ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

№ 4
2020

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.000

Входит в перечень ВАК

№ 4

2020

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Свидетельство о регистрации издания ПИ № ФС 77-75624
Выдано федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 19.04.2019 г.
Журнал издается с 2002 г.

Главный редактор

Гурьев А.М.

д.т.н., проф. АлтГТУ (г. Барнаул)

Зам. главного редактора

Маюрникова Л.А.

д.т.н., проф., зав. каф. «Технология и организация общественного питания» КемГУ (г. Кемерово)

Редакционная коллегия

Сакович Г.В., академик РАН (г. Бийск)

Бессон Р., проф., директор Международного Российско-Французского центра инноваций и трансфера технологий (г. Безансон, Франция)

Дебердеев Т.Р., д.т.н., зав. каф. «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» КНИТУ(г. Казань)

Ильясов С.Г., д.х.н., заместитель директора по научной работе ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск)

Блазнов А.Н., д.т.н., заведующий лабораторией материаловедения и минерального сырья ИПХЭТ СО РАН, (г. Бийск)

Петров Е.А., д.т.н., проф., декан инженерного спецфакультета БТИ (г. Бийск)

Деев В.Б., д.т.н., проф., главный научный сотрудник Инжинирингового центра «Литейные технологии и материалы» НИТУ МИСиС (г. Москва)

Батаев В.А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)

Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)

Коновалов С.В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технологии металлов и авиационного материаловедения» Самарского университета (г. Самара)

Лыгденов Б.Д., д.т.н., проф. УТУ(г. Ухань, Китай)

Щетинин М.П., д.т.н., проф., проректор по научной работе МГУПП (г. Москва)

Тамова М.Ю., д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)

Попов В.Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г.Тюмень)

Майоров А.А., д.т.н., проф., Главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)

Новоселов С.В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

Коньшин В.В., д.т.н., проф., зав.каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)

Романов А.С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)

Алтухов И.В., д.т.н., доц. ИрГАУ (г. Иркутск)

Гуринович Г.В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технология продуктов питания животного происхождения» КемГУ (г. Кемерово)

Ананьева Е.С., к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А.С. Захарова, С.С. Кузьмина, Е.Ю. Егорова, Л.А. Козубаева

Формирование пищевой ценности булочных изделий с мукой из семян масличных культур.....3

Л.Е. Мелёшкина, Ю.Г. Стурова, Ю.Г. Афанасьева

Изделия хлебобулочные функционального назначения с ламинарией.....10

Д.Н. Протопопов, В.А. Шкарпетко, Л.А. Козубаева, С.С. Кузьмина

Новые схемы производства муки.....14

С.А. Урубков, С.С. Хованская, С.О. Смирнов

Сухие безглютеновые смеси с использованием гречихи и амаранта для детей старше трёх лет с непереносимостью глютена.....20

Н.В. Присухина, Е.Н. Непомнящих, Л.Г. Ермош

Исследование показателей мелкоплодной груши Сибири для дальнейшего применения в кондитерской отрасли.....26

А.А. Лобов

Хлебопекарная печь для выпечки хлеба вне стационарных условий.....31

Л.Е. Мелёшкина, Н.В. Червякова

Потребительские свойства и пищевая ценность макаронных изделий с растительными обогащающими добавками.....36

С.Н. Брасалин, А.С. Минаков

Влияние режима влаготепловой обработки на оценки технологической эффективности шелушения зерна овса.....40

А.Г. Бухарев, Н.Б. Гаврилова, Е.М. Щетинина

Пищевая, биологическая, энергетическая ценность нового вида творожного продукта специализированного (спортивного) питания.....44

А.Т. Инербаева

Разработка технологии и оценка качества варено-копченых колбас из оленины...48

В.Е. Евграфова, М.Н. Колесниченко, В.Г. Курцева

Исследование влияния растительного сырья и пробиотических культур на процессы брожения при производстве хлебного кваса.....53

И.С. Брашко, С.Л. Тихонов, Н.В. Тихонова, А.А. Ногина

Биотрансформация коллагенсодержащего сырья и разработка продукта антиоксидантной направленности с его использованием.....62

Е.А. Красноселова, А.А. Варивода

Анализ и особенности технологии производства фруктово-ягодных соусов.....66

О.Ф. Фазуллина, С.О. Смирнов

Овощные порошки как источники селена в макаронных изделиях.....70

В.Б. Мазалевский, О.К. Мотовилов

Управление качеством и безопасностью колбасного хлеба на основе принципов ХАССП.....75

И.В. Сандракова, И.Ю. Резниченко

Исследование торгового ассортимента безалкогольных напитков с использованием пищевых красителей и ароматизаторов.....82

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И.Н. Павлов, П.С. Кузнецов, А.И. Шилов

Исследование процесса сублимационной сушки бактериальной наноцеллюлозы.....88

В.И. Семихин, Р.В. Малюгин, Д.Д. Коровин

Исследование формирования структуры течения в круглых горизонтальных трубках.....95

В.Б. Тишин, А.Г. Новосёлов, Ю.Н. Гуляева, А.А. Федоров

Теплообмен между твёрдой частицей с внутренним источником тепловой энергии и окружающей её средой.....100

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.А. Рагазин., А.Ф. Халимова

Механические и эксплуатационные (сопротивление коррозии) свойства проката из легированного скандием и цирконием алюминиевого сплава системы Al-Mg.....107

T.H. Nguyen, Nguyen Van Minh, Nguyen Thai Ha, Do Thanh Lich

Kinetic parameters of producing nickel metal powder under isothermal conditions.....112

А.Г. Туисов, А.А. Кычкин, Е.С. Ананьева, Е.М. Максимова

Исследование процесса растворения борполимера в эпоксиангидридном связующем.....117

А.Е. Проценко, В.В. Петров, Д.П. Малышева

Сравнительный анализ сэндвич-панелей из ПКМ, полученных методами вакуумной инфузии и контактного формования.....121

А.А. Ситников, М.В. Логинова, А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, В.Ю. Филимонов, А.Ю. Мясников, М. Р. Сыровежкин

Высокотемпературный синтез механоактивированной смеси Ti + Al, облученной гамма-квантами с малой мощностью дозы.....127

В.И. Мосоров, У.Л. Мишигдоржийн, Б.Д. Лыгденов, О.З. Галаа, Баяраа Жавхалан

Механизм формирования диффузионного слоя при борировании износостойкого чугуна ЧХ28.....131

М.В. Логинова, А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.Ю. Филимонов, В.И. Яковлев, А.Ю. Мясников, М.В. Погорельцев

Выбор оптимального состава механоактивированной шихты Ti + Al для исследования динамики структурно-фазовых процессов при высокотемпературном синтезе.....136

Н.Н. Горлова, Г.В. Медведев, А.А. Ситников

Изучение влияния соотношения отдельных компонентов и составов шихты на свойства пористых проницаемых СВС – каталитических материалов, для систем нейтрализации судовых дизелей.....140

Н.Н. Горлова, Г.В. Медведев, М.С. Канапинов, А.Е. Свистула

Использование руды ксенотима при получении пористых проницаемых каталитических материалов для очистки отработавших газов дизелей в нейтрализаторах.....147

CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS.....153

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....166

УЧРЕДИТЕЛИ: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА», ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Адрес редакции и издателя: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. (3852) 29-87-65,
Дата выхода в свет 18.12.2020 г. Цена 500 руб.

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.001
УДК 664.64

ФОРМИРОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ БУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С МУКОЙ ИЗ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

А. С. Захарова, С. С. Кузьмина, Е. Ю. Егорова, Л. А. Козубаева

Комбинирование разных видов муки при разработке новых рецептур мучных изделий перспективно в плане повышения их пищевой ценности и с позиций привлечения потенциального потребителя. Целью работы являлся анализ изменения пищевой ценности булочных изделий при добавлении расчётных комбинаций полуобезжиренной муки из масличных семян: тыквенной, кунжутной и амарантовой. Установлено, что увеличение дозировки масличной муки способствует повышению содержания в готовых изделиях пищевых волокон и легкоусвояемых белков при снижении доли легкоусвояемых углеводов; витаминно-минеральная ценность изделий зависит от видов масличной муки, комбинируемых при внесении в мучную смесь. При этом макрокомпонентный состав булочек становится более сбалансированным, в 1,5–3 раза увеличивается содержание витаминов B_1, B_2 и PP, ещё более существенно повышается минеральная ценность изделий. Использование в хлебопечении смесей тыквенной и кунжутной (начиная с комбинации 6 % + 6 %), амарантовой и тыквенной (4 % + 4 %), амарантовой и кунжутной муки (4 % + 4 %) позволяет перевести продукцию в категорию функциональной, как источник витаминов группы В, магния, железа и фосфора.

Ключевые слова: булочные изделия, пищевая ценность, обогащение, мука из масличных семян, белки, витамины, минеральные вещества, функциональные продукты питания.

Исследования последних лет свидетельствуют о выраженных нарушениях в питании преобладающего большинства населения РФ. Основной дисбаланс отмечается в дефиците потребления белка, незаменимых минеральных веществ и витаминов [1].

Хлебобулочные изделия представляют собой весомую группу продуктов массового потребления, пользующуюся стабильным спросом, прежде всего, у населения с невысоким доходом, вынужденного длительно ограничивать себя в полноценном питании. Кроме того, что они потребляются в самостоятельном виде, хлебобулочные изделия широко используются в общественном питании как основа бургеров, сандвичей и подобных кулинарных перекусов.

Отмеченное позволяет рассматривать хлебобулочные изделия как одну из категорий продуктов, обогащение которых незаменимыми макро- и микронутриентами, включая выше перечисленные, наиболее обоснованно и рационально. Модификация рецептур и технологий хлебобулочных изделий, направленная на повышение их пищевой ценности и потребительской привлекательности для населения, соответствует и основной цели развития хлебопекарной отрасли – наращиванию объемов производства, по которым в последнее десятилетие зафиксировано заметное снижение.

Разные виды муки из семян масличных культур – амарантовая, тыквенная, кунжутная и другие – в сравнении с сортовой пшеничной мукой обладают более высокой пищевой ценностью: в них ниже содержание крахмала и выше содержание растворимых белковых фракций, значительно выше содержание многих незаменимых минеральных элементов. С учетом того, что разные виды масличных могут существенно различаться своим химическим составом и, соответственно, пищевой ценностью, определенные перспективы при разработке новых рецептур имеет комбинирование разных видов масличной муки. В частности, семена тыквы, кунжута и амаранта и производимая из них мука являются источником легкоусвояемого белка, полиненасыщенных жирных кислот, многих минеральных веществ и относительно устойчивых к термической обработке витаминов и провитаминов [2–4]. Но при этом семена тыквы являются хорошим источником каротиноидов, калия, магния, фосфора, меди, железа, марганца, цинка, йода и селена [5–7], а семена кунжута могут рассматриваться как дополнительный пищевой источник лигнанов, кальция, селена и магния [8, 9]; семена амаранта еще более богаты калием, кальцием, фосфором и железом [10]. Важно отметить, что наиболее дефицитные минеральные элементы присутствуют в составе семян кун-

жута и тыквы в органической форме (как, например, кальций кунжута и связанный с метионином селен семян тыквы), благодаря чему хорошо сохраняются в полуобезжиренной муке из этих семян [7].

Наряду с отмеченными достоинствами муки из масличных семян, непривычные для потребителя органолептические качества тыквенной, амарантовой и, особенно, кунжутной муки, а также отсутствие в них клейковинных белков вызывают необходимость ограничения дозировки этих видов муки в составе используемых для замеса теста мучных смесей. Так, при выпечке булочных изделий из пшеничной муки для тыквенной муки оптимальной названа дозировка в пределах, не превышающих 10 % [11], для кунжутной и амарантовой (прежде всего, вследствие специфичного привкуса и запаха), в зависимости от группы хлебобулочных изделий, – от 5 до 10 % [12–14]. Указанная дозировка, безусловно, дает возможность некоторого повышения пищевой ценности выпечки, однако расширение рекомендуемых пределов позволило бы добиться более существенных результатов. Такую возможность, на наш взгляд, может обеспечить комбинирование муки из семян масличных культур.

Целью данной работы является анализ изменения пищевой ценности булочных изделий при добавлении расчётных комбинаций полуобезжиренной муки из масличных семян: тыквенной, кунжутной и амарантовой. В качестве объектов исследования использована стандартная рецептура саек из пшеничной муки высшего сорта из сборника технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий [15] (изделия по этой рецептуре выступали в качестве контроля) и полуобезжиренная мука из семян тыквы, амаранта и кунжута, вырабатываемая в промышленных объёмах ООО «Специалист» (г. Бийск).

Расчёты осуществляли в формате прикладной компьютерной программы Microsoft Excel XP 2010 с учётом возможности внесения муки из масличных культур в количестве от 2 до 8 % (каждого вида) от предусмотренного стандартной рецептурой количества пшеничной муки, с «шагом» варьирования 2 %. В качестве исходных данных использованы данные о содержании в сырье основных пищевых веществ [16–19].

При анализе пищевой ценности хлебобулочных изделий в отношении макрокомпонентов использованы нормы ВОЗ/ФАО: белки – 50 г (среднее в интервале рекомендаций ВОЗ/ФАО для мужчин и женщин – 55–65 г), жиры – 60 г (также усредненное от рекомендуемых количеств), усвояемые углеводы – 380 г), в отношении пищевых волокон и микронутриентов применены нормы МР 2.3.1.2432–08 [20]. В условиях выпечки наименьшие деструктивные изменения претерпевают вещества минерального комплекса и витамины группы В (B_1, B_2 и РР), которые в растительном сырье находятся преимущественно в связанной с белками форме, поэтому более устойчивы к разрушению в условиях повышенных температур. Следовательно, изменению содержания этих компонентов должно быть уделено особое внимание при анализе изменений в пищевой ценности хлебобулочных изделий с мукой из масличных культур.

Пищевая ценность булочных изделий с тыквенной и кунжутной, амарантовой и тыквенной, амарантовой и кунжутной мукой представлена в таблицах 1–3. Даже при условии ограничения суммарной дозировки муки из семян масличных культур в мучной смеси на уровне 10 %, в каждом из рассматриваемых примеров с повышением доли масличной муки в рецептурной смеси наблюдается повышение доли суммарного белка (на 20–26 % от исходного значения – при комбинировании амарантовой и кунжутной, кунжутной и тыквенной муки, на 22–29 % – при комбинировании амарантовой и тыквенной муки), составляя до 20 % от суточной потребности, и соответствующее снижение доли усвояемых углеводов (вследствие более низкого их содержания в составе всех трех видов масличной муки).

Рекомендованное соотношение белков, жиров и углеводов в рационе взрослого трудоспособного населения соответствует 1 : 1,2 : 4,6. В суточном рационе учащихся и студентов оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов должно составлять 1 : 1 : 4 или 10–15 %, 30–32 % и 55–60 % по вкладу в суммарную калорийность рациона [21]. Наиболее близкие к этим рекомендациям соотношения белков и углеводов обеспечивает смешивание пшеничной муки с амарантовой и тыквенной.

Закономерно, что, несмотря на наличие чёткой корреляции между содержанием белков и липидов, доля последних в обеспечении искомого баланса в рационе белков, жиров и углеводов, в целом, не меняется и находится с белками при всех изученных дозировках в соотношении 1 : 0,3. Таким образом, для достижения баланса сохраняется возможность увеличения доли липидного компонента (как в случае, например, классического «утреннего бутерброда с маслом»).

Наиболее существенно на содержании в готовых изделиях белков и клетчатки отражается включение в состав мучной смеси тыквенной и кунжутной муки. Содержание суммы минеральных веществ, коррелирующее с содержанием в булочках золы, повышается с увеличением дозировок внесённой в мучную смесь масличной муки практически равнозначно, вне зависимости от её вида.

Детальный анализ изменения витаминной и минеральной ценности хлебобулочных изделий с мукой из семян представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пищевая ценность хлебобулочных изделий с тыквенной и кунжутной мукой, на 100 г изделий

Наименование компонента	Содержание компонента / Вариант добавления тыквенной (%) + кунжутной муки (%)										
	0 + 0	2 + 2	2 + 4	4 + 2	4 + 4	4 + 6	6 + 4	6 + 6	6 + 8	8 + 6	8 + 8
Макрокомпоненты, г:											
Белки	8,0	8,8	9,1	9,2	9,6	10,0	10,1	10,4	10,8	10,9	11,2
Жиры	2,2	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	2,9	3,0	3,2	3,2	3,3
Углеводы	54,7	53,9	53,5	53,4	53,1	52,7	52,6	52,3	51,9	51,8	51,5
Клетчатка	0,1	0,8	1,1	1,1	1,5	1,8	1,8	2,1	2,5	2,5	2,8
Зола	1,5	1,7	1,9	1,8	1,9	2,1	2,0	2,1	2,3	2,3	2,4
Отношение Б : Ж : У	1:0,3:6,8	1:0,3:6,1	1:0,3:5,9	1:0,3:5,9	1:0,3:5,5	1:0,3:5,3	1:0,3:5,2	1:0,3:5,0	1:0,3:4,8	1:0,3:4,7	1:0,3:4,6
Минеральные вещества, мг:											
Натрий	431,4	431,9	432,2	432,2	432,4	432,7	432,7	433,0	433,2	433,2	433,5
Калий	103,2	123,3	134,9	131,8	143,4	155,0	151,9	163,6	175,2	172,1	183,7
Кальций	18,39	51,43	79,17	56,74	84,47	112,2	89,78	117,52	145,25	122,83	150,56
Магний	13,25	29,50	39,34	35,92	45,76	55,60	52,18	62,02	71,86	68,43	78,27
Фосфор	72,27	114,5	131,3	140,0	156,8	173,6	182,2	199,0	215,8	224,5	241,3
Железо	1,00	1,50	1,90	1,6	2,00	2,41	2,11	2,51	2,91	2,61	3,01
Цинк	0,03	0,33	0,64	0,33	0,64	0,95	0,64	0,95	1,25	0,95	1,25
Витамины, мг:											
B_1	0,14	0,16	0,18	0,16	0,18	0,20	0,19	0,21	0,23	0,21	0,23
B_2	0,04	0,07	0,09	0,07	0,09	0,11	0,09	0,12	0,14	0,12	0,14
PP	1,12	1,31	1,42	1,38	1,50	1,61	1,57	1,68	1,80	1,76	1,87

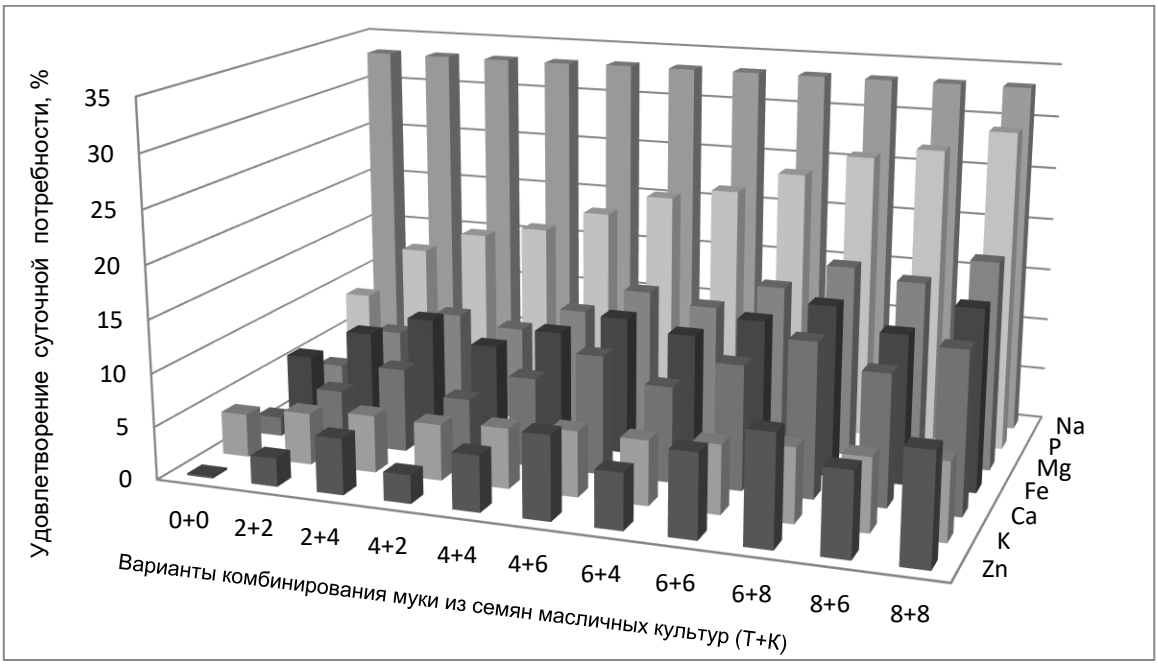


Рисунок 1 – Зависимость степени удовлетворения суточной потребности в основных минеральных элементах от дозировки тыквенной (Т, %) и кунжутной (К, %) муки

рассматриваемых масличных культур свидетельствует, что варьирование дозировки масличной муки, в целом, не отражается только на содержании натрия, основным источником которого в мучных изделиях выступает поваренная соль

Комбинирование тыквенной и кунжутной муки (таблица 1, рисунок 1) дает возможность повышения содержания калия в булочках не менее, чем на 50 % от исходного значения (в изделиях контрольной рецептуры). Вклад в минеральную ценность булочек железа и фосфора возрастает в 2–2,5 раза, доля магния и кальция – в 4–5 раз; на порядок увеличивается содержание цинка, вносимого с кунжутной мукой.

