

Применение центробежно-шнекового смесителя непрерывного действия для повышения качества мучных хлебопекарных смесей функционального назначения

Дмитрий М. Бородулин	¹	borodulin_dmitri@list.ru
Дмитрий И. Киселев	¹	eid0s-92@mail.ru
Екатерина В. Невская	²	katerinarose@mail.ru
Андрей А. Невский	²	katerinarose@mail.ru
Елена А. Вагайцева	¹	vagaitseva@mail.ru

¹ Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), б-р Строителей, 47, г. Кемерово, Россия

² Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, ул. Б. Черкизовская, 26А, г. Москва, 107553, Россия

Реферат. Изучено влияние количества витков шнека центробежно-шнекового смесителя, количества отверстий в витках шнека и частоты вращения ротора на качество смешивания мучных хлебопекарных смесей функционального назначения, обогащенных аминокислотами. Эти смеси составлены из следующего сырья: мука пшеничная хлебопекарная, мука пшеничная цельнозерновая, мука нутовая, мука ржаная, мука гречневая, отруби овсяные, клейковина сухая, молоко сухое, кунжут, семя льна, лук репчатый сушеный, соль поваренная и сахар-песок. В качестве компонента, отражающего однородность смеси, приняли поваренную соль, поскольку она имеет минимальную массу по отношению к другим компонентам рецептуры. Для оценки качества смешивания рассчитывали коэффициент неоднородности. Определены оптимальные параметры работы центробежно-шнекового смесителя для разных вариантов мучных хлебопекарных смесей. Для смеси № 1 и смеси № 2 оптимальными параметрами работы смесителя являются: частота вращения ротора 900 об/мин, количество витков шнека 4, количество отверстий на витках шнека 4. Для смеси № 3: частота вращения ротора 500 об/мин, количество витков шнека 2, количество отверстий на витках шнека 8. Использование центробежно-шнекового смесителя позволяет получать обогащенную аминокислотами мучную хлебопекарную смесь хорошего качества, при этом значение коэффициента неоднородности смеси не превышает 5%. Содержание аминокислот во всех образцах хлеба существенно выше по сравнению с контролем. В зависимости от рецептуры хлеба содержание аминокислот по сравнению с контролем увеличилось на 83–97% для аргинина, на 52–61% для тирозина, на 52–66% для фенилаланина, на 72–74% для гистидина, на 91% для суммы лейцина и изолейцина, на 53–56% для метионина, на 90–97% для валина, на 64–72% для пролина, на 87–93% для треонина, на 58–87% для серина и на 74% для аланина. Наибольшей биологической ценностью обладают мучные хлебопекарные смеси № 2 и № 1. Определен экономический эффект от продажи обогащенной мучной хлебопекарной смеси, приготовленной на центробежно-шнековом смесителе. Установлено, что себестоимость сырья для приготовления 1 килограмма обогащенной мучной хлебопекарной смеси, составляет 50,39 руб. Срок окупаемости центробежно-шнекового смесителя составит 0,02 года.

Ключевые слова: центробежно-шнековый смеситель, качество смешивания, неоднородность, параметры, биологическая ценность, мучная хлебопекарная смесь

The use of a continuous-action centrifugal-screw mixer for improving the quality of flour baking mixes for functional purposes

Dmitrii M. Borodulin	¹	borodulin_dmitri@list.ru
Dmitrii I. Kiselev	¹	eid0s-92@mail.ru
Ekaterina V. Nevskaya	²	katerinarose@mail.ru
Andrey A. Nevskiy	²	katerinarose@mail.ru
Elena A. Vagaytseva	¹	vagaitseva@mail.ru

¹ Kemerovo Institute of Food Science and Technology, Stroiteley Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russia

² Scientific Research Institute of the Bakery Industry, B. Cherkizovskaya str., 26A, Moscow, 107553, Russia

Для цитирования

Бородулин Д.М., Киселев Д.И., Невская Е.В., Невский А.А., Вагайцева Е.А. Применение центробежно-шнекового смесителя непрерывного действия для повышения качества мучных хлебопекарных смесей функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 181–192. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-181-192

For citation

Borodulin D.M., Kiselev D.I., Nevskaya E.V., Nevsky A.A., Vagaytseva E.A. The use of a continuous-action centrifugal-screw mixer for improving the quality of flour baking mixes for functional purposes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 181–192. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-181-192

Summary. The influence of the number of screw turns of a centrifugal-screw mixer, the number of holes in the screw turns and the rotor speed on the quality of mixing of flour baking mixes of functional purpose enriched with amino acids was studied. Flour baking mix is composed of wheat flour, whole wheat flour, chickpeas flour, rye flour, buckwheat flour, oat bran, gluten, dry milk powder, sesame seeds, flax seed, dried onions, table salt and sugar. The homogeneity of the mixture reflects table salt because it has a minimal weight relative to other components of the mix. The coefficient of heterogeneity was calculated to assess the quality of mixing. The centrifugal-screw mixer optimal operation parameters were investigated for different flour baking mixes. For the mix № 1 and mix № 2 optimal parameters are rotor rotating speed of 900 rpm, the number of turns of the screw 4 and the number of holes on the threads of the screw 4. For the mix № 3 optimal parameters are rotor speed of 500 rpm, the number of turns of the screw 2 and the number of holes on the threads of the screw 8. The centrifugal-screw mixer allow to obtain enriched with amino acids flour baking mix of good quality. The coefficient of heterogeneity of mixes does not exceed 5%. For all samples of bread amino acid content is significantly higher compared to the control sample. Depending on the bread recipe contents of amino acids increased by 83–97% for arginine, 52–61% for tyrosine, 52–66% for phenylalanine, 72–74% for histidine, 91% for leucine+ isoleucine, 53–56% for methionine, 90–97% for valine, 64–72% for proline, 87–93% for threonine, 58–87% for serine and 74% for alanine. The greatest biological value is attributed to flour the baking mix № 1 and № 2. The economic effect of selling an enriched flour bakery mixture prepared on a centrifugal-screw mixer has been determined. It is established that the operating costs for the production of 1 kg of such flour will amount to 0.39 rubles. The prime cost of raw materials for the preparation of 1 kilogram of enriched flour bakery mixture is 50.39 rubles. The payback period of the centrifugal-screw mixer will be 0.02 year.

Keywords: centrifugal-screw mixer, the mixing quality, heterogeneity, parameters, biological value, flour baking mix

Введение

Концепция государственной политики в области здорового питания населения РФ предусматривает создание пищевой продукции с повышенной пищевой и биологической ценностью, обогащенной различными макро- и микронутриентами, в том числе полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 и омега-6, витаминами, аминокислотами, другими биологически активными веществами. Хлеб относится к продуктам массового потребления, поэтому повышение его качества, пищевой и биологической ценности является особо актуальной задачей. Работы в этом направлении активно ведутся у нас в стране, в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Так, учеными Алжира [1] изучены качественные характеристики пшеничного хлеба при частичной замене в его рецептуре пшеничной муки на картофельный крахмал. В их экспериментах мучная смесь состояла на 20% из пшеничной муки и на 80% – из картофельного крахмала. Оценка хлебопекарных свойств таких мучных смесей на альфеографе показала, что они ухудшаются с увеличением содержания крахмала, поэтому в рецептуру была внесена пшеничная клейковина в количестве 32,77% от массы смеси. В Беларуси изучают хлебопекарные качества композитных смесей из пшеничной и пшеничной муки. В ходе экспериментов пшеничную муку, полученную путем размалывания соответствующей крупы на лабораторной мельнице, добавляли к пшеничной муке высшего сорта в количества 5–25% от ее массы [2]. Установлено, что технологические качества композитной муки по сравнению с чисто пшеничной изменились незначительно. При сопоставлении кислотности, пористости и влажности опытных образцов хлеба установлено,

