.A., Shabanova A.A., Zhuravleva M.S. Funktsional'noe pitanie - vazhneishii komponent lecheniya metabolicheskikh rasstroistv pri tseliakii [Functional nutrition is an essential component of the treatment of metabolic disorders in celiac disease]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and clinical gastroenterology]*, 2015, no. 12(124), pp. 42–49.
- Shchekoldina T.V., Kudinov P.I., Vershinina O.L., Khristenko A.G. Razrabotka sistemy K.A.SP pri proizvodstve sukhikh smesei na osnove kvinoa dlya sozdaniya bezglyutenovykh produktov pitaniya [Development of a H.C.P system for the production of quinoa-based dry mixes for the creation of gluten-free food products]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [Proceedings of higher educational institutions. Food technology]*, 2018, no. 5–6(365–366), pp. 100–106.
- Yuldasheva D.K., Kamilova A.T. Opyt primeniya glyutendroliziruyushchikh shtammov indigennoi flory v kompleksnom lechenii tseliakii u detei [Experience of using gluten-hydrolyzing strains of indigenous flora in the complex treatment of celiac disease in children]. *Voprosy detskoj dietologii [Pediatric nutritional issues]*, 2011, vol. 9, no. 1, pp. 76–78.
- Bai J.C., Fried M., Corazza G.R., Schuppan D., Fartling M., Catassi C., Greco L., Cohel H., Ciacci C., Eliakim R. Fasano A., González A., Krabs-huis J.H., L.M.ir A. World Gastroenterology Organization Global Guidelines on Celiac Disease. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 2013, vol. 47, issue 2, pp. 121. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31827a6f83>
- García-Solís S.E., Bello-Pérez L.A., Agama-Acevedo E., Flores-Silva P.C. Plantain Flour: A.P.tential Nutraceutical Ingredient to Increase Fiber and Reduce Starch Digestibility of Gluten-Free Cookies. *Starch starke*, 2017, vol. 70, issue 1–2. <https://doi.org/10.1002/star.201700107>
- Hunt R.C. How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements. Santa Ana, CA: Sensor Development, 1995. 17 p.
- Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of Bulk Material Mixing in New Designs of Drum, Vibratory

- and Centrifugal Mixers. *Foods and raw materials*, 2015, vol. 3, issue 1, pp. 62–69. <https://doi.org/10.12737/11239>
- Koning F. Celiac Disease: Across the Threshold of Tolerance. *Pediatric and Adolescent Medicine*, 2008, vol. 12, pp. 82–88. <https://doi.org/10.1159/000128662>
- Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Fadda C., Anders A., Jeliński T., Ostaszyk A. Broccoli Leaf Powder as an Attractive by Product Ingredient: Effect on Batter Behaviour, Technological Properties and Sensory Quality of Gluten Free Mini Sponge Cake. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, vol. 54, issue 4, pp. 1121–1129. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13972>
- Lian H., Luo K., Gong Y., Zhang S., Serventi L. Okara Flours from Chickpea and Soy are Thickeners: Increased Dough Viscosity and Moisture Content in Gluten-Free Bread. *International Journal of Food Science*, 2019, vol. 55, issue 2, pp. 805–812. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14332>
- Lionetti E., Catassi C. New Clues in Celiac Disease Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, and Treatment. *International Reviews of Immunology*, 2011, vol. 30, issue 4, pp. 219–231. <https://doi.org/10.3109/08830185.2011.602443>
- Ludvigsson J.F., Leffler D.A., Bai J.C., Biagi F., Fasano A., Green P.H.R., Hadjivassiliou M., Kaukinen K., Kelly C.P., Leonard J.N., Lundin K.E.A., Murray J.A., Sanders D.S., Walker M.M., Zingone F., Ciacci C. The Oslo Definitions for Coeliac Disease and Related Terms. *Gut*, 2013, vol. 62, issue 1, pp. 43–52. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301346>
- Moreira R., Chenlo F., Torres M. Effect of Shortening on the Rheology of Gluten-Free Doughs: Study of Chestnut Flour With Chia Flour, Olive and Sunflower Oils. *Journal of Texture Studies*, 2012, vol. 43, issue 5, pp. 375–383. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00348.x>
- Rachman A., Brennan M.A., Morton J., Brennan C.S. Effect of Cassava and Banana Flours Blend on Physico-Chemical and Glycemic Characteristics of Gluten-Free Pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, vol. 43, issue 9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14084>
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Ustinova Y.V., Ruban N.Y. I.Q.ality Management of the Enriched Flour Confectionery with Application of the Qualimetric Analysis. *I.P.Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 315, issue 2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022006>
- Rybicka I., Doba K., Binczak O. Improving the Sensory and Nutritional Value of Gluten-Free Bread. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, vol. 54, issue 9, pp. 2661–2667. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Winger M., Khouryieh H., Aramouni F., Herald T. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla. *Journal of Food Quality*, 2014, vol. 37, issue 2, pp. 95–106. <https://doi.org/10.1111/jfq.12080>