Таблица 2 – Пищевая ценность хлебобулочных изделий с амарантовой и тыквенной мукой, на 100 г изделий

Наименование компонента	Содержание компонента / Вариант добавления амарантовой (%) + тыквенной муки (%)										
	0 + 0	2 + 2	2 + 4	4 + 2	4 + 4	4 + 6	6 + 4	6 + 6	6 + 8	8 + 6	8 + 8
Макрокомпоненты, г:											
Белки	8,0	8,9	9,4	9,4	9,8	10,3	10,3	10,8	11,2	11,2	11,7
Жиры	2,2	2,4	2,5	2,4	2,6	2,7	2,6	2,7	2,9	2,7	2,9
Углеводы	54,7	53,8	53,3	53,3	52,8	52,4	52,3	51,9	51,4	51,4	51,0
Клетчатка	0,1	0,5	0,8	0,5	0,9	1,2	0,9	1,3	1,6	1,3	1,6
Зола	1,5	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1
Отношение Б : Ж : У	1:0,3:6,8	1:0,3:6,0	1:0,3:5,7	1:0,3:5,7	1:0,3:5,4	1:0,3:5,1	1:0,3:5,1	1:0,3:4,8	1:0,3:4,6	1:0,3:4,6	1:0,3:4,4
Минеральные вещества, мг:											
Натрий	431,4	433,0	433,3	434,4	434,7	434,9	436,0	436,3	436,5	437,7	437,9
Калий	103,2	120,9	129,4	130,2	138,7	147,2	147,9	156,4	165,0	165,7	174,2
Кальций	18,39	30,36	35,66	37,02	42,32	47,63	48,98	54,29	59,60	60,95	66,26
Магний	13,25	23,22	29,64	26,77	33,19	39,61	36,75	43,16	49,58	46,72	53,13
Фосфор	72,27	109,2	134,6	120,6	146,1	171,5	157,5	183,0	208,4	194,4	219,9
Железо	1,00	2,23	2,32	3,35	3,45	3,55	4,57	4,67	4,77	5,80	5,90
Цинк	0,03	0,07	0,07	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,16	0,20	0,20
Витамины, мг:											
B_1	0,14	0,26	0,27	0,39	0,39	0,39	0,51	0,51	0,52	0,64	0,64
B_2	0,04	0,13	0,14	0,22	0,22	0,23	0,31	0,31	0,32	0,40	0,40
PP	1,12	1,18	1,26	1,16	1,24	1,32	1,22	1,30	1,38	1,28	1,36

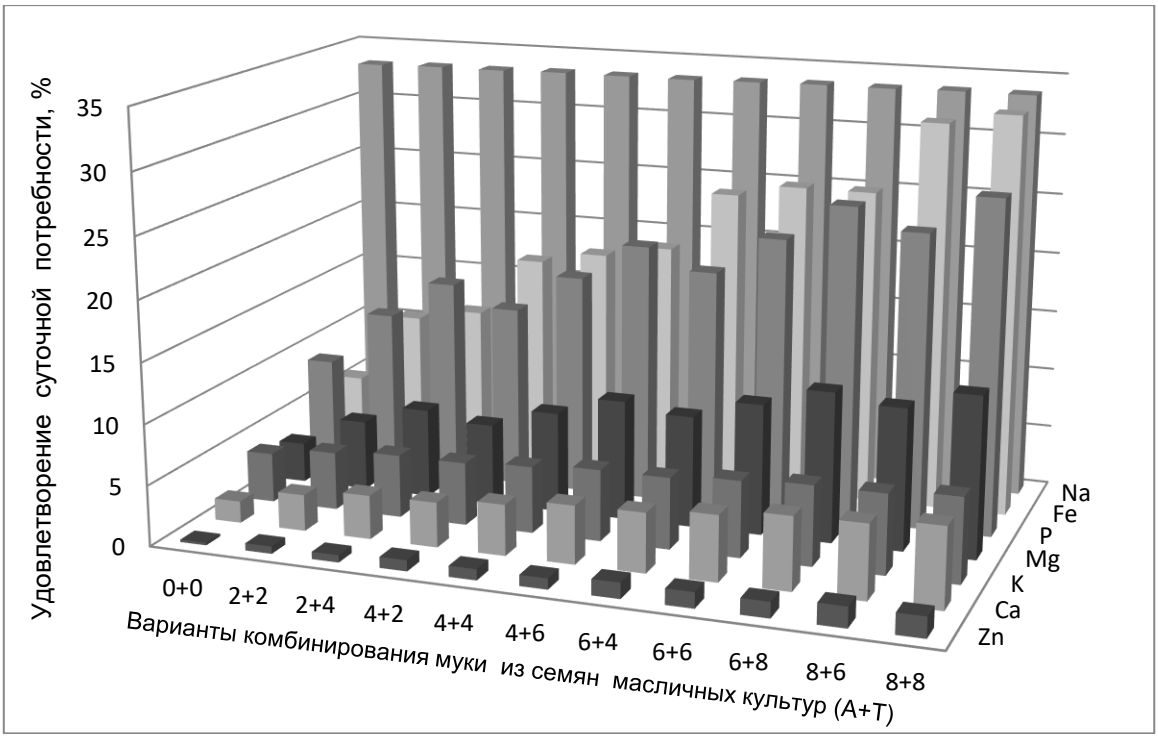


Рисунок 2 – Зависимость степени удовлетворения суточной потребности в основных минеральных элементах от дозировки амарантовой (А, %) и тыквенной (Т, %) муки

Аналогичным образом меняется и витаминная ценность мучных изделий: использование при замесе теста 10 % муки из семян тыквы и кунжута способствует повышению содержания в витамина B_2 в 2,5–2,7 раз, до 40 % увеличивается содержание витаминов B_1 и РР.

Важно отметить, что повышение минеральной и витаминной ценности хлебобулочных изделий, начиная с комбинации 6 % тыквенной и 6 % кунжутной муки, дает основание для перевода изделий в категорию функциональных продуктов питания, поскольку в этом случае включением в ежедневный рацион 100 г таких изделий обеспечивается удовлетворение не менее 15 % от рекомендуемых суточных норм потребления витамина B_1, магния, железа и фосфора.

Таблица 3 – Пищевая ценность хлебобулочных изделий с амарантовой и кунжутной мукой, на 100 г изделий

Наименование компонента	Содержание компонента / Вариант добавления амарантовой (%) + кунжутной муки (%)										
	0 + 0	2 + 2	2 + 4	4 + 2	4 + 4	4 + 6	6 + 4	6 + 6	6 + 8	8 + 6	8 + 8
Макрокомпоненты, г:											
Белки	8,0	8,8	9,1	9,3	9,6	10,0	10,1	10,4	10,8	10,9	11,3
Жиры	2,2	2,4	2,5	2,4	2,6	2,7	2,6	2,7	2,9	2,7	2,9
Углеводы	54,7	53,8	53,5	53,3	53,0	52,6	52,5	52,1	51,8	51,6	51,3
Клетчатка	0,1	0,5	0,8	0,6	0,9	1,2	0,9	1,3	1,6	1,3	1,7
Зола	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,2
Отношение Б : Ж : У	1:0,3:6,8	1:0,3:6,1	1:0,3:5,9	1:0,3:5,7	1:0,3:5,5	1:0,3:5,3	1:0,3:5,2	1:0,3:5,0	1:0,3:4,8	1:0,3:4,7	1:0,3:4,5
Минеральные вещества, мг:											
Натрий	431,4	433,1	433,0	434,4	434,7	435,0	436,1	436,4	436,6	437,7	438,0
Калий	103,2	124,0	135,6	133,3	144,9	156,5	154,1	165,7	177,3	175,0	186,6
Кальций	18,39	52,78	80,52	59,44	87,18	114,91	93,84	121,57	149,31	128,23	155,97
Магний	13,25	26,64	36,48	30,20	40,04	49,88	43,59	53,43	63,27	56,99	66,83
Фосфор	72,27	100,5	117,3	111,9	128,7	145,5	140,1	156,9	173,7	168,3	185,1
Железо	1,00	2,52	2,92	3,65	4,05	4,45	5,17	5,57	5,97	6,69	7,09
Цинк	0,03	0,38	0,68	0,42	0,73	1,03	0,77	1,08	1,38	1,12	1,43
Витамины, мг:											
B_1	0,14	0,28	0,30	0,40	0,42	0,44	0,55	0,57	0,59	0,69	0,71
B_2	0,04	0,15	0,17	0,24	0,26	0,28	0,35	0,37	0,39	0,46	0,48
РР	1,12	1,21	1,32	1,19	1,30	1,41	1,28	1,40	1,51	1,38	1,49

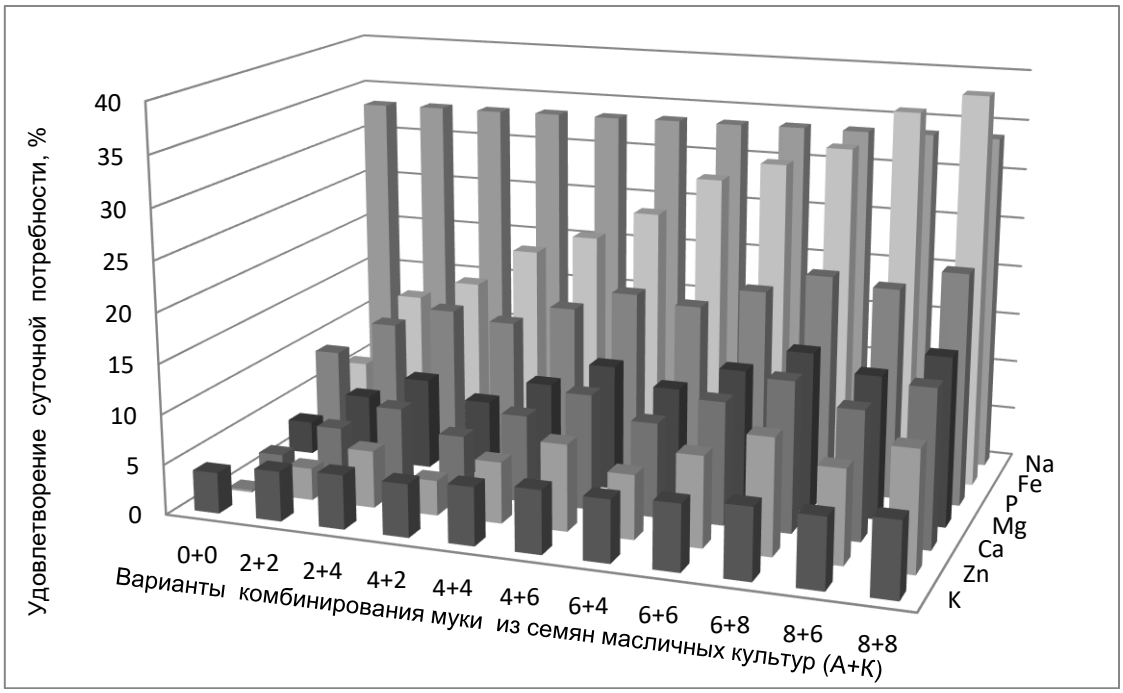


Рисунок 3 – Зависимость степени удовлетворения суточной потребности в основных минеральных элементах от дозировки амарантовой (А, %) и кунжутной (К, %) муки

При ***комбинировании амарантовой и тыквенной муки*** (таблица 2, рисунок 2) наблюдается несколько менее значительное повышение калия, кальция, магния и фосфора, чем в первом из рассмотренных вариантов комбинирования масличной муки. Однако более существенно увеличивается содержание железа – до 3,5–4,5 раз, обеспечивая перевод изделий в категорию функциональных по этому компоненту и фосфору уже с дозировки 4 % тыквенной и 4 % амарантовой муки; основную роль в этом играет вклад амарантовой муки. Одновременно с изменениями в минеральной ценности, увеличивается вклад в пищевую ценность изделий витамина B_1 – до 3,5 раз, и в 5,7–7,5 раз – витамина B_2.

Наиболее значительные изменения в минеральной и витаминной ценности достигаются при комбинировании ***амарантовой и кунжутной муки*** (таблица 3, рисунок 3): амарантовая мука обеспечивает закономерное повышение доли витаминов B_1 и B_2 (рисунок 4), из минеральных веществ на первые места выходят железо и фосфор. С кунжутной мукой в рецептурную массу вносятся кальций и цинк. Как следствие, по этим витаминам, фосфору, железу булочки соответствуют функциональным, начиная с дозировки по 4 % кунжутной и амарантовой муки.

В отношении цинка необходимо отметить следующее. Несмотря на многократное повышение вклада этого компонента в минеральную ценность изделий: в 11–30 раз по сравнению с контрольным значением при комбинировании тыквенной и кунжутной муки, в 5 раз при комбинировании амарантовой и тыквенной муки и в 24–34 раза при комбинировании амарантовой и кунжутной муки, – его доля в биохимическом составе изделий не обеспечивает необходимого минимума для перевода изделий в категорию функциональных по цинку. Однако, учитывая важную роль цинка в синтезе ферментов, его антиоксидантные и другие функции в метаболизме человека, наблюдаемое увеличение его содержания в составе хлебобулочных изделий следует считать одним из важнейших изменений в пищевой ценности изделий при включении в их рецептуру муки из масличных семян.

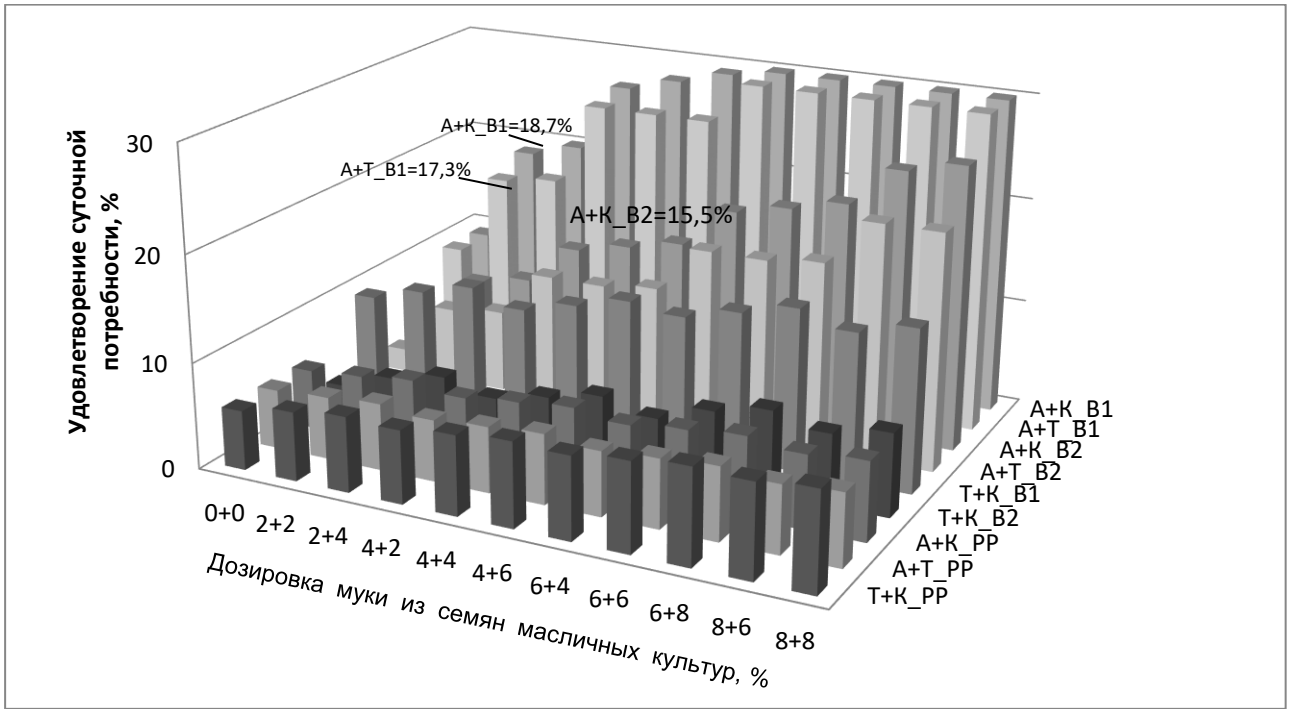


Рисунок 4 – Зависимость степени удовлетворения суточной потребности в основных витаминах группы В от вида и дозировки масличной муки

Можно сделать вывод, что использование муки из семян масличных культур оказывает значительное влияние как на содержание макрокомпонентов, так и на витаминно-минеральную ценность хлебобулочных изделий. Комбинирование тыквенной, кунжутной и амарантовой муки дает возможность повышения содержания пищевых волокон и легкоусвояемых белков при одновременном снижении доли усвояемых углеводов, а витаминно-минеральная ценность изделий обусловлена видами комбинируемой муки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова, О. В. Современное состояние и тенденции развития российского рынка хлеба и хлебобулочных изделий / О. В. Богданова, Л. В. Алексеева, А. А. Петрова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2019. – № 2. – С. 167–174.