что предпочтительно использовать безопасный способ и вносить пшеничную муку в количестве 15%. Разработана рецептура хлеба из композитной муки (с содержанием муки из пшеницы 15% от массы пшеничной муки), включающая в себя также растительное масло, дрожжи, соль, сахар. Кислотность полученных опытных образцов составляла в среднем 2,75 °Т, пористость – 72,8%. По сравнению с хлебом из обычной муки опытные изделия содержали больше белков, жиров, селена, цинка. Сделан вывод, что мука из пшеницы может включаться в рецептуру пшеничного хлеба и тем самым повышать его пищевую ценность. Авторским коллективом [3] изучены хлебопекарные качества композитных смесей из пшеничной муки высшего сорта с добавлением фасоловой или гороховой муки в количестве 5–25% к массе пшеничной муки. Установлено, что состояние клейковинного комплекса композитных смесей с добавлением фасоловой или гороховой муки резко ухудшилось. Наиболее приемлемые технологические показатели качества композитных смесей получены при внесении фасоловой или гороховой муки до 10–15% к массе пшеничной муки. Проведены пробные выпечки. Рецептура включала муку, воду, дрожжи и соль, тесто готовили безопасным способом. Органолептические показатели качества готовых изделий были удовлетворительными. Рекомендованные дозировки: фасоловая мука – 15% и гороховая мука – 10% к массе пшеничной муки. Обзор литературы по использованию гидроколлоидов для получения композитных смесей, предназначенных для изготовления пшеничного хлеба, дан в статье [4, 5]. Автором установлено, что гидроколлоиды (камеди морских водорослей, модифицированная целлюлоза, пектины, галактоманнаны из семян бобовых

и экзополисахариды, полученные путем микробной ферментации) улучшают характеристики теста, качество конечного продукта и его хранимоспособность, а также способствуют повышению качества замороженного теста. Качество хлеба из смеси пшеничной и других видов муки или богатых пищевыми волокнами ингредиентов может быть улучшено путем добавления гидроколлоидов. В Африке изучена композитная мучная смесь на основе проса, фасоли, тигрового ореха (*Cyperus esculentus*) и ксантановой камеди [6]. Установлено, что смесь из 85% пшеничной муки с добавлением фасолевой муки и муки из тигрового ореха может служить рентабельной альтернативой 100%-ной пшеничной муке в хлебопекарном производстве. В Испании [7] изучена возможность замены в мучной смеси для приготовления теста пшеничной муки до 45% на смесь муки из гречки, зеленого гороха и тефф (полевика, абиссинская трава, *Eragrostis tef*). Эксперименты по замене до 50% пшеничной муки на муку из голозерного ячменя проведены в Италии [8], установлена обратно-пропорциональная зависимость между количеством ячменной муки в смеси и объемом теста. Выпечка хлебопекарных изделий в кухне ресторана из комплексных хлебопекарных смесей на основе продукции фирмы «Ирекс» обсуждается в работе [9]. Компонентами смесей «Ирекс» являются солодовые продукты, зерна злаков, семена масличных культур, пшеничный зародыш, отруби, овсяные хлопья, овощные добавки. В Кубанском государственном аграрном университете (Краснодар) изучены хлебопекарные свойства смесей пшеничной муки с овсяной (10, 20 или 30%). Установлено [10], что с увеличением дозировки овсяной муки количество клейковины в смеси уменьшалось, а упругие свойства сырой клейковины изменялись в сторону укрепления. Выявлена оптимальная дозировка овсяной муки 30% с точки зрения функциональности готового продукта. Хлебобулочные изделия с овсяной мукой характеризовались приятным вкусом и запахом и высокими показателями удельного объема и пористости. Употребление 150 г данных изделий покрывает суточную потребность в пищевых волокнах на 21–24%, фосфора на 21–23%, железа на 21–22%, витамине В₁ на 16–19%, витамине РР на 19%. Индекс незаменимых аминокислот увеличивается до 1,08–1,09 против 0,91 – для хлеба из пшеничной муки высшего сорта, что обусловлено более высоким содержанием незаменимых аминокислот в продуктах переработки овса. Изучались

реологические характеристики углеводно-амилазного комплекса хлебопекарных смесей, состоящих из ржаной, пшеничной и амарантовой муки. Результаты изучения кинетики и динамики реологического поведения клейстеризованных мучных суспензий на приборе Амилотест АТ-97 показали целесообразность использования амарантовой муки для частичной замены ржаной муки в составе ржано-пшеничных хлебопекарных смесей [11]. Оценка смесительной способности сортов в целях повышения хлебопекарных качеств смесей при производстве ржаного и ржано-пшеничного хлеба на основе седиментационных оценок дана в работе [12]. Установлено, что смесительную способность на сортовом и популяционном уровнях можно тестировать по показателю SDS-седиментации. Изменения этого показателя следуют за изменениями количественного соотношения в смесях продуктов размола зерна озимой ржи и яровой мягкой пшеницы. Высокой смесительной силой обладают сорта Саратовская 5, Саратовская 7, Антарес, Безенчукская 87 и Радонь. Изучена [13] возможность использования хлебопекарной смеси «Фитнес микс овсянка» (хлопья овсяные, мука овсяная, крупа овсяная, мука пшеничная набухшая, отруби пшеничные, солод пшеничный, сухая ржаная заварка, клейковина пшеничная, аскорбиновая кислота, ферменты) для повышения качества и пищевой ценности хлеба из пшеничной муки высшего сорта. Изучено влияние дозировок хлебопекарной смеси 5–25% на процессы брожения, влажность и кислотность теста. Оптимальной при частичной замене муки на хлебопекарную смесь признана дозировка 15%. Благодаря компонентам хлебопекарной смеси существенно изменился аминокислотный состав белков опытных образцов хлеба: увеличилось количество незаменимых аминокислот на 3,26%, лизина на 1,18%, лейцина на 0,52%, валина на 0,51%, аргинина на 1,40%, гистидина на 0,41%.

Методология моделированию продуктов питания с целью повышения их пищевой и биологической ценности, а также возможности современного программного обеспечения в решении этой задачи описаны в работах [14, 15]. В НИИ хлебопекарной промышленности проводится работа по созданию мучных хлебопекарных смесей. Готовые смеси разрабатываются на базе отечественного натурального сырья, позволяющего повысить пищевую и биологическую ценность хлеба и хлебобулочных изделий. Интересным является предложенный [16, 17] в НИИ хлебопекарной промышленности подход

к оптимизации состава хлебопекарных смесей по критерию гликемического индекса. При оптимизации по этому критерию, выработка хлеба из многокомпонентных хлебопекарных смесей позволит получить изделие для профилактического питания. Так, образец хлеба, приготовленного из разработанной смеси, имел гликемический индекс ниже на 10–18% по сравнению с хлебом из пшеничной муки 1-го сорта.

Перспективы добавления муки крупяных и зернобобовых культур в хлебопекарные смеси с целью повышения биологической и пищевой ценности хлеба и хлебобулочных изделий рассмотрены в работе [18]. Приведен анализ изменения реологических свойств смесей на альвеографе при добавлении муки крупяных и зернобобовых культур к пшеничной. Рассмотрены возможности корректировки реологии смеси, в т. ч. сухой пшеничной клейковиной. Полученные результаты позволяют прогнозировать реологические свойства мучных смесей, что дает возможность изготавливать продукты диетического и лечебно-профилактического назначения без ухудшения свойств готовых изделий.