2. Krimer-Malešević, V. Pumpkin Seeds / V. Krimer-Malešević // In book: Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. – 2020, Academic Press. – P. 533–542.

3. Lestari, B. A Review: The emerging nutraceutical potential of pumpkin seeds / B. Lestari, E. Meiyanto // Indonesian Journal of Cancer Chemoprevention. – 2018. – V. 9. – № 2. – P. 92–101.

4. Abirached, C. Study of sesame seeds antioxidant and emulsifying properties / C. Abirached, C. Bonifacino, E. Dutto, L. Velazco, F. Jorge // Journal of Supercritical Fluids. – 2020. – V. 166. – 104994, https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104994.

5. Васильева, А. Г. Химический состав и потенциальная биологическая ценность семян тыквы различных сортов / А. Г. Васильева, И. А. Круглова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 5–6. – С. 30–33.

6. Devi, N. M. Physico-chemical characterisation of pumpkin seeds / N. M. Devi, R. V. Prasad, P. Gaibimei // International Journal of Chemical Studies. – 2018. – V. 5. – P. 828–831.

7. Fruhwirth, G. O. Seeds and oil of the Styrian oil pumpkin: components and biological activities / G. O. Fruhwirth, A. Hermetter // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2007. – V. 109. – P. 1128–1140, DOI 10.1002/ejlt.200700105.

8. Dravie, E. E. Antioxidant, phytochemical and physicochemical properties of sesame seed (*Sesamumindicum* L.) / E. E. Dravie, N. K. Kortei, E. K. Essuman, C. O. Tettey // Scientific African. – 2020. – V. 8. – e00349, DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00349.

9. Nzikou, J. M. Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamumindicum* L.) grown in Congo-Brazzaville / J. M. Nzikou, L. Matos, G. Bouanga-Kalouet [et al.] // Advance Journal of Food Science and Technology. – 2009. – V. 1 (1). – P. 6–11.

10. Gins, M. S. Mineral composition of amaranth (*Amaranthus* L.) seeds of vegetable and grain usage by ARHIVBSP selection / M. S. Gins, V. K. Gins, S. M. Motyleva // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2018. – V. 12. – № 1, DOI: https://doi.org/10.5219/863.

11. Егорова, Е. Ю. Потребительские свойства хлебобулочных изделий с добавлением муки из семян тыквы / Е. Ю. Егорова, С. С. Кузьмина // Ползуновский вестник. – 2017. – № 3. – С. 32–36.

12. Кузьмина, С. С. Использование кунжутной муки в технологии булочных изделий / С. С. Кузьмина // Ползуновский вестник. – 2019. – № 2. – С. 12–16.

13. Бондарева, Г. А. Разработка рецептуры хлеба с кунжутной мукой / Г. А. Бондарева, Е. Ю. Егорова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2017. – С. 35–40.

14. Бегеулов, М. Ш. Применение амарантовой муки в хлебопечении / М. Ш. Бегеулов // Хлебопродукты. – 2019. – № 8. – С. 41–45.

15. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий. – М. : Прейскурантиздат, 1989. – 252 с.

16. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина и М. Н. Волгарева. – М. : ВО Агропромиздат, 1987. – 224 с.

17. Шмалько, Н. А. Особенности микроструктуры и химического состава продуктов переработки зерна амаранта / Н. А. Шмалько, И. А. Чалова, Н. А. Моисеенко, Н. Л. Ромашко // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 57–63.

18. Васильева, А. Г. Химический состав и потенциальная биологическая ценность семян тыквы различных сортов / А. Г. Васильева, И. А. Круглова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 5–6. – С. 30–33.

19. Alyemeni, M. Physico-chemical analysis and mineral composition of some sesame seeds (*Sesamumindicum* L.) grown in the Gizan area of Saudi Arabia / M. Alyemeni, A. Y. Basahy, H. Sher // Journal of Medicinal Plants Research. – 2011. – Vol. 5 (2). – P. 270–274.

20. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. – М. : ФЦГЭ Роспотребнадзора, 2009. – 36 с.

21. О нормах физиологических потребностей детей и подростков в основных пищевых веществах и энергии.11.03.2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://02.rospotrebnadzor.ru/content /191/ 27147/ (дата обращения 01.11.2020 г.).

***Захарова Александра Сергеевна**, к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: zakharovatpz @mail.ru.*

***Кузьмина Светлана Сергеевна**, к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: svetlana.politeh @mail.ru.*

***Егорова Елена Юрьевна**, д.т.н., профессор кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: egorovaeyu @mail.ru.*

***Козубаева Людмила Алексеевна**, к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: cosubaeva @mail.ru.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.002
УДК 664.66

ИЗДЕЛИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ЛАМИНАРИЕЙ

Л. Е. Мелёшкина, Ю. Г. Стурова, Ю. Г. Афанасьева

В статье исследуется применение натурального растительного сырья, содержащего в своем составе естественные функциональные пищевые ингредиенты, для выработки хлебобулочных изделий, обогащенных дефицитными в питании нутриентами. Особое значение имеет обогащение состава продукции массового потребления, предназначенной для всех слоев населения, в связи с чем, объектом исследования явился хлеб из смеси пшеничной и ржаной хлебопекарной муки. Доказана возможность использования ламинарии, сушеных фруктов для получения продукции функционального назначения, способствующей нормализации энергетического обмена, синтеза гемоглобина и миоглобина, нормального функционирования щитовидной железы, усиления перистальтики кишечника. Разработанная продукция (массой 100 г) обеспечивает суточную потребность в железе, йоде, β – каротине, пищевых волокнах более, чем на 30 %. Является источником витаминов B_1, PP, а также калия, магния и фосфора, обеспечивая удовлетворение суточной потребности в этих нутриентах более, чем на 15 %. Содержание критических значимых пищевых веществ: жира, добавленного сахара и соли поваренной находится в пределах минимального содержания от установленных норм.

Ключевые слова: пшенично-ржаной хлеб, ламинария, дефицит йода, профилактика неинфекционных заболеваний, функциональные хлебобулочные изделия.

Снижение количества алиментарнозависимых заболеваний посредством здорового питания, увеличение продолжительности здоровой жизни является важнейшей целью национального проекта «Демография».

Исследованиями установлено, что в питании россиян наблюдается нехватка железа у 20 %, йода – у 70 % населения, недостаток 1–2 витаминов – от 57 до 85 % населения [5].

Частично решить проблему дефицита возможно при ежедневном потреблении пищевых продуктов в оптимальном соотношении при калорийности 3000 ккал/сутки, что не представляется возможным, т. к. избыточная масса тела наблюдается у 30 % россиян и суточная калорийность не должна превышать 2000 ккал/сутки [8].

Восполнение недостающих организму человека нутриентов возможно путем регулярного включения в рационы функциональных пищевых продуктов, обогащенных жизненно необходимыми веществами. Также для ряда физиологических состояний необходимы продукты с пониженным содержанием критически значимых для здоровья пищевых веществ (поваренной соли, добавленного сахара и жира), в целом предназначенные для всех категорий потребителей. Таким образом, в соответствии с назначением пищевой продукции и ожидаемыми физиологическими эффектами, которые определены в ГОСТ Р 55577-2013 [2], ТР ТС 022/2011 "Пищевая продукция в части ее маркировки", при проектировании функциональной пищевой продукции применяются технологии как фортификации (обогащения), так и элиминации (выведения). В результате этих изменений современная функциональная пищевая продукция представляет собой сложную поликомпонентную систему с заданным составом и свойствами.

Перспективными видами продукции для обогащения являются изделия хлебобулочные, широко потребляемые всеми слоями населения, имеющие оптимальную стоимость и являющиеся важнейшим доступным источником энергии и биологически активных веществ. Аргументом в пользу обогащения хлебобулочных изделий также могут быть данные Росстата, которые свидетельствуют об избыточном потреблении хлебных продуктов в Алтайском крае – 154 кг в 2019 г. против 116 кг по Российской Федерации при рекомендуемом потреблении 96 кг/год.

Сырьем для хлебобулочных изделий могут стать: семена льна, амаранта, ядро подсолнечника, весьма обширным спектром полезных свойств обладают ламинария, курага, чернослив. Обогащение вышеперечисленными компонентами может представлять особый интерес в плане профилактики йододефицитных состояний, а также профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и заболеваний желудочно-кишечного тракта [9, 10, 11]. Ряд сырьевых источников обладают настолько

биологически ценным составом, что обрели статус «натуральных биокорректоров» [6].

С целью проектирования функциональных хлебобулочных изделий с конкретными ожидаемыми благоприятными физиологическими эффектами был проведен анализ химического состава ламинарии [1, 12], что позволило по ГОСТ Р 55577-2013 определить, по содержанию каких нутриентов рассматриваемое сырье является источником или имеет высокое содержание биологически активных веществ. Так как статус «источник» или объект с «высоким содержанием» присваивается сырью, исходя из степени удовлетворения суточной потребности или конкретного содержания вещества в определенном объеме продукции, была использована информация о средней суточной потребности в витаминах и минеральных веществах, представленная в ТР ТС 022/2011, МР 2.3.1.2432-08 [7]. Результаты оценки содержания функциональных пищевых ингредиентов и физиологических эффектов в ламинарии сушеной представлены в таблице 1.

Стоить отметить, что помимо ценных дефицитных нутриентов питания ламинария сушеная является источником натрия, являющегося критически значимым пищевым веществом, фактором возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, избыточное потребление которого превышает рекомендуемые нормы в питании россиян в несколько раз. Кроме того, изделия хлебобулочные относятся к основным поставщикам поваренной соли (натрия) в организм человека, рецептуры указанных изделий необходимо модифицировать в сторону снижения вносимой соли с учетом особенностей технологических процессов, что было учтено при разработке рецептуры.

Таблица 1 – Содержание функциональных пищевых ингредиентов в ламинарии сушеной

Является источником*	Обеспечивает высокое содержание**	Ожидаемый благоприятный эффект при систематическом потреблении
Калий 970 мг (при суточной потребности 3500 мг)	Магний 170 мг (при суточной потребности 400 мг)	1. Способствует поддержанию нормального состояния костей 2. Способствует нормальному функционированию мышц, включая сердечную мышцу
	Железо 16 мг (при суточной потребности 14 мг)	1. Способствует нормализации энергетического обмена 2. Способствует нормализации синтеза гемоглобина и миоглобина 3. Способствует нормализации транспорта кислорода в организме
	Йод 300 мкг (при суточной потребности 150 мкг)	1. Поддерживает нормальное функционирование щитовидной железы и продукцию тиреоидных гормонов 2. Способствует нормализации когнитивной (познавательной) деятельности

Примечания: Данные в таблице приведены на 100 г

* - Источниками в продукте являются витамины и/или минералы, составляющие не менее 15 % от суточной потребности этих веществ на 100 г.

** - Высокое содержание витаминов и/или минералов обеспечено в продукте, если эти вещества составляют не менее 30 % от суточной потребности на 100 г [2].

В состав образцов пшенично-ржаного хлеба входили: мука пшеничная хлебопекарная первого сорта и обойная, мука ржаная хлебопекарная обдирная, солод ржаной, сахар белый кристаллический, дрожжи хлебопекарные сухие, растительное масло, вода питьевая в расчетном количестве. Также в исследуемые образцы добавляли подготовленное слоевище ламинарии сушеной в диапазоне от 4 г до 16 г с интервалом в 4 г на выход изделия 200 г. Диапазоны внесения определяли на основании анализа таблицы 1 и проектируемого содержания функциональных пищевых ингредиентов в готовой продукции не менее 15 % от суточной потребности. В состав итоговой рецептуры также вошли курага и чернослив.

Общеизвестно, что нормативные требования к массе хлеба установлены на уровне не менее 500 г. Для проведения исследований был выбран мини-формат изделий, что соответствует запросам большинства потребителей. Во многих странах мира нижняя граница веса хлеба отсутствует или состав-

ляет от 230 до 250 г [4]. Кроме того, исследования, проведенные нами в торговых сетях г. Барнаула на предмет соответствия массы хлеба стандартным требованиям, показали, что уже сегодня доля хлеба массой менее 500 г составляет 77 %.

Помимо указанного обстоятельства, немаловажно максимально оградить потребителя от избыточного потребления биологически активных веществ с учетом их поступления в организм из различных источников. Возможно действовать различными способами: указывать ограничения по потреблению в маркировке продукции, снижать массу единицы продукции, что и было осуществлено при выборе массы изделий.

Выработку хлеба осуществляли ускоренным способом, в котором отсутствует стадия приготовления закваски, на стадии замеса теста используются ферменты, пищевые кислоты и другие компоненты, ускоряющие процесс брожения.

Органолептическая оценка показала, что образец с максимальным содержанием ламинарии имеет трещины на корке, что может отрицательно сказываться на соответствии требованиям нормативной документации, но является весьма спорным дефектом в подовых изделиях. Современные тенденции хлебопечения предполагают выработку ремесленного хлеба, востребованного потребителем и визуально отличающего от стандартных изделий наличием трещин, вздутий, мучнистости и других эффектных визуальных признаков.

При дозировке ламинарии от 4 до 12 г по органолептическим характеристикам хлеб представлял собой подовое изделие, округлой формы, со слегка шероховатой поверхностью, коричневого цвета. Мякиш эластичный, слегка влажный на ощупь с включениями ламинарии, кусочков кураги, чернослива. Вкус и запах – свойственные, с привкусом и ароматом применяемых добавок.

Влажность мякиша хлеба с увеличением количества ламинарии до 16 г возрастает до 48,5 %, этот образец слегка влажный на ощупь, что может негативно повлиять на сохранность при хранении продукции.

Кислотность всех образцов достаточно низкая, не превышает 4 град, что связано с применением ускоренного способа производства и вполне соответствует современным тенденциям питания.

Наиболее выражено внесение ламинарии отразилось на пористости изделий. Минимальная пористость 47 % наблюдалась в образце с содержанием ламинарии 16 г, мякиш изделия мякиш изделия уплотненный, пористость не развитая. Остальные образцы имеют пористость от 51 до 58 %.

Полученные результаты позволили установить оптимальную рецептуру образца с содержанием сушеной ламинарии 12 г, выявить регламентируемые предельные уровни физико-химических показателей качества для разработки нормативной документации на продукцию: влажность мякиша не более 49 %, пористость мякиша не менее 50 %, кислотность мякиша – не более 4,5 град.

Представляется целесообразным производство сухой хлебопекарной смеси на основе разработанной рецептуры. Одним из плюсов хлебопекарных смесей является легкость применения и сокращение времени производственного цикла, исключается этап длительного брожения теста. Использование готовой хлебопекарной смеси гарантирует существенное улучшение вкуса и качества готовых изделий, т. к. пропорции ингредиентов такой смеси неоднократно проверены, что дает предсказуемый положительный эффект. Кроме того, с помощью обогащенных смесей достаточно просто корректировать рацион с целью профилактики алиментарно-зависимых заболеваний, что отмечается многими учеными [3]. Простота использования смесей позволяет самостоятельно выпекать хлеб в обычном духовом шкафу или специальной хлебопечке.

Расчет фактического содержания основных пищевых веществ в 100 г продукции и процент обеспечения суточной потребности показал, что разработанная рецептура имеет высокое содержание пищевых волокон (9,1 г на 100 г продукции или 30,3 % суточной потребности), β-каротина (67,4 % суточной потребности), йода (36,3 % суточной потребности), железа (42,2 % суточной потребности).

Кроме того, ржано-пшеничный хлеб с ламинарией обеспечивает суточную потребность в магнии – на 24,5 %, в фосфоре на 23,4 %, в калии – на 17,8 %,в тиамине – на 17,1 %, в ниацине – на 15,5 %, т. е. является источником указанных веществ.

В соответствии с [8] рекомендовано выносить на этикетку пищевой продукции цветовую индикацию в зависимости от содержания в данном продукте таких веществ, как соль, сахар и жир.

Разработанный пшенично-ржаной хлеб с ламинарией содержит следующие количества критических значимых веществ (таблица 2).

Таблица 2 – Цветовая индикация хлеба пшенично-ржаного с ламинарией, курагой и черносливом

Вещество	Содержание, г на 100 г			
	Установленные нормы			Фактическое значение
	Зеленая (низкий)	Желтая (средний)	Красная (высокий)	
Жиры	менее 3	3–18	18 и более	2,8 (зеленая)
Сахар добавленный	менее 5	5–22	22 и более	4,3 (зеленая)
Соль поваренная	менее 0,3	0,3–1,2	1,2 и более	1,1 (желтая)

Данные таблицы свидетельствуют о том, что ржано-пшеничный хлеб с ламинарией может маркироваться по соли желтым, по сахару и жиру зеленым цветом. Это говорит о безопасности данной продукции в отношении потребления указанных веществ.

Таким образом, разработанный хлеб является продукцией функционального назначения, обеспечивающей при систематическом потреблении следующие физиологические эффекты: способствует нормализации энергетического обмена, синтезу гемоглобина и миоглобина, усилению перистальтики кишечника, поддерживает нормальное функционирование щитовидной железы и обеспечивает ряд других эффектов.

Работа выполняется в рамках госзадания Минобрнауки РФ (государственное задание № 075-00316-20-01 от 21.02.2020; мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благонравова, М. В. Разработка технологии хлебобулочных изделий с добавлением бурых водорослей / М. А. Благонравова, О. В. Мищенко // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2015. – № 2 (74). – С. 90–103.

2. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности: национальный стандарт : дата введения 2015-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 16 с.

3. Егушова, Е. А. Технологические аспекты производства хлеба функционального назначения // Е. А. Егушова, О. Г. Позднякова // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 12. – С. 90–93.

4. Иунихина, В. С. Обзор терминологии на хлеб и хлебобулочные изделия в России и за рубежом // В. С. Иунихина, А. С. Маслова, Е. М. Люнина // Хлебопродукты. – 2018. – № 5. – С. 26–29.

5. Коденцова, В. М. Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987–2017 гг. // В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. – № 4. – С. 62–68.

6. Манжесов, В. И. Натуральные биопротекторы для функциональных продуктов питания / В. И. Манжесов, Т. Н. Тертычная, В. Л. Пащенко // Пищевая промышленность. – 2017. – № 11. – С. 56–59.

7. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : [утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 18 декабря 2008 г.]. – URL : https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 (дата обращения: 27.10.2020).