Нами предложено повышать пищевую и биологическую ценность хлеба за счет включения в рецептуру мучных хлебопекарных смесей помимо традиционного сырья (пшеничная и ржаная мука), обогащающих компонентов, таких как мука пшеничная цельнозерновая, мука нуттовая и гречневая, овсяные отруби, клейковина, молоко, кунжут, семя льна, лук репчатый. Эти компоненты богаты микро- и макронутриентами, биологически активными веществами [19]. Цельнозерновая мука богата пищевыми волокнами и витаминами группы В. Овсяные отруби являются источником пищевых волокон, витаминов А, Е, группы В, микро- и макроэлементов. Нуттовая мука – источник кальция, цинка, калия, магния, фосфора и железа, в ней содержится большое количество пищевых волокон, сложных углеводов, белка, а также витамин В₆. Семена кунжута содержат полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, омега-6, витамины, макро- и микроэлементы, антиоксиданты.

Большое значение для получения качественного осуществления процесса смешивания имеет равномерное распределение всех входящих в рецептуру ингредиентов. При этом важно учитывать ряд факторов [19]: различие гранулометрических составов, плотности и других физико-механических характеристик компонентов смеси. Для решения этих задач используют высокоэффективное смесительное оборудование, например, смесители непрерывного действия центробежного типа [20]. Так, в лаборатории

кафедры «Технологическое проектирование пищевых производств» Кемеровского технологического института пищевой промышленности (университет) был разработан центробежно-шнековый смеситель для сыпучих материалов.

Целью работы является установление рациональных конструкторских и технологических параметров работы смесителя непрерывного действия центробежно-шнекового типа, позволяющих получать мучные хлебопекарные смеси функционального назначения повышенного качества.

Материалы и методы

Объект исследования – мучные хлебопекарные смеси, включающие в себя следующее сырье: мука пшеничная хлебопекарная первого сорта по ГОСТ Р 52189-2003, мука пшеничная цельнозерновая(обойная) по ГОСТ Р 52189-2003, мука нуттовая по ТУ 9293-009-89751414-10, мука ржаная хлебопекарная обойная по ГОСТ Р 52809-2007, мука гречневая по ГОСТ Р 31645-2012, отруби овсяные по ТУ 9295-001-85850409-2012, клейковина сухая (пшеничный глютен) по ГОСТ 31934-2012, молоко сухое по ГОСТ Р 52791-2007, кунжут по ГОСТ 12095-76, семя льна по ГОСТ 10582-76, лук репчатый сушеный по ГОСТ 7587-71, соль поваренная пищевая сорта «Экстра» по ГОСТ Р 51574-2000 и сахар-песок по ГОСТ 12572-93.

Рецептуры мучных хлебопекарных смесей разработаны в Федеральном государственном автономном научном учреждении «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»(ФГАНУ НИИХП).

Содержание поваренной соли в изделиях и мучных хлебопекарных смесях определяли по ГОСТ 5698-51, содержание аминокислот – методом капиллярного электрофореза согласно ГОСТ Р 55569-2013.

Исследования по оптимизации процесса смешивания проведены в лаборатории кафедры «Технологического проектирования пищевых производств» ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)» на разработанном [19, 21] учеными КемТИПП смесителе непрерывного действия центробежно-шнекового типа. Центробежно-шнековый смеситель предназначен для смешивания сыпучих материалов, например, сухих композитных смесей для питания спортсменов, мучных хлебопекарных смесей для приготовления хлебобулочных изделий и т. п.

Для получения мучных хлебопекарных смесей сконструирована технологическая линия, схематически изображенная на рисунке 1.

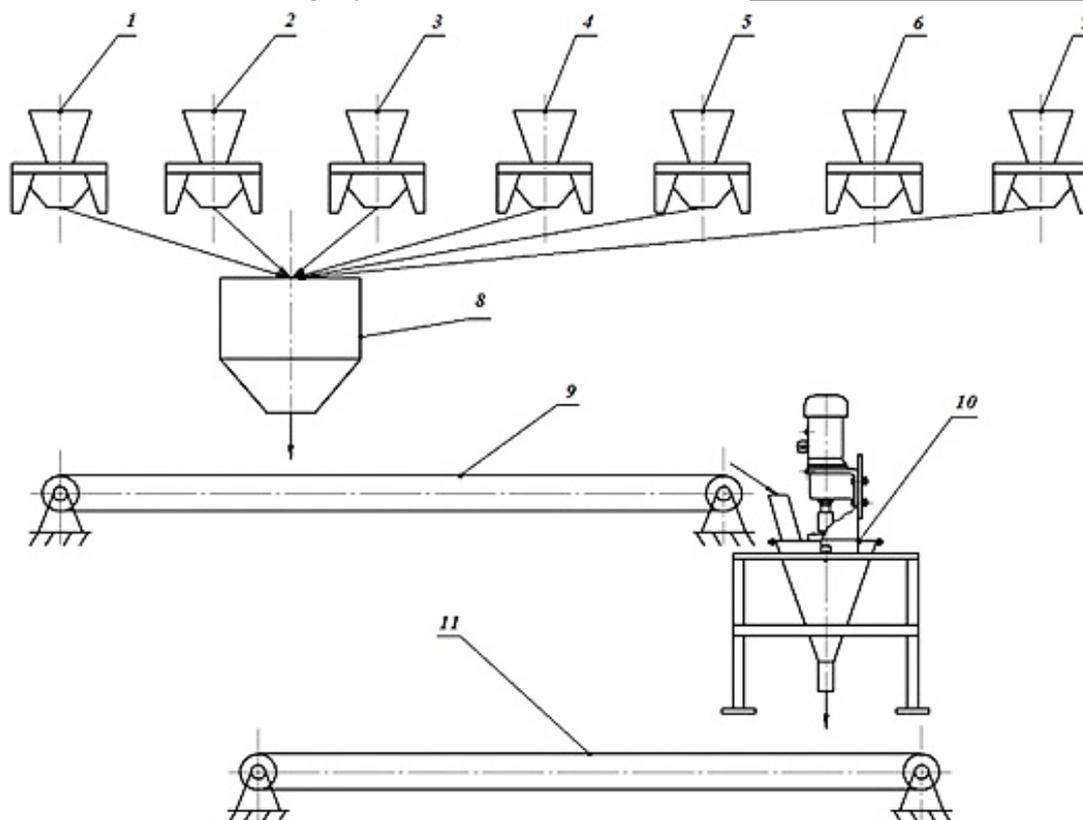


Рисунок 1. Технологическая линия приготовления мучных смесей: 1–7 – дозаторы, 8 – объемный дозатор, 9 и 11 – ленточные конвейеры, 10 – центробежно-шнековый смеситель.

Figure 1. Technological line for preparation of flour mixtures: 1–7 – dosers, 8 – volumetric doser, 9 and 11 – belt conveyors, 10 – centrifugal-screw mixer.