8. МР 2.3.0122-18. Цветовая индикация на маркировке пищевой продукции в целях информирования потребителя : [утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека – Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А. Ю. Поповой 28.02.2018.]. – URL : https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/f17/mr-2.3.0122_18-svetofornaya-markirovka.pdf (дата обращения: 27.10.2020).

9. Ребезов, М. Б. О возможности обогащения хлебобулочных изделий функциональными ингредиентами / М. Б. Ребезов, Н. Л. Наумова, М. Ю. Кофанова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1. – С. 2–4.

10.Смертина, Е. С. Новые хлебобулочные изделия функционального назначения / Е. С. Смертина, Т. К. Каленик, Л. Н. Федянина // Вестник ТГЭУ. – 2009. – № 3. – С. 53–59.

11.Соловьева, Е. А. Обогащение хлебобулочных изделий функциональными пищевыми ингредиентами / Е. А. Соловьева // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 62–64.

12.Хаматгалеева, Г. А. Разработка рецептуры и технологии производства хлеба с добавлением ламинарии, амарантовой, овсяной и рисовой муки / Г. А. Хаматгалеева // Современная наука и инновации / Северо-Кавказский федеральный университет. – 2017. – № 2 (18). – С. 120–126.

Мелёшкина Лариса Егоровна, *к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания» АлтГТУ. E-mail: meleshkina_le @mail.ru.*

Стурова Юлия Геннадьевна, *к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания» АлтГТУ. E-mail: y_sturova@mail.ru.*

Афанасьева Юлия Геннадьевна, *магистрант гр. 8ТОП-91 АлтГТУ. E-mail: yuliya.afanaseva.9718@mail.ru.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.003
УДК 664.71

НОВЫЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА МУКИ

Д. Н. Протопопов, В. А. Шкарпетко, Л. А. Козубаева, С. С. Кузьмина

Повышение технико-экономических показателей работы – важная проблема любого предприятия. В связи с этим, внедрение в технологическую схему производства муки высокоэффективного дезинтегратора – задача весьма актуальная. В статье приводится теоретическое обоснование целесообразности использования дезинтегратора в схеме производства пшеничной муки с целью повышения эффективности технологического процесса и направленного изменения свойств готовой продукции. Установлено, что применение дезинтегратора на первом этапе размольного процесса способствует повышению выхода пшеничной муки высшего сорта, а также значительному сокращению вальцовой линии и общей просеивающей поверхности в размольном отделении. Представлены результаты изменения физико-химических показателей качества муки, полученной с применением дезинтегратора при различных режимах вращения его рабочих органов. Разные режимы механоактивации позволяют получить готовый продукт с заданными потребительскими свойствами, готовый к применению без процессов отлежки и созревания. Показано, что механоактивация размалываемых в дезинтеграторе продуктов способствует увеличению содержания в муке сырой клейковины на 4–5 % при одновременном ее укреплении.

Ключевые слова: дезинтегратор, механоактивация, качество муки, вальцовый станок, эффективность измельчения.

На каждом производственном предприятии стоят задачи повышения технико-экономических показателей, снижения фондоемкости и повышения фондоотдачи.

На зерноперерабатывающем предприятии, если говорить о производственном процессе, основная цель – при разумном минимуме эксплуатационных затрат и затрат на приобретение оборудования в результате проведения реконструкции или технического перевооружения добиться максимально возможного выхода готовой продукции наивысшего качества.

Известно, что в размольных отделениях мукомольных заводов для получения муки предусматриваются следующие процессы: драной, ситовеечный, шлифовочный, размольный, вымольный, формирования и контроля готовой продукции [1, 2].

Рассмотрим размольный процесс. Первый этап размольного процесса, включающий обычно три размольные системы, предназначен для получения муки высшего сорта. Второй этап размольного процесса, включающий до четырех систем, предназначен для получения муки высшего и первого сортов. Третий этап размольного процесса, включающий до 5 ÷ 6 систем, предназначен для получения муки первого и второго сортов.

На первом этапе размольного процесса каждая система состоит из отдельных или сгруппированных блоков. Блок – это пара так называемых «гладких» мелющих валов, энтолейтор и секция рассева. Системы размольного процесса второго и третьего этапов состоят из блоков: пара «гладких» мелющих валов, деташер и секция рассева, или пара «нарезных» мелющих валов и секция рассева [3].

На первом этапе размольного процесса в составе каждого блока присутствует энтолейтор – доизмельчитель крупок и дунстов, устанавливаемый обязательно только после пары мелющих валов и внедряемый на предприятиях с середины 80-х гг. XX в.

Энтолейтор применяется на первом этапе размольного процесса, где измельчаются промежуточные продукты помола с наименьшими показателями зольности. Задача энтолейтора – увеличить выход муки высоких сортов путем разрушения оставшихся «крупных» частиц эндосперма зерна пшеницы после прохождения пары мелющих валов размольной системы. При этом «крупные» частицы эндосперма, поступающие в энтолейтор, должны быть подготовлены к доизмельчению. При прохождении пары мелющих валов в недоизмельченных частицах образуются микротрещины, способствующие дальнейшему разрушению частиц при механическом воздействии на них.

При прохождении «подготовленных» к доизмельчению частиц через энтолейтор происходит их доизмельчение до размеров 140 ÷ 180 мкм, чтобы их (частицы) можно было назвать мукой (проход сит №45/50 ПА до 140 мкм, иногда проход сит № 41/43 – 36/40 ПА до 160 ÷ 180 мкм). Измельчение в энто-

лейторе происходит в условиях свободного и стесненного ударов. Извлечение (выход муки) на размольной системе, оборудованной энтолейтором, составляет 50 ÷ 63 % от количества продукта, поступившего на систему. При этом вальцовый станок обеспечивает 25 ÷ 27 %, а энтолейтор – остальные 25 ÷ 38 % извлечения. Разброс в показателях до 13 % в работе энтолейтора обусловлен конструктивными особенностями различных производителей.

Особенности эксплуатации размольных систем, оборудованных энтолейторами:

1) при попытке увеличения извлечения на вальцевом станке свыше 25 ÷ 27 %, в потоке продукта, поступающего на энтолейтор, присутствует излишнее (для дальнейшего доизмельчения) количество муки, т. е. – рыхлого продукта, препятствующего разрушению недоизмельченных частиц. В этом случае извлечение на системе все равно не увеличивается. Следует заметить, что в результате прижатия валов пропорционально увеличивается количество потребляемой вальцевым станком электроэнергии;

2) энтолейтор без применения вальцевого станка перед ним обеспечивает извлечение 10÷ 15 %.

Таким образом, на сегодняшний день актуальна задача разработать и применить высокоэффективный измельчитель крупок и дунстов для использования на первом этапе размольного процесса, в котором выделяется до 95 % общего количества муки высшего сорта в размольном отделении.

Вариантом решения задачи по применению высокоэффективного измельчителя, работающего независимо от вальцового станка, может являться использование дезинтегратора. Дезинтеграторы находят широкое применение в разных областях народного хозяйства [4–8, 10].

Использование дезинтегратора позволяет при изменении скоростей вращения рабочих дисков оказывать влияние на потребительские свойства муки [9].

Так как наибольшее количество низкозольного продукта, из которого получают муку высшего сорта, поступает на первую систему первого этапа размольного процесса, а на каждую последующую систему поступает недоизмельченный продукт с предыдущей системы, «идеальным» вариантом является использование интенсивного измельчителя, превращающего в муку весь поток продукта, направляемого на первую систему первого этапа размольного процесса и работающего независимо от вальцового станка. Дисперсный состав продукта размола проиллюстрирован рисунками № 1 и № 2.

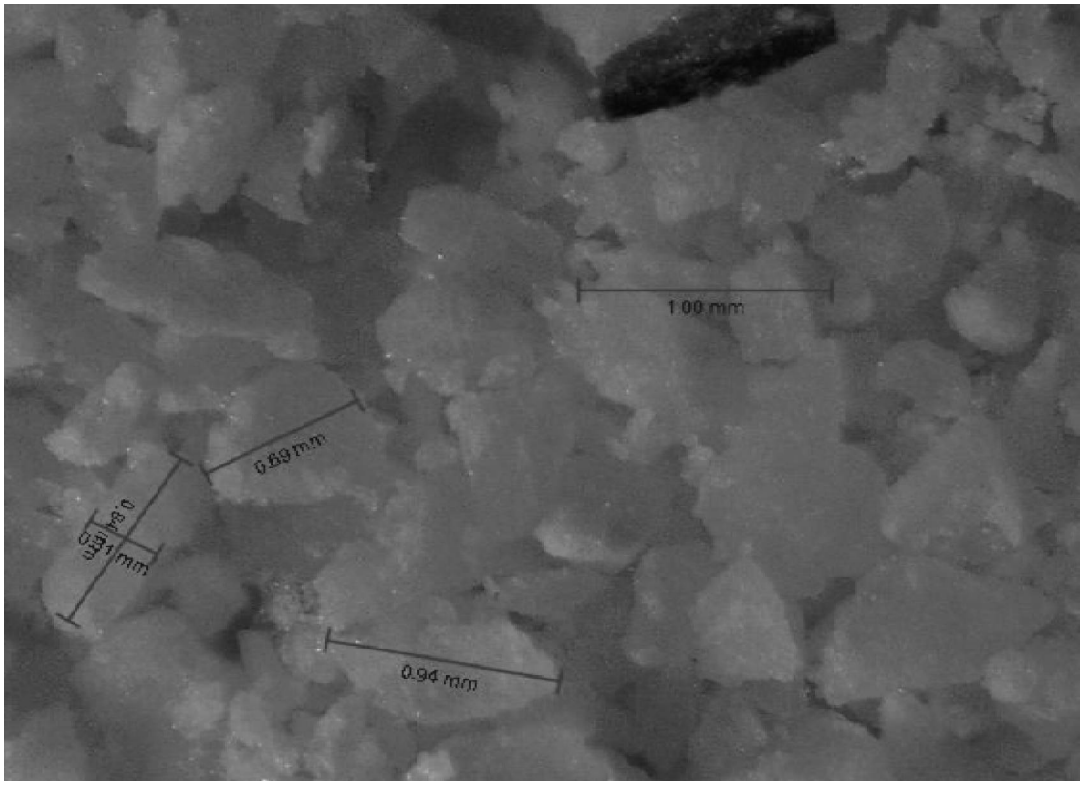


Рисунок 1 – Продукт, поступающий на 1-ую размольную систему

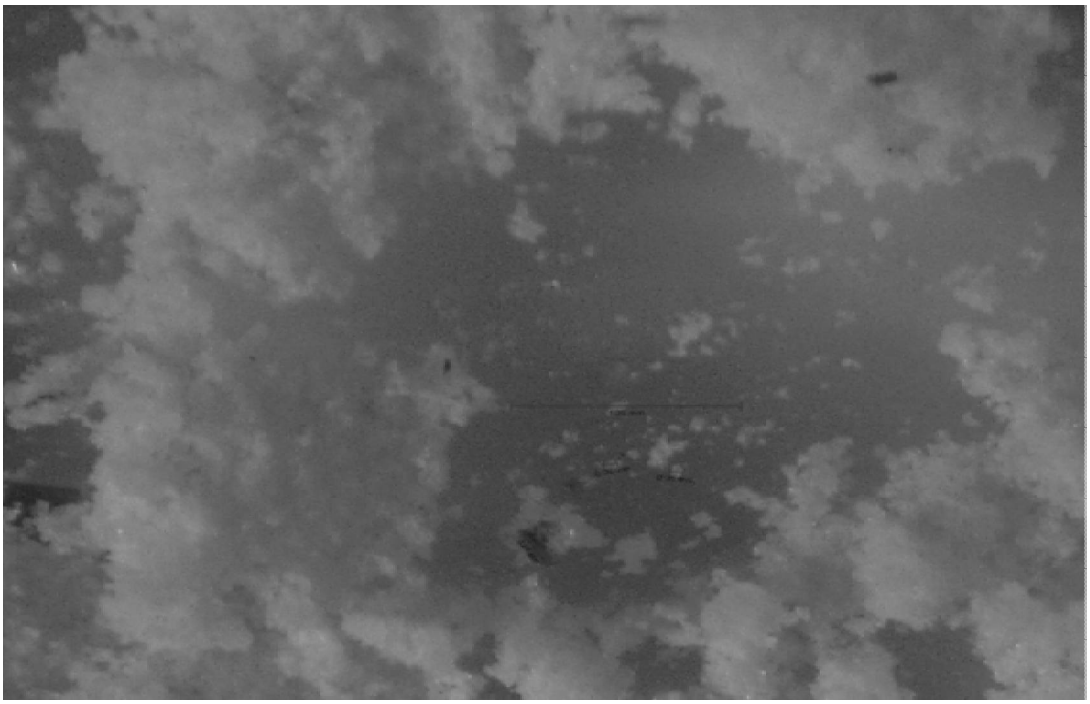


Рисунок 2 – Продукт 1-й размольной системы после измельчения в дезинтеграторе

Но на этом пути повышения эффективности процесса возможны два противопоказания.

Во-первых, усредненная зольность продукта, поступающего на первую систему первого этапа размольного процесса выше требуемой для муки высшего сорта;

Во-вторых, к новым способам интенсивного измельчения следует подходить осторожно с точки зрения возможного изменения качественных показателей муки, в частности показателей качества клейковины.

Высокоэффективный измельчитель крупок и дунстов также необходим для применения на втором этапе размольного процесса, где в общем потоке продукта, поступающего на первую систему, основную часть составляет недоизмельченный продукт из первого этапа, смешанный с более зольными потоками с III–IV драных систем и со сходовыми продуктами первого этапа.

Следовательно, из такой смеси получается продукт зольностью выше, чем мука, полученная на первом этапе размольного процесса.

В свою очередь, на третий этап размольного процесса поступает недодоизмельченный продукт второго этапа, смешанный с продуктами более высокой зольности, из вымольного процесса и с продуктами с последней, V драной системы.

Вариантом решения задачи по применению высокоэффективного измельчителя, работающего независимо от вальцового станка, может являться использование дезинтегратора, позволяющего при изменении скоростей вращения рабочих дисков оказывать влияние на потребительские свойства муки.

Применение дезинтегратора предполагается в следующих местах технологической схемы производства муки:

- на первом этапе размольного процесса в потоке после рассева второй размольной системы (второй сход, направляемый на третью размольную систему) или в потоке после третьей размольной системы (первый и второй сходы, направляемые на четвертую размольную систему, которая является начальной на втором этапе размольного процесса);

- на втором этапе размольного процесса в потоке после рассева четвертой размольной системы (второй сход, направляемый на пятую размольную систему).

Места установки дезинтегратора обусловлены однородностью продукта, из которого не удалось получить муку по традиционной схеме.

Помимо решения технологической задачи – увеличение отбора низкозольной муки на первом и втором этапах размольного процесса, происходит снижение нагрузки на последующее за дезинтегратором оборудование, что облегчает режимы работы вальцовых

станков и уменьшает энергоемкость производства.

На основании соответствующих технологических расчетов при выполнении проектов реконструкции или техперевооружении предприятий с использованием дезинтеграторов возможно значительное сокращение вальцовой линии и общей просеивающей поверхности в размольном отделении.

Эффективность измельчения и изменение качественных показателей клейковины при получении муки в технологических схемах с использованием дезинтеграторов, представлены в протоколах испытаний на различных режимах вращения рабочих органов дезинтегратора.

Результаты испытаний качества муки, полученной при включении дезинтегратора в технологическую схему ее производства, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества муки

Наименование показателя	Значение показателя			
	Максимальная относительная скорость движения рабочих органов дезинтегратора, м/с			
	исходный образец	150	200	250
Количество клейковины, %	22,0 ± 1,4	27,0 ± 1,4	26,0 ±1,4	26,0 ± 1,4
Качество клейковины, ед. ИДК	77,0 ± 3,6	72 ± 3,6	73 ± 3,6	71 ± 3,6
Крупность, остаток на сите 45/50ПА, %	42,0 ± 0,7	44,0 ± 0,7	31,0 ± 0,7	22,0 ± 0,7

Как видно из таблицы, в результате механоактивации количество клейковины в муке заметно возрастало на 4–5 % по сравнению с исходной мукой. При этом наблюдалось укрепление клейковины, хотя она и оставалась в той же группе качества.

Различные режимы механоактивации, которой подвергается мука в дезинтеграторе позволяют получить готовый продукт с заданными потребительскими свойствами, готовый к применению без процессов отлежки и созревания. Использование механоактивации при производстве муки дает возможность получать различные **типы** муки для хлебопекарного, макаронного, слоеного и песочного теста. Наступает пора на ряду с термином сорт муки использовать термин **«тип муки».**

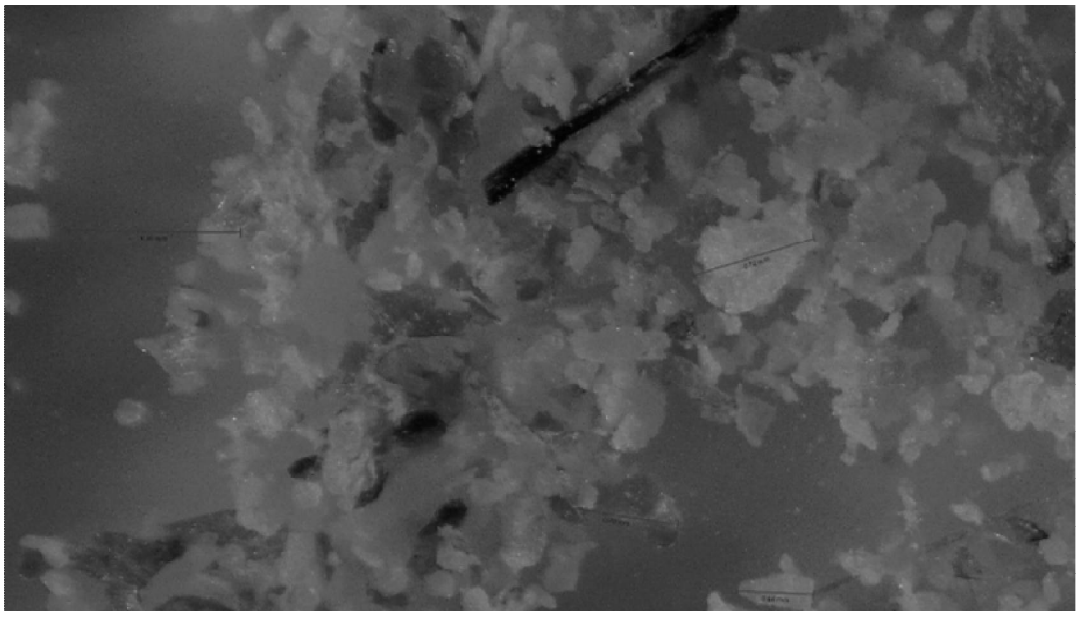


Рисунок 3 – Продукт, поступающий на последнюю размольную систему

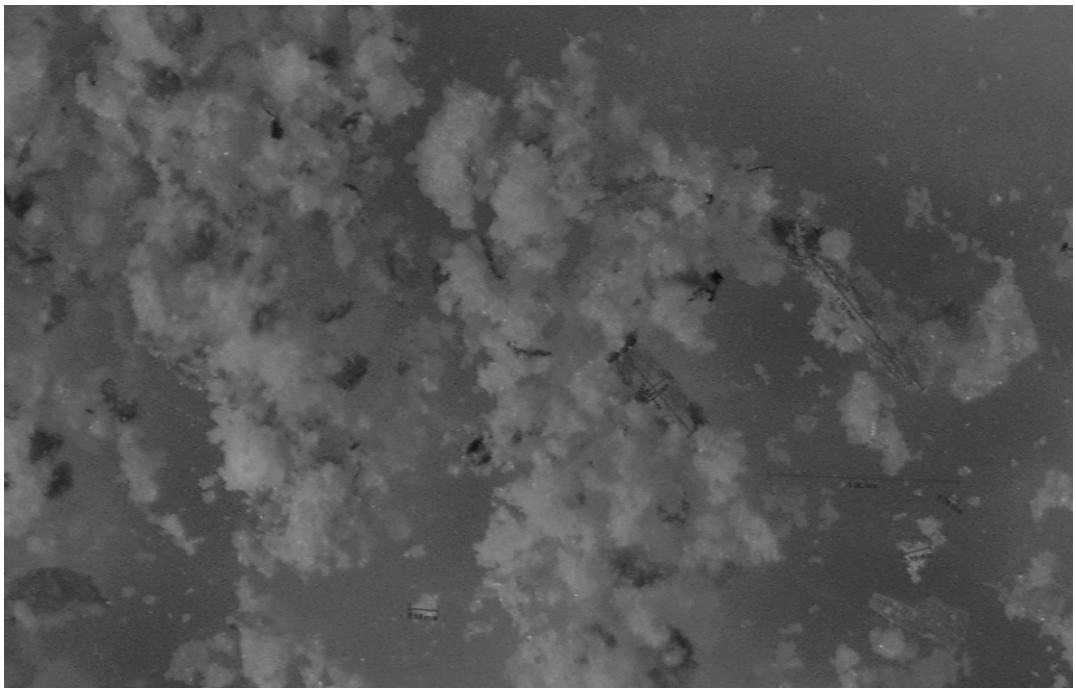


Рисунок 4 – Продукт последней размольной системы после измельчения дезинтегратором

Некоторые предприятия уже имеют опыт применения дезинтеграторов, установив их на измельчение продукта, который можно назвать «мучка кормовая» (рисунки 3, 4), а именно, в поток второго схода с последней размольной системы и добившись положительных результатов в части повышения общего выхода размольного отделения.

Установка дезинтегратора на этот поток продукта сглаживает недостатки работы размольного отделения (промола), возникающие по причине неудовлетворительной работы оборудования или неэффективной организации процесса в размольном отделении.

Таким образом, установка дезинтегратора позволяет решить ряд технологических задач связанных не только с получением продукта высшего качества, но повышения эффективности производства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафин, М. М. Измельчение зерна и промежуточных продуктов / М. М. Гафин // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина. – 2014. – № 13. – С. 67–72.

2. Егоров, Г. А. Технология муки. Технология крупы : учеб. пособие для студентов вузов / Г. А. Егоров. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : КолосС, 2005. – 303 с.

3. Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах ; ч.1, 2. – М. : Производственно-издательский комбинат ЦНИИТЭИ хлебопродуктов. – 1991.

4. Лапшин, В. Б. Применение дезинтегратора в различных технологиях / В. Б. Лапшин, М. Ю. Колобов, В. В. Колобов, А. В. Рязанцева // Известия высших учебных заведений. Серия : Химия и химическая технология. – 2004. – Т. 47. – № 8. – С. 71–75.

5. Дезинтегратор для измельчения твердых сыпучих веществ / С. А. Попов, В. Е. Нечесов, И. И. Ивашкин, В. В. Воронцов : под общей редакцией Б. Х. Гайтова // Технические и технологические системы : материалы седьмой международной научной конференции «ТТС-15». ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет». – 2015. – С. 79–83.

6. Семиколенко, И. А Дезинтегратор с эффективной камерой помола / И. А. Семиколенко, В. П. Воронов, П. П. Пензев // Известия высших учебных заведений : Строительство. – 2010. – № 8 (620). – С. 83–88.

7. Титов, В. А. Исследование процессов измельчения материалов в дезинтеграторе / В. А. Титов, Е. В. Остроглядова, Н. В. Мерзликина // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 12 (39). – С. 161–164.

8. Хинт, Й. А. УДА-технология: проблемы и перспектива [Электронный ресурс] / Й. А. Хинт. – Таллин : Валгус, 1981 – 36 с – Режим доступа : http://www.tpribor.ru/hint4.html, загл. с экрана.

9. Кузьмина, С. С. Влияние механоактивации на технологические свойства муки / С. С. Кузьмина, Л. А. Козубаева, Д. Н. Протопопов // Ползуновский вестник. – 2017. – № 2. – С. 41–44.

10. Golik, V. Sustainable development ofmining processes based on mechanochemical leaching of ore / V. Golik, Y. Razorenov, V. Morkun, N. Morkun, V. Tron // International Conference on Sustainable

Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, ICSF 2020. – 2020. – P. 03004 – DOI: 10.1051/e3sconf/202016603004/.

Протопопов Дмитрий Николаевич, к.т.н., *доцент кафедры машины и аппараты пищевых производств ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: dnprotopopov @mail.ru.*

Шкарпетко Виктор Анатольевич, *ведущий инженер АПО «Алтайзернопроект» АлтГТУ, e-mail: altaizernoproekt@mail.ru.*

Козубаева Людмила Алексеевна*,* к.т.н., *доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: cosubaeva @mail.ru.*

Кузьмина Светлана Сергеевна*, к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: svetlana.politeh @mail.ru.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.004
УДК 664.7

СУХИЕ БЕЗГЛЮТЕНОВЫЕ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРЕЧИХИ И АМАРАНТА ДЛЯ ДЕТЕЙ СТАРШЕ ТРЁХ ЛЕТ С НЕПЕРЕНОСИМОСТЬЮ ГЛЮТЕНА

С. А. Урубков, С. С. Хованская, С. О. Смирнов

Диетотерапия является одним из основ лечения органов пищеварения. Распространенность непереносимости глютена превышает уровень заболевания целиакии и примерно оценивается в 6 % от общей численности населения. Соблюдение безглютеновой диеты напрямую влияет на эффективность лечения непереносимости глютена. Из-за ограниченного ассортимента рекомендуемых продуктов и блюд безглютеновая диета нередко нарушается, особенно больными детского возраста. В связи с этим актуальна разработка новых видов специализированной безглютеновой продукции, позволяющей расширить рацион питания больных с непереносимостью глютена. Данное исследование посвящено созданию композиций сухих безглютеновых смесей с использованием гречихи и амаранта с включением плодовоовощного и ягодного сырья, предназначенных для питания детей старше трёх лет с непереносимостью глютена. При разработке композиций использовали различные комбинации гречневой и амарантовой муки, а также плодово-ягодных и овощных порошков. Содержание гречневой муки изменялось в диапазоне от 15 до 75 %, амаранта от 15 до 50 %, плодовоовощных и ягодных порошков не превышало 10 %. Сухие безглютеновые смеси использовали для приготовления кексов из гречихи и амаранта. Органолептическая оценка показала, что полученные образцы безглютеновых кексов имеют хорошие качественные характеристики, имеют приятный вкус и аромат. Согласно расчётным данным, специализированные кексы, приготовленные из сухих безглютеновых смесей, предназначенных для детей старше трёх лет с непереносимостью глютена, могут служить важным источником углеводов (от 35,04 до 36,87 г/100г готовой продукции), растительного белка (от 8,58 до 9,51/100 г готовой продукции), пищевых волокон (от 3,47 до 4,18/100 г готовой продукции), а также энергии (от 212,5 до 301,3 ккал/100 г готовой продукции). Разработанные композиции сухих безглютеновых смесей и продукция из них могут способствовать обеспечению детей адекватным количеством пищевых веществ и энергии.

Ключевые слова: амарант, безглютеновая продукция, гречиха, зерновые смеси, непереносимость глютена, продукты детского питания на зерновой основе, сбалансированная диета.

ВВЕДЕНИЕ

До конца XX в. целиакия считалась крайне редким заболеванием, и поэтому долгое время не были изучены этимология и патогенез заболевания. Важным этапом в диагностике и лечении данного заболевания стало открытие высокочувствительного маркера, которое сделало возможным проведение массового скрининга среди населения, результаты которого показали, что считавшееся ранее довольно редким заболеванием исключительно детского возраста, является одним из самых распространённых генетически детерминированных состояний. За 10 лет диагностики целиакия стала распространённым заболеванием во всем мире, распространенность которого неуклонно растёт и в настоящий момент составляет 1–2 % мирового населения [1, 2].

Недавние исследования показали, что распространенность непереносимости глютена гораздо выше, чем общепринятый уровень заболевания целиакии (1–2 %), и по грубым подсчетам оценивается в 6 % от общей численности населения [3, 4]. Реальное число страдающих непереносимостью глютена может быть гораздо больше, поскольку выявление данного заболевания по-прежнему остаётся достаточно сложным.

Единственным способом лечения непереносимости глютена является строгая пожизненная диета. Токсическое действие глютена на организм не ослабевает при обработке белков: денатурации или ферментативного гидролиза до пептидов, вследствие чего принципиально важным является отказ от продуктов на основе таких традиционных культур, как пшеница, рожь, овёс, ячмень и др., а также продуктов, которые содержат «скрытый» глютен, используемых в составе пищевой добавки в процессе производства. Эффективность лечения напрямую зависит от соблюдения пациентом безглютеновой диеты, которая нередко нарушается вследст-

вие ограниченного ассортимента рекомендуемых продуктов и блюд, особенно больными детского возраста [5, 6].

За счет снижения поступления продуктов на зерновой основе у детей часто наблюдаются дефицит белков и жиров растительного происхождения, пищевых волокон (клетчатки), а также витаминов группы В и таких важных минеральных элементов, как калий, магний, селен и др. Недостаток потребления данных веществ вызывает нарушения физического развития ребёнка [6, 7].

Рисовая и кукурузная мука является основными ингредиентами в производстве безглютеновой зерновой продукции по всему миру, из них производится более 85 % всей продукции. Продукция из данных культур обладает высокой энергетической ценностью, но имеет низкое содержание полноценного белка, полиненасыщенных жирных кислот, макро- и микроэлементов, пищевых волокон. Гречиха также является безглютеновой культурой широко применяемой в России, однако ассортимент безглютеновой продукции с использованием гречневой муки весьма ограничен.

Таким образом, задачей исследования является не только расширение ассортимента продуктов с приемлемым уровнем глютена (менее 20 мг/кг), но также улучшение их питательных свойств за счет обеспечения сбалансированности рациона по всем заменимым и незаменимым пищевым веществам. Эту задачу возможно решить, используя в составе разрабатываемых продуктов гречиху, а также нетрадиционное для России сырьё – амарант.

Гречиха не содержит глютен, характеризуется высокой пищевой и биологической ценностью, является источником растительного белка, липидов, пищевых волокон и витаминов В1, В2, РР, В6, Е, фолацина и холина, а также минеральных веществ, магния, калия, железа, меди и др. [9].

Белок амаранта не содержит глютен, при этом количество белка примерно на 30 % выше, чем у традиционных зерновых культур. Белок амаранта богат незаменимыми аминокислотами: лизином, изолейцином, метионином, треонином, триптофаном, лейцином, содержание которых в несколько раз превышает их количество в пшенице, рисе, овсе и кукурузе. Амарант является богатым источником липидов, β-каротина, витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон. Для амаранта характерно высокое содержание таких минеральных веществ, как калий, магний, селен. Кроме того, мировые исследования относят амарант к источнику биологически активных соединений, обладающих антиоксидантными и антимикробными свойствами, а также антидиабетическими, антигиперлипидемическими и антигиперхолестеринемическим эффектами [10, 11].

Цель настоящего исследования – разработка сухих безглютеновых смесей для приготовления кексов на основе гречихи и амаранта с добавлением плодовоовощных и ягодных порошков предназначенных для детей старше трёх лет с непереносимостью глютена.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном исследовании применялась мука амарантовая 1 сорт ТУ 9293-004-77872064-2011, сорт «Воронежский», Воронежская обл.; крупа гречневая непропаренная (нативная) по ТУ 1061.32-004-06861298-2018 (Сорт 1), Алтайский край; крупа гречневая ядрица быстроразвариваемая (пропаренная) ТУ 9294-004-31737421-05 (Сорт 1), Алтайский край.

Мука из гречневой крупы вырабатывалась путём измельчения на лабораторной мельнице (Retsch ZM-1) по технологии помола сортовой муки из крупяных культур. Крупность получаемой муки контролировали ситами № 045 по ТУ14-4-1374 (остаток не более 5 %) и № 43 ПА-70 по ГОСТ 4403 (проход не менее 50 %) ТУ 9293-005-00932169-96.

Плодовоовощное и ягодное сырьё применялось в сушёном виде: целыми ягодами – клюква сушеная (ГОСТ 32896-2014 Фрукты сушеные) и в виде мелкодисперсных порошков – свекольного, яблочного, клюквенного (согласно ТУ 9164-001-38196649-2013 Порошки полидисперсные овощные и фруктово-ягодные).

Дополнительные компоненты: соль пищевая – ГОСТ Р 51574-2018; сахар-песок – ГОСТ 33222-2015 Сахар белый; кислота лимонная безводная Е330 ГОСТ 31726-2012 Добавки пищевые; сода пищевая ГОСТ 32802-2014 Добавки пищевые. Натрия карбонаты Е 500.

При приготовлении кексов из специализированных сухих смесей применяли яйца куриные пищевые ГОСТ 31654-2012.

Смешивание компонентов при приготовлении сухих безглютеновых смесей, а также замес теста осуществляли в лабораторном миксере Gastromix B5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При разработке композиций использовали различные комбинации муки из пропаренной и нативной гречневой крупы и амаранто-

вой муки, с внесением натуральных плодово-ягодных и овощных порошков, а также сушеной клюквы. Содержание гречневой муки в составе изменялось в диапазоне от 15 до 75 %, амаранта от 15 до 45 %, плодовоовощных и ягодных порошков до 10 %.

Данные об ингредиентном составе разработанных специализированных сухих безглютеновых композиций для питания детей старше трёх лет с непереносимостью глютена представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Ингредиентный состав сухих безглютеновых композиций для питания детей старше трёх лет с непереносимостью глютена

№ п/п	Наименование продукта	Ингредиентный состав
1	Композиция № 1. Сухая смесь для приготовления кексов с гречихой и амарантом	Мука из нативной гречневой крупы, амарантовая мука
2	Композиция № 2. Сухая смесь для приготовления кексов с гречихой и амарантом	Гречневая мука (пропаренная), амарантовая мука
3	Композиция № 1. Сухая смесь для приготовления кексов с гречихой и амарантом «Кекс свекольный»	Мука из нативной гречневой крупы, амарантовая мука, яблочный порошок, свекольный порошок
4	Композиция № 2. Сухая смесь для приготовления кексов с гречихой и амарантом «Кекс с клюквой»	Мука из нативной гречневой крупы, амарантовая мука, яблочный порошок, клюквенный порошок, клюква сушёная

На рисунке 1 представлены образцы выпеченных изделий с использованием сухих безглютеновых смесей гречневой муки и амаранта с добавлением плодовоовощного и ягодного сырья.



I II III IV

Рисунок 1 – Кексы на основе безглютеновых смесей из гречихи и амаранта:
I – композиция № 1; II – композиция № 2; III – композиция № 3; IV – композиция № 4

Необходимо отметить, что при замесе теста значительно ощущалась разница в свойствах используемого сырья. Так, в композиции № 2 с применением муки из пропаренной гречневой крупы тесто плохо перемешивалось и тяжело взбивалось в отличие от композиции № 1, где применялась мука из нативной гречневой крупы. В дальнейшем это повлияло на качество выпеченного изделия – мякиш остался плотным и непропеченным (рисунок 1, обр. II). Вероятно, причиной этому стала более высокая влагопоглотительная способность муки из пропаренной гречихи – в 1,5–1,7 раз выше, чем у нативной. Это обусловлено изменением свойств крахмала и белка крупы при термической обработке на предприятии [12].

Размер частиц муки определяет ее поверхностные свойства, участвует в формировании свойств теста и готовой продукции. Проведённый ситовой анализ крупности гречневой муки (таблица 2) показал, что среднеэквивалентный размер частиц (dэкв) нативной муки больше, чем (dэкв) пропаренной муки, что также повлияло на качество теста и выпеченного изделия.

Таблица 2 – Различие в крупности частиц пропаренной и непропаренной гречневой муки

Наименование	Крупность помола, %	
	Остаток на сите, не более (из проволочной сетки № 045)	Проход через сито, не менее (из полиамидной ткани N 43 ПА-70)
Мука из нативной гречневой крупы	1,5	60,0
Мука из пропаренной гречневой крупы	0,5	75,0

Различие размеров частиц обусловлено снижением прочности связей крахмала и белка в результате пропаривания крупы, результатом последующего измельчения является мука с меньшим гранулометрическим составом.

Тесто, приготовленное из смесей по композициям № 3 и № 4, было схоже по своим свойствам с тестом из композиции № 1. Однако стоит отметить, что вносимые плодоовощные порошки также увеличивали вязкость и плотность теста.

Включение даже небольшого количества плодоовощных порошков или сушёных ягод (до 10 %) в рецептуры продуктов способно обеспечить ребенка необходимыми питательными и биологически активными веществами, такими как природные сахара, пектиновые вещества, пищевые волокна, органические кислоты, антоцианы и каратиноиды. В кексах из композиции № 3 не ощущалось характерного вкуса добавленных порошков яблока и свеклы, а в кексах из композиции № 4 ярко чувствовался ягодный вкус.