Прогнозирование качества смешивания компонентов при получении сыпучих комбинированных продуктов может осуществляться по различным критериям. Например, в работе [22], где рассматривается составление мучных смесей с использованием муки крупяных культур (ячменная, гороховая, гречневая, соевая), автор утверждает, что самым простым и доступным способом оценки однородности мучных композитных смесей можно считать расчет коэффициента неоднородности по показателю белизны. Авторами [23] предложен стохастический подход к оценке качества смешивания сыпучих материалов в центробежных смесителях. Ими рассмотрена возможность использования этого подхода к моделированию процесса смешивания сыпучих материалов в центробежных смесителях непрерывного действия на основе кинетических уравнений массопереноса, причем в качестве меры неоднородности состава смеси выбран коэффициент неоднородности [19–27] V_c :

$$V_c = \frac{S}{C} \cdot 100\% \quad (1)$$

где S – выборочное среднее квадратическое отклонение содержания поваренной соли

в пробах, взятых из мучной смеси; \bar{C} – выборочное среднее значение концентрации поваренной соли в пробах.

Для оценки качества смешивания каждую мучную смесь (таблица 1) представляли как бинарную, в которой в качестве ключевого компонента, отражающего однородность смеси приняли поваренную соль, поскольку она имеет минимальную массу по отношению к другим компонентам рецептуры, далее по формуле (1) определяли ее однородность.

Результаты и обсуждение

Процессы смешения широко используются во многих отраслях промышленности для приготовления сыпучих композиций из дисперсных материалов, которые можно осуществлять в непрерывном или периодическом режимах, например, на центробежно-шнековом смесителе, на котором были приготовлены хлебопекарные смеси по рецептуре, приведенной в таблице 1. Для сравнительного анализа была приготовлена контрольная смесь пшеничной муки и соли.

Таблица 1.

Рецептуры мучных хлебопекарных смесей

Table 1.

Formulations of flour bakery mixes

Компоненты рецептуры, граммы Components of the formulation, grams	Контроль Control	Смесь № 1 Mixture № 1	Смесь № 2 Mixture № 2	Смесь № 3 Mixture № 3
Мука пшеничная 1 сорт Wheat flour 1st grade	200,0	730,6	436,5	143,0
Овсяные отруби Oat bran	–	91,3	–	–
Мука нутовая Chickpeas flour	–	64,0	–	–
Соль поваренная Table salt	5,0	13,7	13,7	5,0
Сахар–песок Granulated sugar	–	36,5	36,5	–
Клейковина сухая Gluten dry	–	27,4	26,2	8,3
Кунжут Sesame	–	36,5	–	–
Мука пшеничная цельнозерновая Flour of whole wheat	–	–	436,5	–
Молоко сухое Milk powder	–	–	26,2	–
Семя льна Flax seed	–	–	43,6	–
Мука ржаная обойная Rye flour Wallpaper	–	–	–	83,0
Гречневая мука Buckwheat flour	–	–	–	41,4
Лук сушеный Dried onion	–	–	–	19,3

Для выявления степени влияния режимных и технологических параметров работы центробежно-шнекового смесителя на качество получаемых смесей был поставлен полнофакторный эксперимент. Его матрица планирования приведена в таблице 2.

Таблица 2.

План эксперимента

Table 2.

Experiment plan

Номер опыта Experience number	Независимые переменные Independent variable		
	n	Z_0	$Z_в$
1	500	4	2
2	500	4	4
3	500	8	2
4	500	8	4
5	900	4	2
6	900	4	4
7	900	8	2
8	900	8	4

Смешивание компонентов по рецептуре проводили на центробежно-шнековом смесителе, варьируя конструкторские и технологические параметры его работы:

1. частоту вращения ротора n устанавливали 500 или 900 об/мин,
2. количество отверстий в витках шнека смесителя Z_0 составляло 4 или 8,
3. количество витков шнека смесителя $Z_в$ составляло 2 или 4.

Усредненные результаты коэффициента неоднородности (поскольку каждое исследование проводилось троекратно), для мучных хлебопекарных смесей приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Коэффициент неоднородности

Table 3.

Coefficient of inhomogeneity

Номер опыта по плану Experience number by plan	Коэффициент неоднородности V_c , % для смесей: The coefficient of heterogeneity of V_c , % for mixtures		
	Смесь № 1 Mix № 1	Смесь № 2 Mix № 2	Смесь № 3 Mix № 3
1	5,92	4,32	5,17
2	8,56	5,11	4,82
3	9,37	3,51	3,91
4	11,2	5,29	3,93
5	5,6	3,99	4,14
6	3,79	3,50	4,32
7	12,06	4,31	3,96
8	11,95	5,07	4,07

По минимальному коэффициенту неоднородности (таблица 3) установлены оптимальные параметры работы центробежно-шнекового смесителя непрерывного действия.

Для смеси № 1 и смеси № 2 оптимальными параметрами работы смесителя являются:

1. частота вращения ротора $n = 900$ об/мин,
2. количество витков шнека $Z_в = 4$,
3. количество отверстий на витках шнека $Z_0 = 4$.

Для смеси № 3 оптимальными параметрами работы смесителя являются:

1. частота вращения ротора $n = 500$ об/мин,
2. количество витков шнека $Z_в = 2$,
3. количество отверстий на витках шнека $Z_0 = 8$.

При этих параметрах будет достигнута максимальная однородность и, соответственно, наилучшее качество мучных хлебопекарных смесей.

Воспользовавшись пакетом программы «Statistika», провели статический анализ полученных значений коэффициентов неоднородности

Для смеси № 1:

$$V_C = -0,00068 \cdot n - 0,3 \cdot Z_0 + 3,65 \cdot Z_V + 0,0023 \cdot n \cdot Z_0 - 0,0047 \cdot n \cdot Z_V - 0,0034 \cdot Z_0 \cdot Z_V$$

Для смеси № 2:

$$V_C = 0,0056 \cdot n + 0,298 \cdot Z_0 + 0,844 \cdot Z_V - 0,0006 \cdot n \cdot Z_0 - 0,0002 \cdot n \cdot Z_V + 0,074 \cdot Z_0 \cdot Z_V$$

Для смеси № 3:

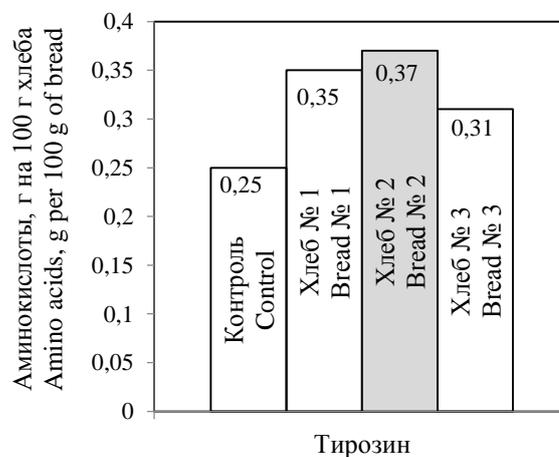
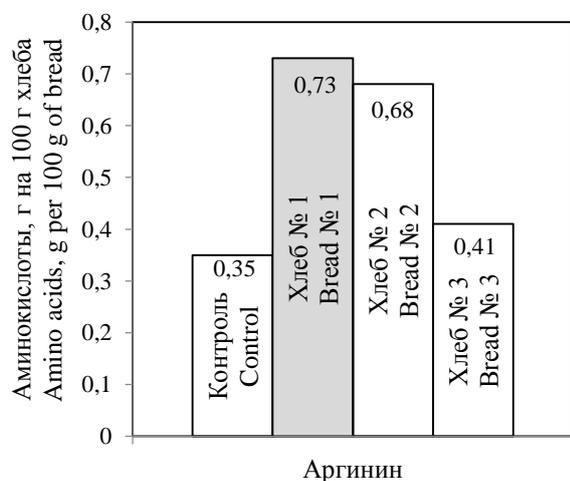
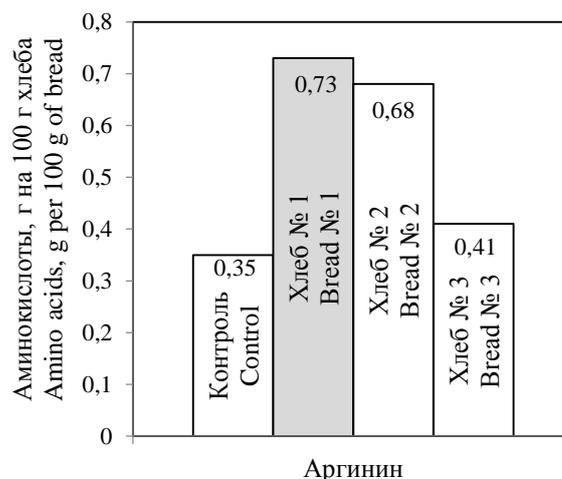
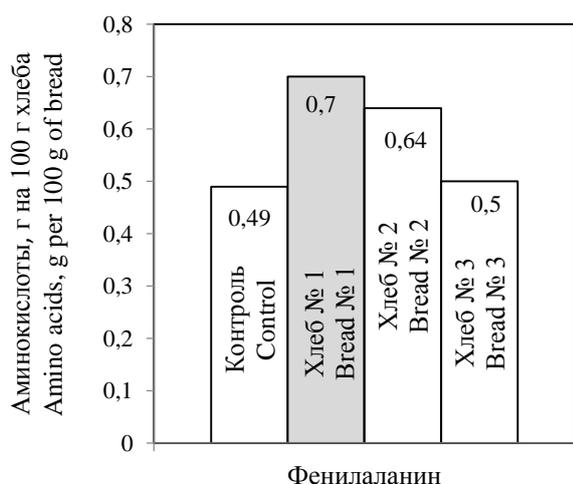
$$V_C = 0,004 \cdot n + 0,335 \cdot Z_0 + 1,47 \cdot Z_V - 0,0011 \cdot n \cdot Z_0 - 0,106 \cdot n \cdot Z_V - 0,074 \cdot Z_0 \cdot Z_V$$

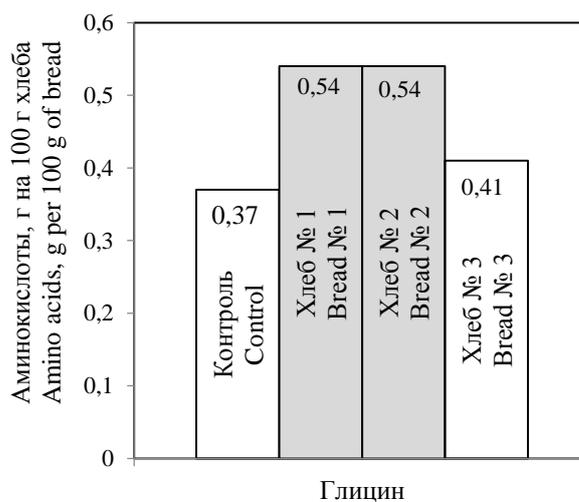
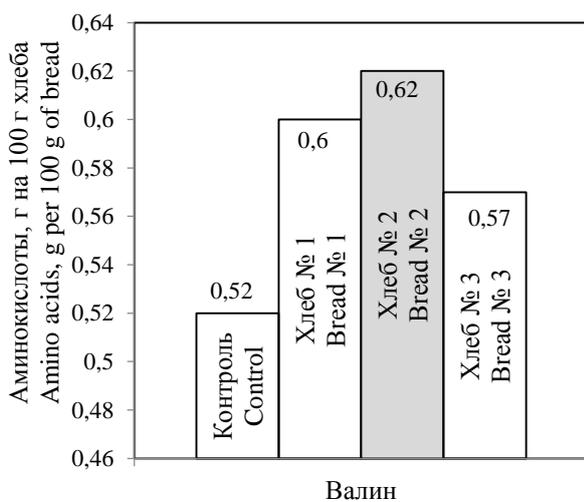
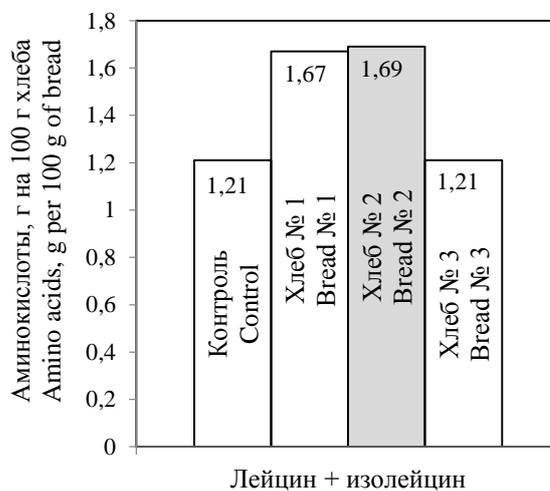
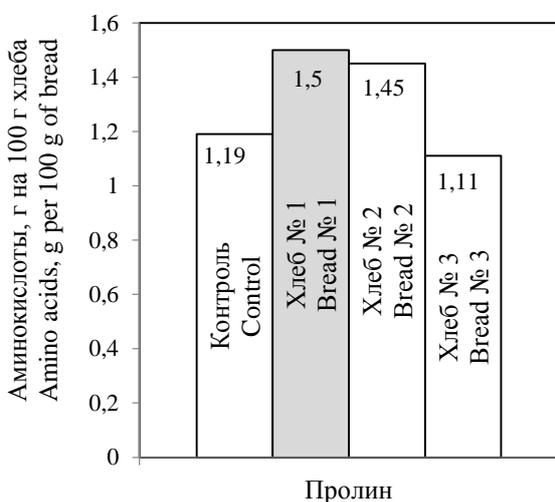
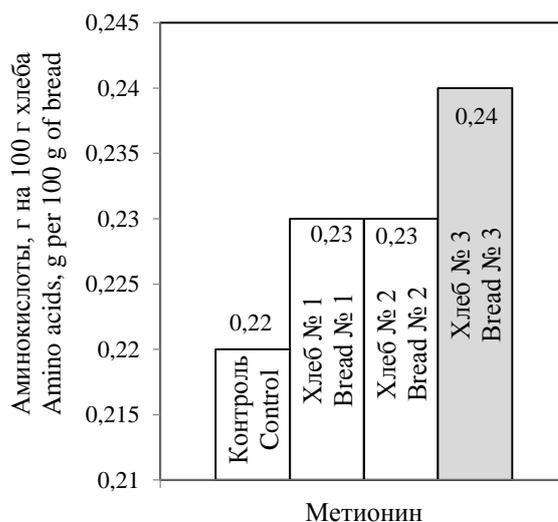
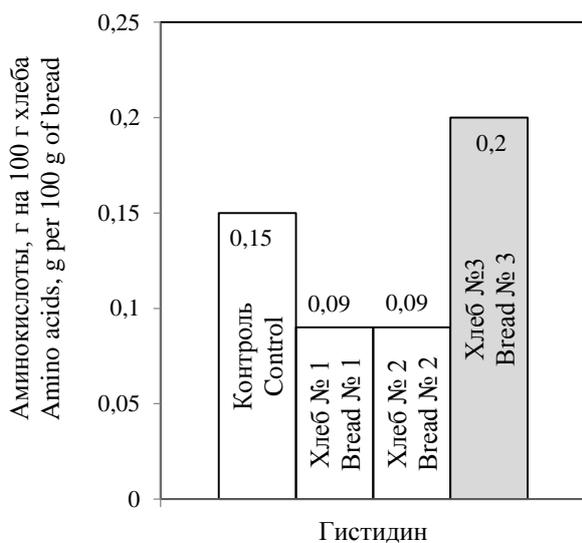
Полученные регрессионные модели являются адекватными, поскольку значения средней относительной погрешности между экспериментальными и модельными значениями полученных коэффициентов неоднородности для всех мучных хлебопекарных смесей не превышало 10% и составило: для смеси № 1–4,8%, № 2–9,06% и № 3–9,08%.