Результаты органолептической оценки образцов кексов, полученных из сухих безглютеновых смесей для питания детей старше трёх лет с непереносимостью глютена, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты органолептической оценки образцов безглютеновых кексов

Наименование	Композиция № 1	Композиция № 2	Композиция № 3	Композиция № 4
Форма	Круглая, равномерная по толщине без вздутий, без повреждений края	Неравномерная по толщине без вздутий	Круглая, равномерная по толщине без вздутий, без повреждений края	Круглая, равномерная по толщине без вздутий, без повреждений края
Поверхность	Ровная, без трещин	Неровная	Шероховатая, без трещин	Шероховатая, без трещин
Цвет	Равномерный светло-коричневый, с кремовыми вкраплениями	Равномерный коричневый, с кремовыми вкраплениями	Равномерный коричневато-красный	Равномерный светло-коричневый, с кремовыми вкраплениями
Вид на разрезе	Пропеченное по всему объему, наличие пустот, мелкая равномерная пористость	Мякиш плотный, непропечённый	Пропеченное по всему объему, без пустот, мякиш плотный с мелкой равномерной пористостью, слегка крошащееся при разламывании	Пропеченное по всему объему, без пустот, с мелкой равномерной пористостью, слегка крошащееся при разламывании
Вкус и запах	Без характерного вкуса	Выраженный вкус гречихи	Без характерного вкуса, кислинка	Приятный вкус с привкусом ягоды
Текстура	Плотная, слегка крошащееся при разламывании	Плотная	Плотная, слегка крошащееся при разламывании	Плотная, слегка крошащееся при разламывании

Проведенная дегустационная оценка кексов из разработанных сухих смесей показала, что лучшей композицией безглютенового кекса является композиция № 4 (рисунок 2). Дегустаторами были отмечены вкус и аромат данного изделия, а также хорошие внешние признаки. На втором месте по совокупности показателей оказались изделия, полученные из композиций № 1 и № 3. Композиция № 2 набрала наименьшее количество баллов из-за темного цвета и более плотной текстуры по сравнению с другими образцами, вкус данного кекса напоминал обычную гречневую кашу.

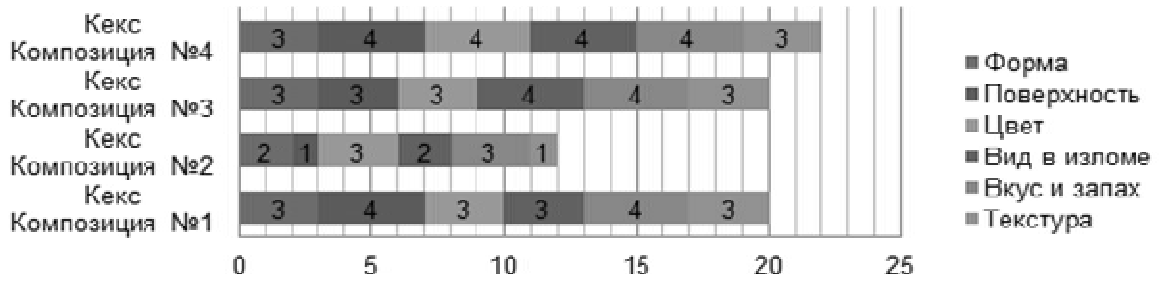


Рисунок 2 – Результаты органолептической оценки разработанных композиций кексов

Органолептическая и дегустационная оценка показали, что исследуемые образцы безглютеновых кексов на основе нативной гречихи и амаранта с плодовоовощными и ягодными порошками имеют хорошие качественные характеристики и внешний вид, обладают приятным своеобразным вкусом и ароматом.

Произведён расчет содержания основных нутриентов и энергетической ценности в 100 г готовых изделий, приготовленных из разработанных композиций (таблица 4), а также удовлетворения рекомендуемой суточной потребности (РСП) [7] основных нутриентов для разработанных смесей кексов на примере их потребления детьми 6 лет.

Таблица 4 – Расчётное содержание основных пищевых веществ и энергетической ценности безглютеновой продукции для детей старше трёх лет с непереносимостью глютена, на 100 г готовой продукции

Наименование	Белок, г	Жиры, г	Углеводы, г	Пищевые волокна, г	Энергетическая ценность, ккал
Кекс Композиция № 1	9,51	6,28	35,36	3,76	298,28
Кекс Композиция № 2	8,95	6,19	36,87	3,32	301,31
Кекс Композиция № 3	9,28	6,20	35,89	3,47	221,56
Кекс Композиция № 4	8,58	5,83	35,04	4,18	212,47

Согласно представленным данным, специализированные сухие безглютеновые смеси, предназначенные для детей старше трёх лет с непереносимостью глютена, могут служить важным источником углеводов (от 35,04 до 36,87/100 г готовой продукции), белка (от 8,58 до 9,51/100 г готовой продукции), пищевых волокон (от 3,47 до 4,18/100 г готовой продукции), а также энергии (от 212,5 до 301,3 ккал/100 г готовой продукции).

Исходя из полученных данных, ребёнок в возрасте 6 лет с порцией кекса с клюквой (композиция № 4) 50 г удовлетворит суточную потребность в белке на 7 % от РСП, в т. ч. в растительном белке на 9 % от РСП; жире – 5 % от РСП, углеводах– 6 % от РСП и энергии – 6 % от РСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённой работы и полученных результатов в дальнейших исследованиях при разработке рецептур безглютеновых зерновых смесей на основе гречихи с использованием амаранта и плодовоовощных и ягодных компонентов для питания детей с непереносимостью глютена будет применяться мука из нативной гречневой крупы.

Разработка специализированной продукции с включением амаранта и нативной гречихи, безусловно, открывает новые возможности для получения безглютеновых рационов питания и способствует расширению вкусового разнообразия и улучшению обеспеченности нутриентами больных целиакией и иными формами непереносимости глютена.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научно-исследовательская работа проведена за счет субсидий на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственной академии наук на 2019–2021 гг. (тема 0529-2019-0065) «Разработка специализированных безглютеновых зерновых смесей с амарантом для питания детей с непереносимостью глютена».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reilly, N. R. & Green, P. H. R. Epidemiology and clinical presentations of celiac disease. Seminars in Immunopathology, 2012. – 34 (4). – P. 473–478. doi:10.1007/s00281-012-0311-2.

2. Sapone, A., Bai, J. C., Ciacci, C., Dolinsek, J., Green, P. H., Hadjivassiliou, M., Fasano, A. Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification // BMC Medicine. – 2012. – № 10 (1). doi:10.1186/1741-7015-10-13.

3. Bizzaro, N., Tozzoli, R., Villalta, D., Fabris, M., & Tonutti, E. Cutting-Edge Issues in Celiac Disease and in Gluten Intolerance // Clinical Reviews in Allergy & Immunology. – 2016. – № 42 (3). – P. 279–287. doi:10.1007/s12016-010-8223-1.

4. Nejad, M. R., Karkhane, M., Marzban, A. [et al.] Gluten related disorders // Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench 5, 1–7.

5. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых *Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults. Принята на 42-й Научной сессии ЦНИИГ (2–3 марта 2016 г.).

6. Бельмер, С. В. Эпидемиология целиакии: факты и выводы / С. В. Бельмер // Лечащий врач. 2013. – № 1. – С. 16–19.

7. Детское питание. Руководство для врачей / Под редакцией В. А. Тутельяна, И. Я. Коня. – М. : Медицинское информационное агентство, 2017.

8. Коровина, Н. А., Захарова, И. Н., Заплатников, А. Л., Обыночная, Е. Г. Коррекция дефицита витаминов и микроэлементов у детей // Медицинский совет. – 2013. – № 8. – С. 94–98.

9. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – Москва, 2007.

10. Caselato-Sousa, V. M. & Amaya-Farfán, J. State of Knowledge on Amaranth Grain: A Comprehensive Review // Journal of Food Science. – 2012. – № 77 (4). – R93–R104. doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x.

11. Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M. C., Rodriguez-Martin, N. M., Millan, F. & Montserrat-de la Paz, S. Nutraceutical value of kiwicha (Amaranthus-caudatus L.) // Journal of Functional Foods. – 2019. – 103735. doi:10.1016/j.jff.2019.103735.

12. Саитова, М. Э. Совершенствование ассортимента и оценка диетических свойств мучных изделий с использованием гречневой муки : дис…канд. техн. наук: 05.18.01 / Саитова Маргарита Эдуардовна. – Москва. – 2018. – 152 с.

Урубков Сергей Александрович, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела детского и диетического питания «Научно-исследовательский институт пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», тел.: (495) 383-58-74, e-mail: glen.vniiz @gmail.com.*

Хованская Светлана Сергеевна, *канд. техн. наук, зав. отделом детского и диетического питания «Научно-исследовательский институт пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», тел.: (495) 383-58-74, e-mail: khosveserg@yandex.ru.*

Смирнов Станислав Олегович, *канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе, «Научно-исследовательский институт пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии» НИИППиСПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», тел.: (495) 549-38-20, e-mail: sts_76@bk.ru.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.005
УДК 664.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕЛКОПЛОДНОЙ ГРУШИ СИБИРИ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛИ

Н. В. Присухина, Е. Н. Непомнящих, Л. Г. Ермош

Важное значение в питании принадлежит плодовым и ягодным продуктам из местного растительного сырья, т. к. они обладают высокой пищевой ценностью, технологическими свойствами, что широко используется в производстве кондитерской и хлебобулочной продукции, пользующейся большим спросом у населения. В данной работе приведена сравнительная характеристика свойств плодов мелкоплодных сибирских груш. Изучены три сорта плодов сибирских груш, из них получено пюре, являющееся основным полуфабрикатом для производства пастило-мармеладных изделий. Исследовали и проводили сравнительный анализ способности к студнеобразованию и органолептических свойств всех видов пюре. Результаты работы позволили сделать выводы о том, что качественными технологическими и органолептическими характеристиками обладает пюре из сорта «Сибирские». Пюре можно использовать как в натуральном виде, так и в купажированных смесях с другими видами плодового пюре с более низкими органолептическими показателями. Наиболее низкими по органолептическим показателям, но при этом достаточно высокими технологическими свойствами обладает сорт «Хакасия», поэтому его можно рекомендовать для использования в составе купажированных смесей. Очень хорошими потребительскими свойствами обладает сорт «Лесная краса», при этом очень низкой студнеобразующей способностью, поэтому данный сорт можно рекомендовать для получения сока с переработкой выжимок в порошок.

Ключевые слова: плодовое пюре, мелкоплодные груши, студнеобразующая способность, органолептические показатели, технологические свойства, сорт, плоды, дегустационная оценка, состав, местное сырье.

Обеспечение населения продуктами, безопасными и полезными для здоровья всех категорий населения в необходимом количестве, является одной из главных задач продовольственной безопасности страны [1]. Огромное значение в питании для обеспечения организма функциональными веществами имеют плоды, ягоды и овощи [2, 5].

Наиболее перспективным в этом направлении является сырье, произрастающее на территории проживания населения. К такому можно отнести мелкоплодные сибирские груши.

К сибирским сортам относят более зимостойкие сорта, как правило, с небольшой массой, в среднем 65–75 г, но бывают и более крупные. Груша дает довольно высокие урожаи.

Обладая высокой питательной ценностью, многие из них имеют низкие вкусовые качества – плодам характерен вяжущий вкус и каменистые вкрапления, ухудшающие органолептические свойства. Груши обладают плохой лежкостью, малыми сроками хранения, вследствие чего их практически не используют в массовом питании.

Мелкоплодные сибирские груши обладают антимикробными свойствами за счет содержания в составе антибиотика арбутина. Содержание фруктозы в составе плодов превышает содержание глюкозы, что рекомендуется для профилактики многих сахарозависимых заболеваний (ожирение, сахарный диабет, сердечно-сосудистые и др.). В грушах имеется широкий спектр макро- и микроэлементов, в т. ч. железа, участвующего в синтезе здоровых кровяных клеток [3, 6]. В мякоти груши содержатся значительное количество ионов калия, необходимых для нормального функционирования сердца и мышц и др. [3, 5, 6, 13].

Переработка плодов в различные виды полуфабрикатов, купажирование сортов позволит использовать их для расширения ассортимента и повышения качества различных видов продуктов, в т. ч. кондитерских изделий.

Цель работы: изучить свойства и состав различных сортов мелкоплодной сибирской груши для дальнейшего использования в производстве пастило-мармеладных изделий.

Материалы и методы (Materialsandmethods). В качестве объектов исследования

выбраны три сорта мелкоплодных груш: «Лесная красавица», «Сибирские» и «Хакасия», произрастающего в Красноярском крае, урожая 2017–2019 гг.

Исследовали органолептические показатели и химический состав плодов мелкоплодных груш, а также качественные показатели пюре из них.

В работе использовали общепринятые методы, согласно нормативной документации. Органолептическую оценку проводили по 5-балльной шкале после отбора спелых, неповрежденных качественных плодов. Определение влажности проводили по ГОСТ15113.4-77; определение кислотности – по ГОСТ15113.5-77, прочность студня – на приборе Валента. Принцип метода основан на измерении силы, действующей на студень при погружении в него поршня с грибовидной насадкой до разрыва, при этом прочность студня выражается в условных единицах – граммах груза. Прочность студня определяли в образцах пюре урожая 2019 г.

Математико-статистическую обработку результатов выполняли при помощи программы Statistica 6,0.

Органолептические показатели и химический состав плодов груш, как и других растений, могут меняться в зависимости от биологических особенностей сорта, климатических и погодных условий данного года, агротехники, сроков и условий уборки и хранения и др.

Исследования качественных показателей плодов мелкоплодных груш необходимы для изучения возможности использования их в производстве экологически чистых продуктов, характеристики пищевой ценности, а также для разработки технической документации на новые виды полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий с использованием полуфабрикатов из плодов мелкоплодных груш [4, 6, 7, 8].

Исследовали органолептические показатели (таблица 1), химический состав (рисунки 2, 3) и технологические показатели плодов (таблица 2). Среднее значение органолептической оценки сортов груши по годам представлено на диаграмме (рисунок 1).



Рисунок 1 – Органолептическая оценка сортов груш Сибири по годам

Таблица 1 – Органолептические показатели плодов груш различных сортов

№ п/п	Наименование показателей	Характеристика		
		Лесная краса	Сибирские	Хакасия
1	Внешний вид	Плоды целые, здоровые, неувядшие	Плоды целые, здоровые, неувядшие	Плоды целые, здоровые, неувядшие
2	Форма	Форма грушевидная, поверхность ровная, внутри с кремово-зеленоватой твердой сочной тканью	Форма грушевидная, поверхность ровная, внутри с кремовой твердой сочной тканью	Форма грушевидная, поверхность ровная, внутри с кремовой твердой сочной тканью
3	Цвет	Зеленый, мякоть белая	Желтый с красным бочком	Желтоватые
4	Запах	Свойственный сорту, без постороннего запаха	Свойственный сорту, без постороннего запаха	Свойственный сорту, без постороннего запаха
5	Вкус	Сладкий, приятный, не вяжущий. Мякоть мягкая, сочная, без каменистых вкраплений	Вкус кисло-сладкий, немного вяжущий. Мякоть мягкая с небольшим количеством каменистых вкраплений	Вкус кислый, сильно вяжущий. Мякоть с небольшим хрустом, со значительным количеством каменистых вкраплений

Таким образом, лучшими органолептическими свойствами обладают плоды сорта «Лесная красавица», самые низкие результаты по вкусу показали плоды сорта «Хакасия». Плоды обладают кисловатым вяжущим вкусом. После разжевывания на языке остаются каменистые крупинки, что оставляет неприятные ощущения. Сорт «Сибирские» получил среднюю оценку, в их мякоти также присутствует небольшое количество вкраплений, но они достаточно приятны по вкусу и внешнему виду.

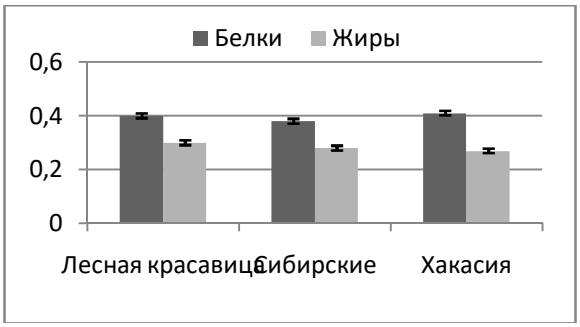


Рисунок 2 – Соотношение белков и жиров в плодах сибирских груш по сортам

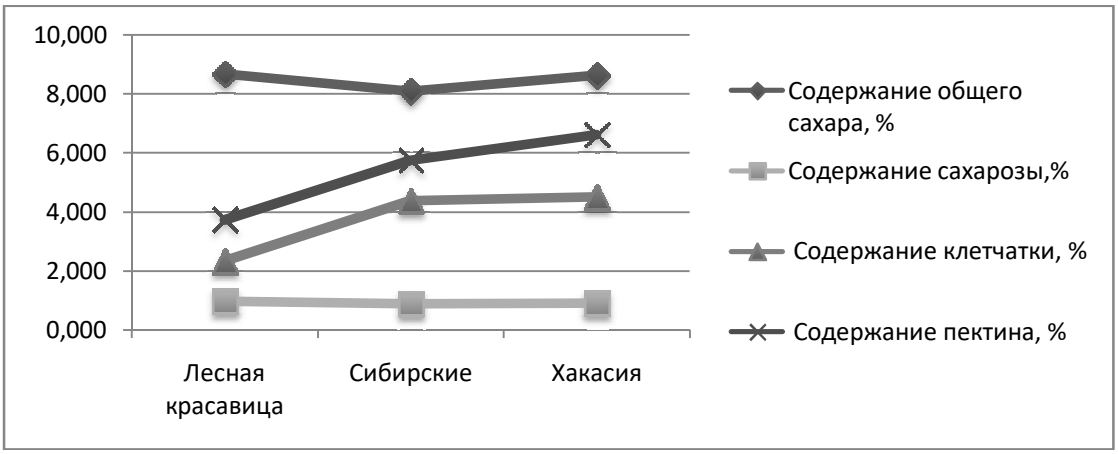


Рисунок 3 – Углеводный состав плодов различных сортов груш

Таблица 2 – Основные технологические показатели качества плодов груш по сортам

Показатели	Лесная красавица	Сибирские	Хакасия
Содержание влаги, %	86,62 ± 0,02	82,927 ± 0,02	82,16 ± 0,021
Содержание общего сахара, %	8,670 ± 0,01	8,090 ± 0,01	8,623 ± 0,01
Содержание сахарозы,%	0,977 ± 0,021	0,890 ± 0,02	0,910 ± 0,02
Титруемая кислотность (в пересчете на яблочную кислоту)	10,597 ± 0,015	2,807 ± 0,016	14,833 ± 0,015
Содержание клетчатки, %	2,337 ± 0,025	4,383 ± 0,023	4,503 ± 0,02
Содержание пектина, %	3,737 ± 0,01	5,743 ± 0,01	6,617 ± 0,015

К важным показателям для сырья относятся показатели безопасности. В плодах сибирских груш определяли показатели безопасности в соответствии с ТР ТС 021/2011 Плоды груш являются безопасными для производства и употребления в пищу.

С целью получения пюре из сибирской груши для использования в кондитерской отрасли, в частности для производства пастило-мармеладных групп изделий и другой продукции, определяли студнеобразующую способность полученного пюре.

Пюре получали путем отбора спелых, целых, не поврежденных качественных плодов, их мойки и измельчения в однородную массу [9, 10, 11]. Далее протирку через сито для удаления косточек, плодоножек и остатков кожуры, а также получения однородной массы. Оставшиеся выжимки можно использовать для получения порошка [2, 12, 13].