На следующем этапе исследований были проведены пробные выпечки хлеба из мучных

в результате этого получили уравнения регрессии, которые позволяют прогнозировать качество получаемых хлебопекарных смесей в зависимости от режимных и конструктивных параметров работы центробежно-шнекового смесителя.

хлебопекарных смесей, полученных при выявленных оптимальных параметрах работы центробежно-шнекового смесителя и изучена биологическая ценность полученного хлеба. Биологическую ценность определяли по результатам аминокислотного анализа образцов и контроля (рисунок 2). В качестве контрольного образца был взят хлеб, приготовленный из муки первого сорта без добавок (таблица 1).





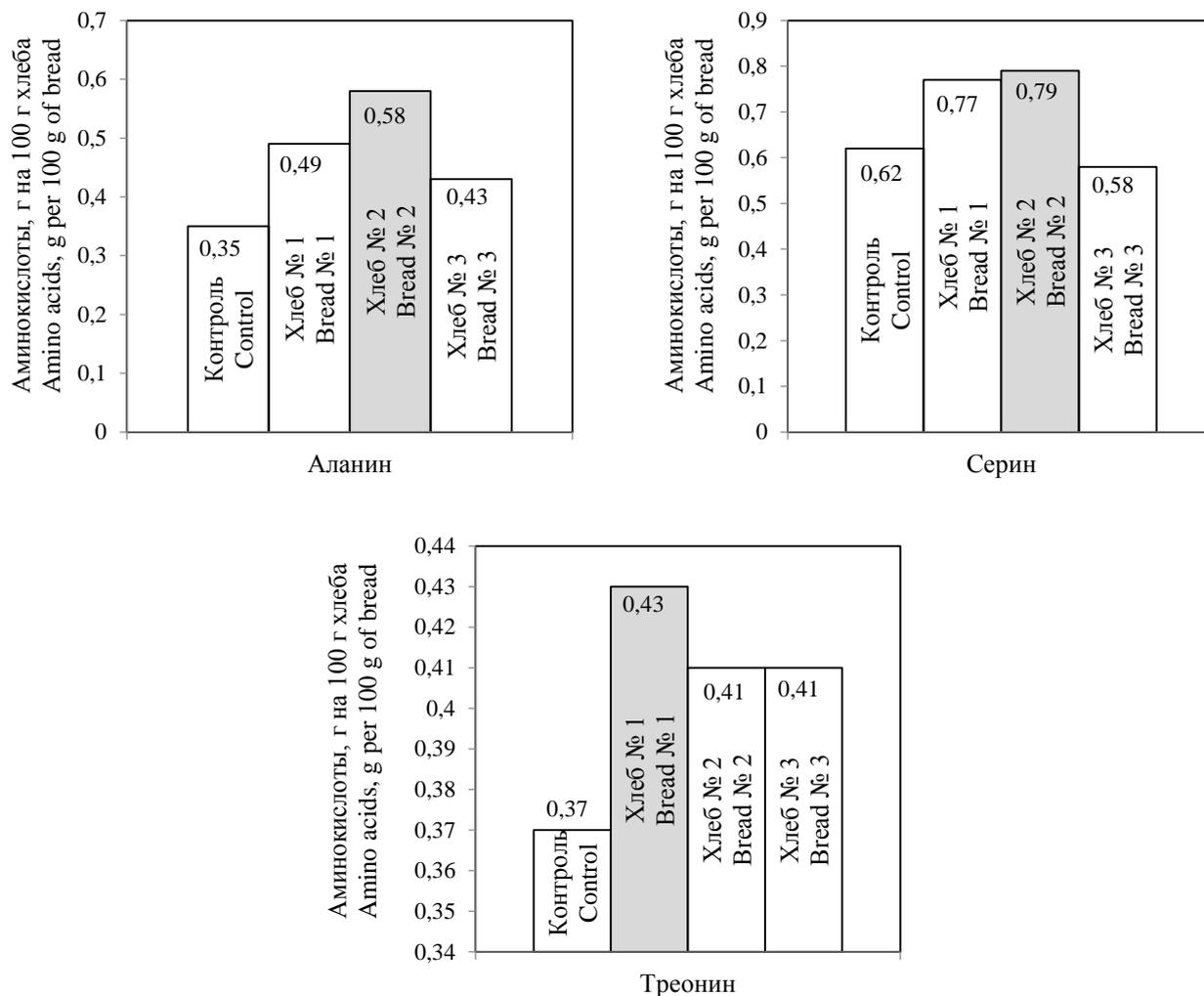


Рисунок 2. Сравнительный аминокислотный анализ
Figure 2. Comparative amino acid analysis

Установлено, что содержание аминокислот во всех образцах хлеба приготовленных из разработанных мучных хлебопекарных смесей и при оптимальных параметрах работы центробежно-шнекового смесителя значимо выше, чем в контрольном образце.

Анализ аминокислотного сора образцов, приготовленных из мучных хлебопекарных смесей, показал, что содержание лимитирующих для хлеба незаменимых аминокислот повысилось. Так, по сравнению с контролем в хлебе, приготовленном из хлебопекарной смеси № 1, аминокислотный скор изолейцина увеличился до 41%, лейцина – до 9%, лизина – до 10%, валина – до 26%, треонина – до 43%, метионина и цистина – до 30%, фенилаланина и тирозина – до 38%. В зависимости от рецептуры хлеба содержание аминокислот по сравнению с контролем увеличилось на 83–97% для аргинина, на 52–61% для тирозина, на 52–66% для фенилаланина, на 72–74% для гистидина, на 91% для суммы

лейцина и изолейцина, на 53–56% для метионина, на 90–97% для валина, на 64–72% для пролина, на 87–93% для треонина, на 58–87% для серина и на 74% для аланина. Таким образом, во всех образцах хлеба содержание аминокислот возросло по сравнению с контролем что свидетельствует о повышении биологической ценности данных изделий.

По результатам аминокислотного анализа выявлено, что:

1. хлеб из мучной хлебопекарной смеси № 1 является лидером по содержанию аргинина, фенилаланина, пролина, треонина и глицина;
2. хлеб из мучной хлебопекарной смеси № 2 является лидером по содержанию тирозина, валина, серина, аланина, глицина, а также суммы лейцина и изолейцина;
3. хлеб из мучной хлебопекарной смеси № 3 является лидером по содержанию лизина, гистидина, метионина.

Следовательно, наибольшей биологической ценностью обладают мучные хлебопекарные смеси № 2 и № 1 поэтому именно их целесообразно применять для выпечки хлеба функционального назначения для питания людей с повышенной жизненной активностью, например, спортсменам.

Для определения экономического эффекта от продажи обогащенной мучной хлебопекарной смеси, приготовленной на центробежно-шнековом смесителе, произведен расчет исходя из ориентировочной стоимости центробежно-шнекового смесителя 500 тыс. руб. и срока его службы 10 лет. Установлено, что операционные затраты на производство 1 килограмма такой муки составят 0,39 руб. Себестоимость сырья для приготовления 1 килограмма обогащенной мучной хлебопекарной смеси, составляет 50,39 руб. Если принять отпускную цену муки равной 70 руб. за 1 кг, то срок окупаемости центробежно-шнекового смесителя составляет 0,02 года.