Согласно литературных данных, студнеобразующая способность пектиновых веществ повышается при низких значения pH, ускоряется процесс перехода протопектина в растворимый пектин [3, 8]. Исходя из выше приведенных данных таблицы 2, видно, что самое низкое значение pH в плодах груш сорта Хакасия, при этом в них достаточно высокое содержание пектина, что положительно для образования студня. В пюре из плодов груш добавляли сахар в количестве 50 % от массы пюре груш и подогревали до 75–80 ºС до полного растворения сахара и лучшего набухания пектиновых веществ.

Прочность образовавшихся студней определяли с помощью прибора Валента. Прочность студня определяли в образцах пюре урожая 2019 г. Результаты приведены на рисунке 4.

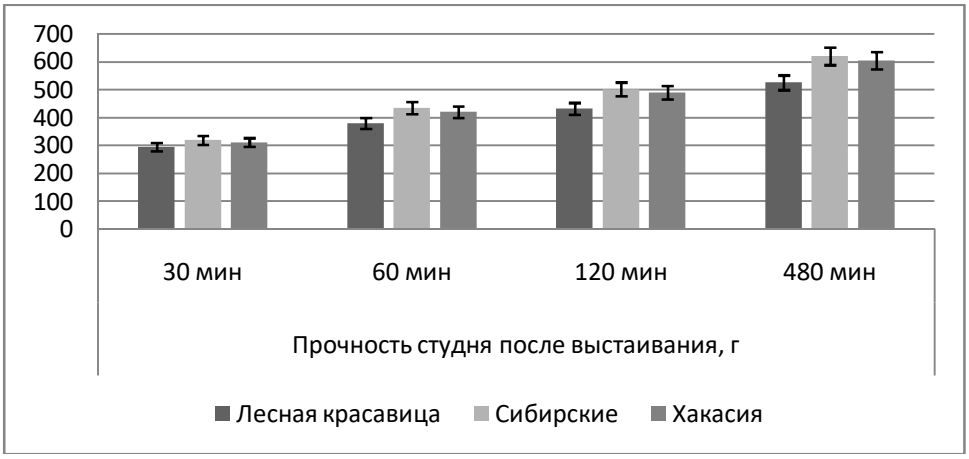


Рисунок 4 – Прочность студня пюре из груш Сибири по сортам

Из диаграммы видно, что наилучшей желирующей способностью обладает пюре из сорта «Сибирские». Следует отметить, что прочность студня возрастает с увеличением времени выстаивания, с учетом погрешности можно сказать, что пюре из сорта Хакасия практически не уступает по прочности студня сорту «Сибирские».

Важными показателями качества пюре являются органолептические показатели: цвет, вкус, аромат, консистенция. Органолептическая оценка качества всех видов образцов, проведенная экспертами по 5-ти балльной системе, представлена на рисунке 5.

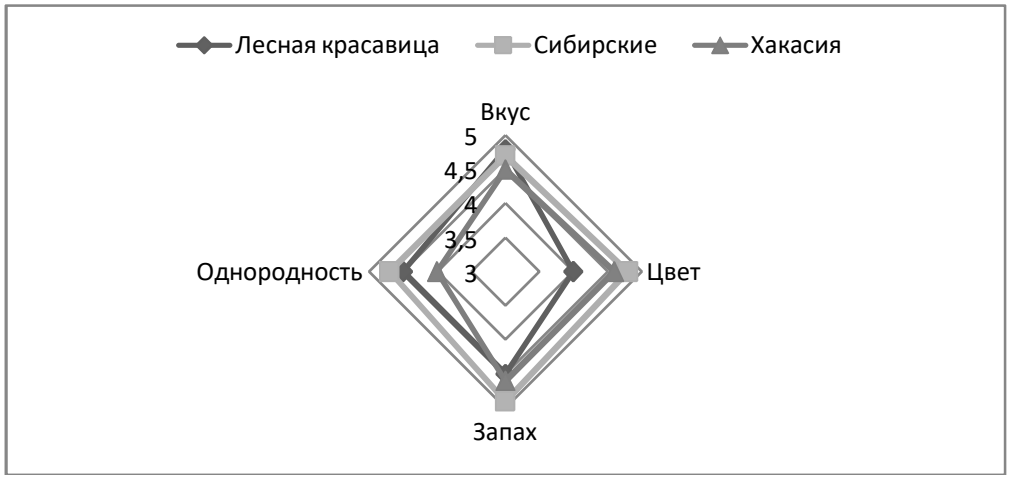


Рисунок 5 – Дегустационная оценка пюре по сортам

Цвет, вкус, аромат, консистенция новых видов пюре имеет первоначальное значение. Высокое содержание органических кислот в плодах исключает дополнительное введение кислот [7, 8, 10]. Высокую оценку получило пюре из сорта «Сибирские» Данное пюре имеет приятный вкус и аромат, и наиболее однородную консистенцию. Пюре из сорта «Хакасия» было кисловатым на вкус, а также присутствовали характерные каменистые вкрапления, что негативно сказывается на качестве продукта. Пюре из сорта «Лесная красавица» также по вкусу получило высокую оценку.

По студнеобразующей способности наиболее хорошими свойствами обладает пюре из груш сорта «Хакасия». При норме прочности студня для мармеладных изделий от 400 до 800 г уже через 120 минут прочность студня пюре из сорта «Хакасия» составила 420 г, а прочность пюре из сорта «Сибирские» – 435 г. Но по вкусовым качествам пюре из плодов

сорта «Сибирские» уступало. Пюре было достаточно кислым.

Таким образом, подведя итоги, можно сказать, что мелкоплодные груши Сибири обладают высокими технологическим свойствами для применения в производстве мармеладно-пастильной группы кондитерских изделий.

Следует отметить, что плоды сорта «Лесная красавица» обладают высокими органолептическими свойствами, их можно употреблять в свежем виде. Но так как они быстро подвергаются порче, рекомендуется все-таки их перерабатывать, в частности использовать для производства сока, выжимки – для сушки и получения порошка.

Для получения пюре с высокими технологическими свойствами можно рекомендовать сорт «Сибирские». Плоды сорта «Хакасия» также можно использовать в производстве кондитерских изделий, но, учитывая вкусовые качества, только в составе купажных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трошин, А. С. Продовольственная безопасность – основа обеспечения национальной безопасности / А. С. Трошин // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Экономика и финансы. – 2004. – № 2. – С. 252–254.

2. Гусакова, Г. С. Использование грушевой выжимки в производстве пищевых продуктов / Г. С. Гусакова, С. Н. Евстафьев // Инновационная техника и технология. – 2016. – № 3 (8). – С. 5–11.

3. Родионова, Л. Я. Научные основы конструирования функциональных пектиносодержащих сухих продуктов целевого назначения / Л. Я. Родионова, И. В. Соболь, А. В. Степовой // Новые технологии. – 2010. – № 2. – С. 73–77.

4. Zhou, L., Liu, W., Stockmann, R., Terefe, N. Effect of citric acid and high pressure thermal processing on enzyme activity and related quality attributes of pear puree // Innovative Food Science and Emerging Technologies – 2018. – V. 45.

5. Пикулева, Е. Н. Дикорастущие сибирские груши в функциональном питании / Е. Н. Пикулева // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы VII Межд. науч.-практич. конф. молодых ученых. – К., 2015. – С. 269–272.

6. Типсина, Н. Н. Повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий при использовании пюре из плодов сибирской груши / Н. Н. Типсина, Е. Н. Непомнящих, Ю. В. Шашко // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 3 (138). – С. 138–142.

7. Датиева, Б. А. Изучение возможности использования дикой груши в производстве пшеничного хлеба / Б. А. Датиева, Ц. А. Хекилаев // Достижения науки – сельскому хозяйству: материалы Всерос. науч.-практич. конф. – 2017. – С. 215–217.

8. Донченко, Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов. – Москва: ДеЛипринт. – 2007. – 276 с.

9. Сафронова, Т. Н. Научно-практическое обоснование использования пасты из топинамбура в технологии смешанных пюре / Т. Н. Сафронова, Л. Г. Ермош, О. М. Евтухова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. – № 4. – С. 80–88.

10. Остриков, А. Н. Исследование кинетики процесса вакуум-выпаривания поликомпонентных фруктовых пюре / А. Н. Остриков, Д. А. Синюков // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 131–135.

11. Тарасова, Г. Н. Пригодность сортов груши уральской селекции для получения сока прямого отжима и пюре / Г. Н. Тарасова, Ю. А. Кирсанов // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2016. – Т. 3. – С. 141–143.

12. Велямов, Ш. М. Совершенствование процесса переработки растительного сырья с целью извлечение пектина на экстракторе / Ш. М. Велямов, С. С. Джингилбаев, С. Г. Актерян // Новости науки Казахстана. – 2018. – № 1 (135). – С. 117–134.

13. Викторова, Е. П. Разработка технологии производства пищевой добавки из вторичных ресурсов переработки груш / Е. П. Викторова, О. В. Федосеева, Г. А. Купин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131. – С. 709–719.

***Присухина Наталья Викторовна**, к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: nat3701@mail.ru, тел.: 8-923-278-29-21.*

***Непомнящих Елена Николаевна**, ст. преподаватель кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: pikuleva.87@mail.ru, тел.: 8-960-769-32-55.*

***Ермош Лариса Георгиевна**, д.т.н., профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: 2921220@mail.ru, тел.: 8-913-535-34-94.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.006
УДК 664.61

ХЛЕБОПЕКАРНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА ВНЕ СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЙ

А. А. Лобов

Выпечка хлеба является заключительным этапом тепловой обработки и наиболее значимым по расходу энергоресурсов процессом. В целях интенсификации тепловой обработки теста-хлеб, сокращения энергозатрат, канцерогенных веществ (меланоидинообразования) на корочке свежеиспеченного хлеба, снижения продолжительности нагрева пекарной камеры и температуры парогазовой среды предложена хлебопекарная печь ХПЭ-ИК-0,5 (инфракрасного излучения, производительностью 500 кг/сут). Принцип работы ХПЭ-ИК-0,5 основан на использовании физических принципов термодинамики, а конструкция печи позволяет интенсифицировать процесс выпечки хлеба за счет теплового воздействия на тестозаготовку коротковолнового инфракрасного излучения, преобразованного через каменный под. Сущность технического решения заключается в использовании принципа воздействия инфракрасного излучения при принудительной конвекции на молекулярную структуру сбивного бездрожжевого теста в процессе тепловой обработки. Тепловая обработка тестозаготовки из бездрожжевого сбивного теста осуществляется в поле инфракрасного излучения длиной волны λ = 4–9 мкм с селективной трансформацией в комплексе с принудительной конвекцией S = 0,5–0,7 м/с. Конструкция печи (рисунок 1) содержит нагреватели ИК-излучения (диапазон электромагнитных волн коротковолновый от λ = 4–9 мкм, безвреден для человека), размещённые в стенке корпуса (в вертикальной плоскости), а также автоматизированную систему управления процессом. Новизна технического решения обусловлена применением синергии эффектов инфракрасного излучения длиной волны λ = 4–9 мкм с селективной трансформацией в комплексе с принудительной конвекцией S = 0,5–0,7 м/с. Практическая значимость технического решения заключается в значительном сокращении (в 1,25–1,3 раза) продолжительности выпечки и в возможности осуществлять ее в ограниченном пространстве. Предложенное техническое решение в отличие от существующего образца обеспечивает сокращение продолжительности выпечки на 23–27 %, теплопотери на 23–25 %, энергоресурсов на 17–19 %, металлоёмкости оборудования, при повышении производительности хлебопекарной печи на 20–25 %.

Ключевые слова: бездрожжевая тестозаготовка, инфракрасное излучение, хлебопекарная печь, хлеб.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ экспериментальных исследований показал, что изготовление бездрожжевого теста может осуществляться с заранее заложенными свойствами (физико-химическими и структурно-механическими) продолжительностью 9–15 минут [1, 2, 3]. Это обеспечивает возможность производства хлеба из муки ржаной и пшеничной в полевых условиях и значительно расширяет ассортимент готовых изделий.

В целях повышения эффективности производства хлеба в полевых условиях разработаны технические и технологические решения модернизации, модификации и совершенствования технических средств и технологического оборудования [4–6]. Изучение технических характеристик разработанных технических средств хлебопечения, а также особенностей производства хлебопродуктов в полевых условиях позволило сделать вывод, что существующее техническое оборудование и образцы не обеспечивают интенсификацию выпечки хлеба из сдобного бездрожжевого теста. Это обстоятельство вызывает необходимость разработки нового технологического оборудования для производства хлебопродуктов из теста влажностью 57–59 %.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

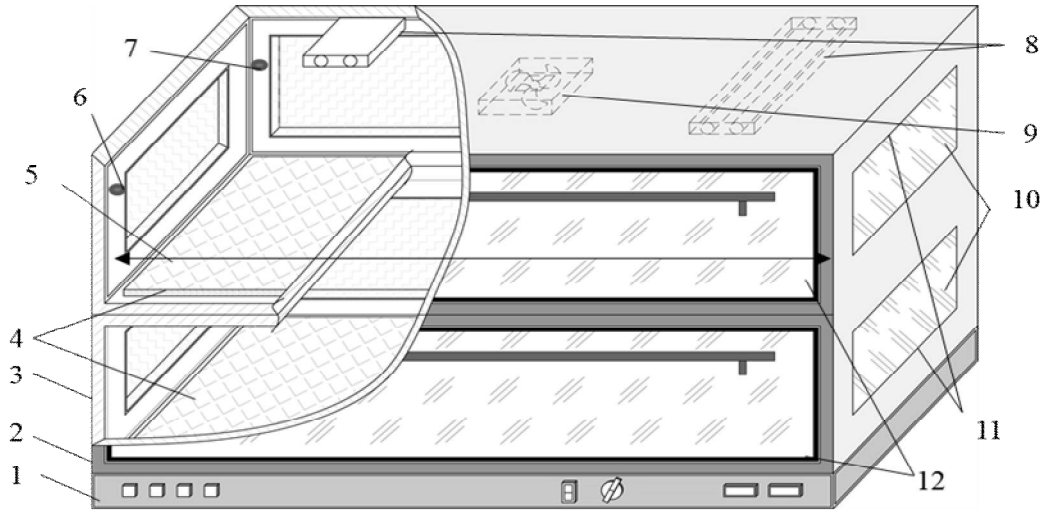
В целях обеспечения равномерности прогрева тестозаготовки, сокращения теплопотерь, продолжительности тепловой обработки, а также улучшения показателей качества и повышения безопасности готовой продукции (снижение образования канцерогенных веществ), КПД теплового аппарата при эксплуатации предложена хлебопекарная печь ХПЭ-ИК-0,5 (инфракрасного излучения, производительностью 500 кг/сут). Сущность ее заключается в использовании физических принципов воздействия инфракрасного излу-

чения при принудительной конвекции на молекулярную структуру сбивного теста в процессе тепловой обработки.

Принцип работы аппарата основан на использовании физических принципов термодинамики, а конструкция печи позволяет интенсифицировать выпечку хлеба за счет теплового воздействия на тестозаготовку инфракрасного излучения и образования эффекта «русской печи» за счет использования каменного пода.

В настоящее время для выпечки хлеба вне стационарных условий для малочисленных подразделений используется хлебопекарная печь ХП-0,4 (производительностью 400 кг/сут). Принцип ее работы основан на использовании твердого (дрова, уголь, пеллеты) и жидкого (дизельного) топлива.

Повышение эффективности работы хлебопекарной печи ХПЭ-ИК-0,5 достигается за счет упрощения конструкции, включения нагревательных элементов с инфракрасным излучением в коротковолновой области, автоматизированной системы управления процессом тепловой обработки тесто-хлеб повышенной влажности. Под повышением эффективности понимается снижение продолжительности выпечки, а также энерго- и трудоресурсов. Внешний вид печи ХПЭ-ИК-0,5 представлен на рисунке 1.



1 – пульт управления; 2 – корпус; 3 – стенка; 4 – каменный под; 5 – жарочная камера; 6 – датчик влажности; 7 – датчик температуры; 8 – лампа; 9 – вентилятор; 10 – нагреватели ИК-излучения; 11 – проем; 12 – дверка

Рисунок 1 – Внешний вид хлебопекарной печи ХПЭ-ИК-0,5 (в разрезе)

Конструктивной особенностью печи ХПЭ-ИК-0,5 является включение нагревателей ИК-излучения *10* (диапазон электромагнитных волн коротковолновый от λ = 4,0–9 мкм), размещённых в стенках корпуса *2* (в вертикальной плоскости). Данный диапазон электромагнитных волн безвреден для человека.

Дополнительный эффект воздействия ИК-излучения на полуфабрикат (сбивное бездрожжевое тесто массой m = 1200 г) достигается посредством использования пода из натурального камня.

В предложенной подовой печи с технологией селективной трансформации на долю инфракрасного излучения приходится 90 % передачи теплоты (в отличие от 20–40 % в используемых), что обеспечивает интенсификацию выпечки и повышение показателей качества готовой продукции. Необходимо отметить, что предложенный способ подвода теплоты в пекарную камеру обеспечивает снижение температуры парогазовой среды внутри нее, т. к. инфракрасные лучи проникают вглубь тестозаготовки и нагревают внутренние слои. Это обеспечивает снижение перегрева корки хлеба и меланоидинообразования (канцерогенных веществ) на ее поверхности.

Подбор спектрального ИК-излучения на тестозаготовку обеспечивает нагрев внутренних слоев тестозаготовки (в отличие от поверхностного при традиционном подводе теплоты), а также локализацию сушки без нагревания всей площади и глубины. Принцип работы нагревателя обеспечивает воздействие инфракрасных лучей с длиной волны λ = 4–9 мкм и проникающей способностью l = 4–5 мм.

Эффект радиоволн обеспечивает про-

никновение сквозь светонепроницаемую структуру тестозаготовки и нагрев жидкости во внутренних слоях. Источники инфракрасного излучения характеризуются длиной волны максимального излучения $\lambda_{макс}$.

$$\lambda_{макс} = \frac{2898}{T_т} = \frac{2898}{273 + t_г}, мкм \quad (1)$$

где $T_т$, $t_г$ – соответственно температура ИК-излучателя в рабочем режиме К, °С;
2898 – постоянный коэффициент, мкм/К.

В целях определения основных эксплуатационных показателей (производительности, коэффициента полезного действия, удельного расхода электроэнергии) предложенной хлебопекарной печи ХПЭ-ИК-0,5 предлагается использовать следующий математический аппарат.

Производительность печи ХПЭ-ИК-0,5 для выпечки при различных значениях $К_з$ рассчитывается по формуле:

$$П = 2100 \frac{a_Н \times m_{пр}}{\tau_ц} \times K_з = 2100 \frac{a \times m_{пр}}{a\tau_з + \tau_о + a\tau_в}, кг/ч, \quad (2)$$

где $m_{пр}$ – масса изделий после тепловой обработки кг;

$\tau_ц$ – продолжительность цикла при данной загрузке, ч;

$\tau_з$, $\tau_о$, $\tau_в$ – продолжительность загрузки, тепловой обработки и выгрузки, ч;
2100 – расчетное время обработки (35 мин), с.