Выводы

1. По результатам комплексных исследований доказано, что использование центробежно-шнекового смесителя позволяет получать

обогащенную аминокислотами мучную хлебопекарную смесь хорошего качества, при этом значение коэффициента неоднородности смеси не превышает 5%.

2. Определены оптимальные параметры работы смесителя для разных вариантов мучных хлебопекарных смесей. Для смеси № 1 и смеси № 2 оптимальными параметрами работы смесителя являются: частота вращения ротора 900 об/мин, количество витков шнека 4, количество отверстий на витках шнека 4. Для смеси № 3: частота вращения ротора 500 об/мин, количество витков шнека 2, количество отверстий на витках шнека 8.

3. Содержание аминокислот во всех образцах хлеба, выпеченных из изученных смесей, существенно выше по сравнению с контролем. Наибольшей биологической ценностью обладают мучные хлебопекарные смеси № 2 и № 1. Поэтому именно их целесообразно применять для выпечки хлеба функционального назначения для питания людей с повышенной жизненной активностью, например, спортсменам.

ЛИТЕРАТУРА

1 Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Assal N.E. et al. Bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour // Italian Journal of Food Science. 2015. V. 27. № 3. P. 345–350, doi: 10.14674/1120–1770/ijfs.v277.

2 Русина И.М., Макаричиков А.Ф., Чекан К.Ю., Троцкая Т.П. О перспективах использования муки из пшеницы при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2014. № 2. С. 39–45.

3 Русина И.М., Макаричиков А.Ф., Чекан К.Ю., Троцкая Т.П. и др. возможности применения муки из фасоли и гороха в хлебопечении // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2012. № 4. С. 22–27.

4 Ferrero C. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review // Food Hydrocolloids. 2017. V. 68. P. 15–22, doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.11.044.

5 Bigne F., Puppo M.C., Ferrero C. Fibre enrichment of wheat flour with mesquite (*Prosopis* spp.): Effect on bread-making performance and staling // LWT – Food Science and Technology. 2016. V. 65. P. 1008–1016. doi: 10.1016/j.lwt.2015.09.028.

6 Awolu O.O. Optimization of the functional characteristics, pasting and rheological properties of pearl millet-based composite flour // Heliyon. 2017. V. 3. № 2. P. e00240, doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00240.

7 Collar C. Impact of visco-metric profile of composite dough matrices on starch digestibility and firming and retrogradation kinetics of breads thereof: Additive and interactive effects of non-wheat flours // Journal of Cereal Science. 2016. V. 69. P. 32–39. doi: 10.1016/j.jcs.2016.02.006.

8 Zannini E., Garofalo C., Aquilanti L., Santarelli S. et al. Microbiological and technological characterization of sourdoughs destined for bread-making with barley flour // Food Microbiology. 2009. V. 26. № 7. P. 744–753, doi: 10.1016/j.fm.2009.07.014.

9 Марков А.С., Романов А.С., Павлова А.О. Разработка комплексных хлебопекарных смесей на основе продукции фирмы «Ирекс» // Хлебопродукты. 2013. № 12. С. 46–47.

10 Сокол Н.В., Казарцева А.Т., Санжаровская Н.С. Влияние на хлебопекарные свойства смесей пшеничной муки с продуктами переработки овса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (49). С. 162–168.

11 Шмалько Н.А., Чалова И.А., Ромашко Н.Л. Реологические характеристики углеводно-амилазного комплекса хлебопекарных смесей с амарантовой мукой // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 3. С. 82–86.

12 Бебякин В.М., Кулеватова Т.Б., Осипова С.В. Эффективность смешивания зерна озимой ржи и яровой мягкой пшеницы на основе седиментационных оценок // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 3. С. 22–24.

13 Лихачева Е.И., Рыбаков Ю.С., Кудрина О.С. О повышении качества и пищевой ценности хлеба из пшеничной муки // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века: Труды Кубанского государственного технологического университета. Краснодар, 2009. С. 145–147.

14 Мусина О.Н., Лисин П.А. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания // Техника и технология пищевых производств. 2012. Т. 4. № 27. С. 32–37.

15 Musina O., Putnik P., Koubaa M., Barba F.J., Greiner R., Roohinejad S., Granato D. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: a case study // Trends in Food Science & Technology. 2017. V. 64. P. 48–59. doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.011.

16 Стабровская О.И., О.Г. Короткова Гликемический индекс как критерий оптимизации состава многокомпонентных смесей // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 1. С. 34–36.

17 Стабровская О.И., Гарифуллина О.А. Комплексный подход к разработке хлебопекарных смесей // Хлебопечение России. 2008. № 2. С. 17–18.

18 Бобков В.А., Панкратов Г.Н. Управление реологическими свойствами мучных смесей // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 11. С. 31–35.

19 Бородулин Д.М., Иванец В.Н., Киселев Д.И., Андришкова Е.А. и др. Разработка центробежно-шнекового смесителя для получения сухих композитных смесей для питания спортсменов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 3. С. 53–56.

20 Бородулин Д.М., Будрик В.Г., Саблинский А.И., Шульбаева М.Т. и др. Исследование эффективности практического применения центробежных смесителей непрерывного действия в технологических линиях производства комбинированных продуктов питания // Современные наукоёмкие технологии. 2016. № 3–1. С. 9–13.

21 Бородулин Д.М., Невская Е.В., Киселев Д.И., Шлепенко Л.А. и др. Анализ функционирования центробежно-шнекового смесителя методом множественной регрессии при получении мучной хлебопекарной смеси для приготовления хлебобулочных изделий для питания спортсменов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 2. С. 91–100.

22 Бобков В. Анализ однородности мучных композитных смесей по показателю белизны // Хлебопродукты. 2009. № 5. С. 57–59.

23 Бакин И.А., Белоусов Г.Н., Ядута А.З. Стохастический подход к оценке качества смешивания сыпучих материалов в центробежных смесителях // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 7. С. 58–61.

24 Титова М.Е., Тихомирова Н.А. Белковый модуль с функциональными ингредиентами // Молочная промышленность. 2014. № 10. С. 49–50.

25 Бородулин Д.М., Ратников С.А., Козымаев А.С., Андришкова Е.А., Киселев Д.И. Моделирование движения материальных потоков в центробежно-шнековом смесителе // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 102–108.

26 Ivanets V.N., Borodulin D.M. Development of mathematical models of centrifugal mixing units of new design for the production of dry combined food products // Foods and Raw Materials. 2013. № 1. P. 54–65. doi: 621.929.2/.9

27 Бредихин А.С., Червецов В.В. Гидродинамика процесса охлаждения молочной сыворотки при поточной кристаллизации лактозы. Вестник ВГУИТ. 2013. №3. С. 36–40.

REFERENCES

1 Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Assal N.E., A. and Mezaini J. Prodhomme Bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour. Italian Journal of Food Science, 2015, vol. 27, no 3, pp. 345–350. doi: 10.14674/1120-1770/ijfs.v277

2 Rusina I.M., Makarchikov A.F., Chekan K. Ju., Trockaja T.P. The prospects of using wheat flour in the manufacture of bakery and flour confectionery products. Pishhevaya promyshlennost': nauka i tehnologii [Food industry: science and technology], 2014, no 2, pp. 39–45. (in Russian)

3 Rusina I.M., Makarchikov A.F., Trockaja T.P., Mistjuk Ju. V. and Kovalevskaja S.S. The possibility of using haricot flour and peas flour in baking. Pishhevaya promyshlennost': nauka i tehnologii [Food industry: science and technology], 2012, no 4, pp. 22–27. (in Russian)

4 Ferrero C. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. Food Hydrocolloids, 2017, vol. 68. pp. 15–22. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.11.044

5 Bigne F., Puppo M.C., Ferrero C. Fibre enrichment of wheat flour with mesquite (Prosopis spp.): Effect on bread-making performance and staling. LWT – Food Science and Technology, 2016, vol. 65, pp. 1008–1016. doi: 10.1016/j.lwt.2015.09.028

6 Awolu O.O. Optimization of the functional characteristics, pasting and rheological properties of pearl millet-based composite flour. Heliyon, 2017, vol. 3, no. 2, pp. e00240. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00240

7 Collar C. Impact of visco-metric profile of composite dough matrices on starch digestibility and firming and retrogradation kinetics of breads thereof: Additive and interactive effects of non-wheat flours. Journal of Cereal Science, 2016, vol. 69, pp. 32–39. doi: 10.1016/j.jcs.2016.02.006

8 Zannini E., Garofalo C., Aquilanti L., Santarelli S. et al. Microbiological and technological characterization of sourdoughs destined for bread-making with barley flour. Food Microbiology, 2009, vol. 26, no. 7, pp. 744–753. doi: 10.1016/j.fm.2009.07.014

9 Markov A.C., Romanov A.S. and Pavlova A.O. Development of a composite baking mixes on the products of the company "Ireks" basis. Hleboprodukty [Bread products], 2013, no 12, pp. 46–47. (in Russian)

10 Sokol N.V., Kazarceva A.T., Sanzharovskaja N.S. The influence of wheat flour with oats products mixtures on the baking properties. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Kuban state agrarian university], 2014, no. 4 (49), pp. 162–168. (in Russian)

11 Shmal'ko N.A., Chalova I.A., Romashko N.L. The rheological characteristics of the carbohydrate-amylase complex baking mixtures with amaranth flour. Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv [Food Processing: Techniques and Technology], 2011, no 3, pp. 82–86. (in Russian)

12 Bebjakin V.M., Kulevatova T.B., Osipova S.V. The mixing efficiency of winter rye and spring wheat grain on the sedimentation assessments basis. Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural products], 2011, no 3, pp. 22–24. (in Russian)

13 Lihacheva E.I., Rybakov Ju. S., Kudrina O.S. The quality and nutritional value of wheat bread improvement. Hlebobulochnye, konditerskie i makaronnye izdelija XXI veka: Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta [Bakery, confectionery and macaroni products of the XXI century: proceedings of the Kuban state technological university] 2009, pp. 145–147. (in Russian)

14 Musina O.N., Lisin P.A. System modeling of multicomponent foods. Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, vol. 4, no 27, pp. 32–37. (in Russian)

15 Musina O., Putnik P., Koubaa M., Barba F.J. et al. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: a case study. Trends in Food Science & Technology, 2017, vol. 64, pp. 48–59. doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.011

16 Stabrovskaja O.I., Korotkova O.G. Glycemic index as a multicomponent mixtures composition optimization criterion. Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural products], 2010, no 1, pp. 34–36. (in Russian)

17 Stabrovskaja O.I., Garifullina O.A. An integrated approach to the development of the bakery mixes. Hlebopechenie Rossii [Russian bakery industry], 2008, no 2, pp. 17–18. (in Russian)

18 Bobkov V.A., Pankratov G.N. Control of rheological properties of flour mixes. Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural products], 2008, no 11, pp. 31–35. (in Russian)

19 Borodulin D.M., Ivanec V.N., Kiselev D.I., Andriushkova E.A. et al. The development of centrifugal-screw mixer to obtain a dry composite mixtures for the athletes nutrition. Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural products], 2015, no 3, pp. 53–56. (in Russian)

20 Borodulin D.M., Budrik V.G., Sablinskiy A.I., Shulbaeva M.T. et al. Study of the effectiveness of the practical application of centrifugal continuous mixers in production lines of combined food products. Sovremennye naukoemkie tehnologii. [Modern high technology], 2016, no 3–1, pp. 9–13. (in Russian)

21 Borodulin D.M., Nevskaja E.V., Kiselev D.I., Shlelenko L.A. et al. Analysis of the functioning of the centrifugal-screw mixer by the method of multiple regression in obtaining flour baking mixes for making bakery products for the athletes nutrition. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2016, no 2, pp. 91–100. (in Russian)

22 Bobkov V. The analysis of the composite flour mixes homogeneity by whiteness index. *Hleboprodukty* [Bread products], 2009, no 5, pp. 57–59. (in Russian)

23 Bakin I.A., Belousov G.N., Jaduta A.Z. A stochastic approach for assessing the quality of mixing particulate materials in centrifugal mixer. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and processing of agricultural products], 2010, no 7, pp. 58–61. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., заведующий кафедрой, кафедре технологического проектирования пищевых производств, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), б-р Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия, borodulin_dmitri@list.ru

Дмитрий И. Киселев аспирант, кафедра технологического проектирования пищевых производств, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), б-р Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия, eidos-92@mail.ru

Екатерина В. Невская к.т.н., заместитель заведующей отделом, отдел технологии хлебопекарного производства, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, ул. Б. Черкизовская, 26-А, г. Москва, 107553, Россия, katerinarose@mail.ru

Андрей А. Невский к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел технологии хлебопекарного производства, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, ул. Б. Черкизовская, 26-А, г. Москва, 107553, Россия, katerinarose@mail.ru

Елена А. Вагайцева к.т.н., доцент, кафедра технологического проектирования пищевых производств, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), б-р Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия, vagaitseva@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 08.12.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 31.01.2018

24 Titova M.E., Tihomirova N.A. Protein module with functional ingredients. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2014, no 10, pp. 49–50. (in Russian)

25 Borodulin D.M., Ratnikov S.A., Kozymaev A.S., Andryushkova E.A. et al. Modeling the movement of material flows in a centrifugal-screw mixer. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 2015, no 1, pp. 102–108. (in Russian)

26 Ivanets V.N., Borodulin D.M. Development of mathematical models of centrifugal mixing units of new design for the production of dry combined food products. *Foods and Raw Materials*, 2013, no 1, pp. 54–65. doi: 621.929.2/9

27 Bredihin A.S., Chervetsov V.V. Hydrodynamics of cooling whey flow lactose crystallization. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2013. no. 3. pp. 36–40. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dmitrii M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), technological design of food production department, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), Boulevard Stroiteley, 47, Kemerovo, 650056, Russia, borodulin_dmitri@list.ru

Dmitrii I. Kiselev graduate student, technological design of food production department, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), Boulevard Stroiteley, 47, Kemerovo, 650056, Russia, eidos-92@mail.ru

Ekaterina V. Nevskaya Cand. Sci. (Engin.), deputy head of the department, department of bakery technology, Scientific Research Institute of the Bakery Industry, B. Cherkizovskaya str., 26A, Moscow, 107553, Russia, katerinarose@mail.ru

Andrey A. Nevskiy Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, department of bakery technology, Scientific Research Institute of the Bakery Industry, B. Cherkizovskaya str., 26A, Moscow, 107553, Russia, katerinarose@mail.ru

Elena A. Vagaytseva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technological design of food production department, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), Boulevard Stroiteley, 47, Kemerovo, 650056, Russia, vagaitseva@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in writing the manuscript and responsible for the plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.8.2017

ACCEPTED 1.31.2018