На производительность печи ХПЭ-ИК-0,5 влияет коэффициент загрузки $К_з$, который рассчитывается по зависимости

$$K_з = \frac{a}{a_н} \quad (3)$$

где a – фактическая загрузка, кг;

$a_н$ – номинальная загрузка, кг.

Для обеспечения равномерного нагрева тестозаготовки до рекомендуемой температуры, качество и безопасность хлеба рекомендуется коэффициент загрузки ($К_з$ = 0,8–0,85).

Основной теплотехнической характеристикой печи ХПЭ-ИК-0,5 является коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{Q_п}{Q_{затр}} \times 100\%, \quad (4)$$

где $Q_п$ – полезно используемая теплота, передаваемая тестозаготовке при тепловой обработке, Дж;

$Q_{затр}$ – теплота, выделяемая нагревательными элементами, Дж.

Выражение для определения количества теплоты, поглощаемого тестозаготовкой в процессе эксперимента при наличии двух видов теплоподвода имеет вид:

$$Q_п = Q_{пк} + Q_{пл}, Дж \quad (5)$$

где $Q_{пк}$ – количество теплоты, передаваемое тестозаготовке конвенцией, Дж;
$Q_{пл}$ – количество теплоты, передаваемое тестозаготовке посредством ИК, Дж.

Расчет КПД печи ХПЭ-ИК-0,5 при различных значениях $К_з$ рассчитывается по зависимости:

$$\eta = \frac{Q_п a_Н K_з}{Q_{затр}} 100\% \quad (6)$$

Удельный расход электроэнергии характеризует уровень совершенства хлебопекарной печи ХПЭ-ИК-0,5, правильность ее эксплуатации и организации производства, который рассчитывается по формуле:

$$A_{УД} = \frac{A}{m_{пр}} = \frac{(P_р + P_в)\tau_о + P_{ОСВ}\tau_Ц}{m_{пр} a_Н K_з}, кВтч/кг, \quad (7)$$

где $А$ – общий расход электроэнергии за определенный промежуток времени, кВтч;
$m_{пр}$ – масса хлеба выпекаемая за это время, кг;
$P_р$, $P_в$, $P_{осв}$ – мощность ИК-излучателей, вентилятора, освещения, кВт;
τ_0, $\tau_ц$ – продолжительность цикла и тепловой обработки продуктов питания, час.

Использование каменного пода, принудительной конвекции при ИК-обработке тестозаготовок (комбинированная выпечка) обеспечивает ускорение превращения тестахлеб, получение хрустящей и ароматной корочки (с равномерным цветом, коричневатого оттенка) на поверхности готового изделия при снижении образования на ней канцерогенных веществ.

Предложенная хлебопекарная печь ХПЭ-ИК-0,5 по способу тепловой обработки обеспечивает сочетание в одном аппарате функции аэрогриля, духового шкафа, мангала на древесных углях, микроволной печи, электрогриля и объединяет в себе все достоинства этих устройств.

Инфракрасное излучение обеспечивает сохранение молекулярной и клеточной структуры тесто-хлеб. Нагрев тестозаготовки посредством ИК-обработки позволяет в 3 раза лучше сохранить влагу в мякише. При этом, несмотря на высокую температуру обработки, применяемая технология и предложенная печь позволяют обеспечить выпечку в ограниченном по площади помещении.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные натурные экспериментальные исследования позволили получить следующие результаты:

- доказана эффективность производства хлеба в ограниченном пространстве за счет включения предложенных технических решений в конструкцию хлебопекарной печи;

- достигнута интенсификация выпечки хлеба из сбивного бездрожжевого теста в 1,25–1,3 раза (рисунок 2) за счет совершенствования метода регулирования технологических процессов при снижении энергозатрат;

- конструктивные особенности печи ХПЭ-ИК-0,5 и предложенный принцип воздействия теплоты на внутренние слои тестозаготовки внутри пекарной камеры не требуют разогрева парогазовой среды выше температуры 80 ºС, что обеспечивает снижение энергозатрат, продолжительности выпечки и доказывает повышение ее эффективности (рисунок 3);

- оценка органолептических показателей качества хлеба, выпеченного из сбивного бездрожжевого теста по предложенной технологии и традиционной, представлена на диаграмме (рисунок 4).

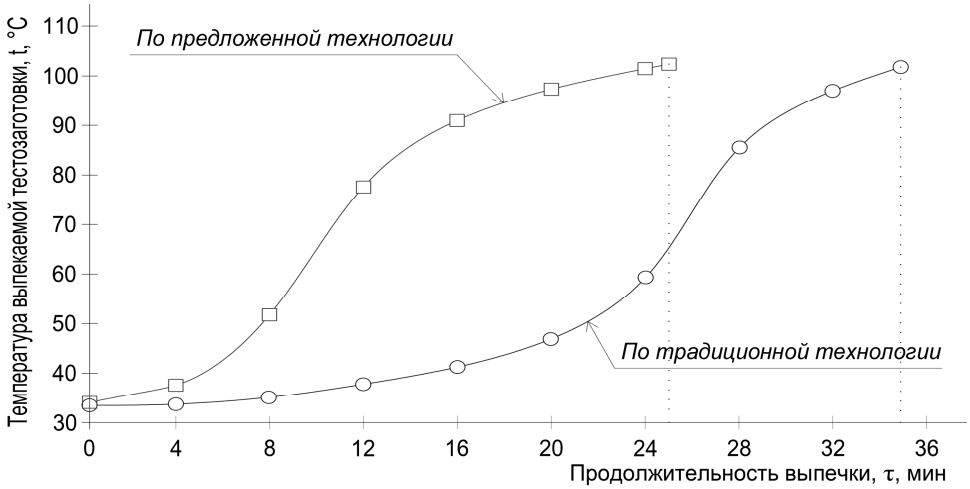


Рисунок 2 – Зависимость повышения температуры тестозаготовки от продолжительности обработки в поле инфракрасного излучения

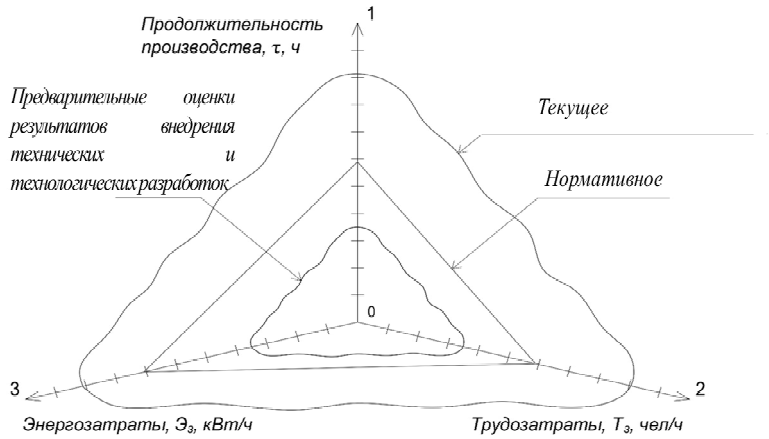


Рисунок 3 – Оценена эффективность внедрения технических и технологических разработок

Новизна технического решения состоит в том, что в отличие от аналогов для интенсификации процесса выпечки хлеба из сбивного бездрожжевого теста используется инфракрасное излучение длиной волны λ = 4–9 мкм с селективной их трансформацией в комплексе с принудительной конвекцией S = 0,5–0,7 м/с.

Практическая значимость технических решений заключается в реализации возможности осуществления процесса производства хлеба при изменении принципа тепловой обработки тестозаготовки, что позволяет сократить продолжительность выпечки на 23–27 %, теплопотери на 23–25 %, энергоресурсы на 17–19 %, металлоёмкость оборудования с учётом повышения производительности хлебопекарной печи на 20–25 %.

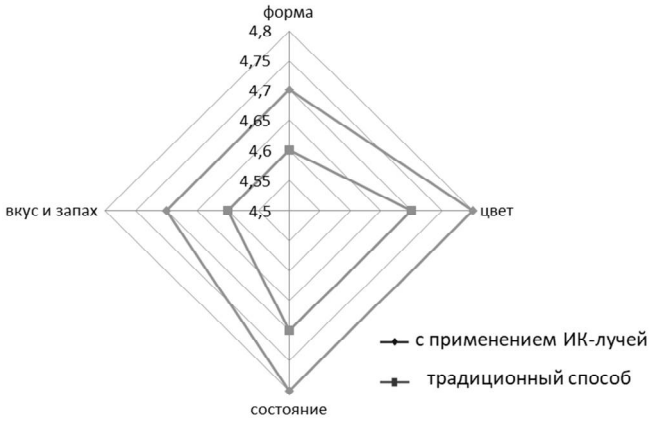


Рисунок 4 – Диаграмма органолептических показателей качества хлеба, выпеченного из сбивного бездрожжевого теста

Таким образом, предложенная хлебопекарная печь ХПЭ-ИК-0,5 с нагревательными элементами инфракрасного излучения, вертикально размещенными по периметру пекарной камеры и каменного пода, обеспечивают селективную трансформацию инфракрасного излучения в процессе тепловой обработки тестозаготовки, что позволяет ускорить переход теста-хлеб, обеспечивает повышение температуры внутри полуфабриката на 30 ºС за счет более эффективной передачи теплоты и более глубокого проникновения ИК-лучей, что ускоряет кипение жидкости внутри него и преобразование теста в мякиш. Это снижает потребность в предварительном прогреве пекарной камеры, обеспечивает экономию энергии и ускоряет выпечку. Инфракрасное излучение щадяще воздействует на молекулярную и клеточную структуру теста-хлеб, позволяет нагреть и сохранить влагу во внутренних слоях тестозаготовки при выпечке.

Направлениями дальнейших исследований является научное обоснование предложенных технических решений по методике, предложенной в [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструктивные и технологические приемы интенсификации замеса теста и повышения качества хлеба / Г. О. Магомедов // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т 81. – № 1. – С. 232–237.

2. Магомедов, Г. О.Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий / Г. О. Магомедов, Е. И. Пономарева. – Воронеж : ВГТА, 2010. – 241 с.

3. Магомедов, Г. О. Влияние формы месильной лопасти на энергетические характеристики сбивания и качество бездрожжевого полуфабриката / Г. О. Магомедов, Е. И. Пономарева, В. В. Рыжов // Хлебопродукты. – 2011. – № 10. – С. 48–49.

4. Пат 2636759. Российская Федерация, МПК A21D 8/00 A21D 8/02 Способ производства мелкоштучных хлебобулочных изделий [Текст] / Романчиков С. А. (RU); Безгин М. В. (RU); заявитель и патентообладатель ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения» имени генерала армии А.В. Хрулева (RU). – № 2017101776 приор. 19.01.2017, опубл. 28.11.2017. – Бюл. № 34.

5. Пат. 158128 Российская Федерация, МПК A21B 1/00, Устройство для производства хлебобулочных изделий [Текст] / Романчиков С. А. (RU), Безгин М. В. (RU), Антуфьев В. Т. (RU), Иванова М. А. (RU), Николюк О. И. (RU), Стулов С. В (RU), Пахомов В. И (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).– № 201500836/10 ; заявл. 12.01.2015 г. опубл. 20.12.2015 г. – Бюл. № 35. – 10 с. : ил.

6. Верболоз, Е. И. Особенности низкотемпературной тепловой обработки мясопродуктов в пароконвектомате с наложением ультразвуковых колебаний / Е. И. Верболоз, С. А Романчиков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. – № 3 (73). – С. 35–41.

7. Ермошин, Н. А. Методологические аспекты научного обоснования технических решений модификации технических средств и технологического оборудования продовольственной службы / Н. А. Ермошин, С. А. Романчиков // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 100–106.

***Лобов Александр Анатольевич**, соискатель Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. Санкт-Петербург, e-mail. alexsandr.tim@yandex.ru; тел. 8(911)-088-81-73.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.007
УДК 664.694

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОБОГАЩАЮЩИМИ ДОБАВКАМИ

Л. Е. Мелёшкина, Н. В. Червякова

В настоящее время признано существенное влияние адекватности питания на состояние здоровья, что должно быть учтено при разработке функциональных продуктов питания, обогащенных эссенциальными веществами как эффективного инструмента профилактики алиментарно-зависимых заболеваний. Для коррекции состава продукции применяются сбалансированные витаминно-минеральные комплексы, при этом ресурсы сырья, содержащего естественные функциональные пищевые ингредиенты, используются недостаточно.

В статье исследовано применение различного растительного сырья, содержащего биологически ценные компоненты, для производства макаронных изделий функционального назначение. Изучены потребительские достоинства, пищевая ценность макаронных изделий. Установлено, что обогащение макаронных изделий тыквенным пюре, семенем льна позволяет получить макаронную продукцию с высоким коэффициентом пищевой эффективности, обеспечивающую удовлетворение суточной потребности в железе, магнии, фосфоре и других нутриентах более, чем на 15 %. Разработанная продукция может быть рекомендована для систематического включения в рационы с целью улучшения нутриентного профиля и профилактики заболеваний.

Ключевые слова: макаронные изделия, пищевая ценность, нутриентный состав, эссенциальные вещества, функциональные продукты, льняное семя, тыквенное пюре.

Макаронные изделия имеют большое значение в культуре питания человека, поскольку являются одним из продуктов первой необходимости и пользуются устойчивым спросом [3]. Средняя калорийность 100 граммов данного пищевого продукта составляет от 335 до 350 ккал, т. е. удовлетворяет около 15 % суточной потребности в энергии. Макаронные изделия экономически доступны широким слоям населения, хорошо хранятся, просты в приготовлении, изготавливаются из тестовых масс с возможностью создания различных рецептурных композиций, что определяет целесообразность обогащения макаронных изделий.

Недостатком макаронных изделий с точки зрения биологической ценности в большинстве случаев является использование для производства муки пшеничной, имеющей дефицит важнейших незаменимых аминокислот, минеральных веществ, витаминов и пищевых волокон [4]. Научным сообществом определены адекватные нормы потребления эссенциальных нутриентов, дефицитных в питании, являющихся фактором возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, что должно учитываться при разработке новой продукции.

Целью работы явилось создание макаронных изделий функционального назначения, потребление которых обеспечит покрытие суточной потребности в различных нутриентах не менее, чем на 15 %. Проектирование изделий осуществлялось с учетом требований ГОСТ Р 55577-2013 [2].

С учетом того, что на малогабаритных предприятиях общественного питания макаронные изделия используются свежевыработанными, их приготовление производят полумеханическим способом с применением устройства прокатки и нарезки. При этом важное значение имеет структура макаронного теста: оно должно быть эластичным вследствие набухания белкового комплекса муки и не деформироваться до этапа варки изделий. Экспериментально установлено, что это достигается соблюдением влажности теста не более 32,5 % и добавлением структурообразователей [5].

В состав разрабатываемых изделий, помимо муки пшеничной хлебопекарной, вводили различные виды муки: чечевичную, рисовую, гречневую. Кроме того, использовали так называемое «нетрадиционное сырье»: измельченные семена льна, пюре тыквенное или черносливовое, манную крупу.

Применение указанного сырья обусловлено рядом достоинств. Манная крупа обладает высокой гидрофильностью, придает эластичность тесту при замесе.

Гречневая мука содержит от 13,5 % до 18,5 % белков, фракционный состав, который

отличается от многих злаков и, по мнению ряда ученых, представлен в основном альбуминами. В составе белка около 40 % составляют незаменимые аминокислоты, в т. ч. высоким содержанием выделяются лизин, валин, лейцин. Кроме того, гречневые продукты характеризуются высоким содержанием железа, содержат различные группы флавоноидов, положительно влияющих на биологические функции организма [7, 10, 11].

Мука из чечевицы содержит около 25 % белка, со следующим аминокислотным составом (мг): валин – 1270, изолейцин – 1020, лейцин – 1890, лизин – 1720, метионин – 290, треонин – 960, триптофан – 220, фенилаланин – 1250 [11]. Она является богатым источником многих питательных веществ, включая тиамин – 76 %, пантотеновую кислоту – 43 %, витамин В6 – 42 %, фосфор – 40 %, железо – 50 % и цинк 35 % от ежедневной нормы.

Чечевичная и гречневая крупы включены в список продуктов лечебного питания в соответствии с Приказом от 21 июня 2013 г. № 395н «Об утверждении норм лечебного питания» и являются обязательными для потребления при всех типах утвержденных диет [6].

В Алтайском крае в значительных количествах выращивают тыкву обыкновенную, имеющую повышенное содержание калия, магния и железа, каротиноидов, пищевых волокон, являющуюся перспективным сырьем для производства различной пищевой продукции.

Семена льна имеют обширный спектр использования не только по причине дешевизны. Исследование, проведенное в период между 1990 и 2008 гг., показало, что льняные семена и его производные обладают ярко выраженным гипохолестеринемическим действием, снижают общий уровень холестерина и липопротеинов низкой плотности в крови при регулярном потреблении. Метаанализ показал, что потребление более 30 г льняного семени в день в течение более 12 недель снижало массу тела, индекс массы тела (ИМТ) и окружность талии у людей с повышенными показателями ИМТ в возрасте после 27 лет [8, 9]. В 100 граммах льняных семян содержится большое количество белка, клетчатки, тиамина, магния и фосфора, следует отметить высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот семейства ω-3 и ω-6.

Состав компонентов рецептур макаронных изделий представлен в таблице 1. Количество воды определяли расчетным путем. Контрольный образец включал муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта и воду питьевую.

Для приготовления тестовых масс использовали средний по влажности замес. Для замеса подготавливали питьевую воду путем ее нагрева до температуры 50 ºС. Подготовка гречневой, чечевичной круп и льняного семени заключалась в их измельчении до полного прохода: для льняного семени – через металлотканое сито № 2.0, для муки – через сито из шелковой ткани № 27. Вырабатывали ленточные макаронные изделия (группы В), для обеспечения сохранности изделия после замеса и формования высушивали до влажности не более 13,0 %.

Органолептические и физико-химические показатели качества разработанных изделий определяли стандартными методиками.

Расчет пищевой ценности осуществляли с учетом требований ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», с использованием прикладной компьютерной программы Microsoft Office Exsel.

Таблица 1 – Рецептуры макаронных изделий

Номер образца	Содержание сырья, г на 100 г сырой продукции							
	мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	мука рисовая	мука чечевичная	мука гречневая	пюре черносливовое	крупа манная	пюре тыквенное	семена льна
1	60,0	–	40,0	–	–	–	–	–
2	–	60,0	40,0	–	–	–	–	–
3	70,0	–	–	–	–	–	30,0	–
4	40,0	–	–	40,0	20,0	–	–	–
5	60,0	–	–	–	–	30,0	10,0	–
6	–	–	–	50,0	50,0	–	–	–
7	70,0	–	–	–	–	–	–	30,0
8	–	70,0	–	–	–	–	–	30,0

Оценку потребительских достоинств осуществляли по показателям: внешний вид, цвет, запах, вкус, консистенция, состояние варочной воды.

Хорошо сохранили форму после варки образцы № 5, № 7, № 8. Большая часть изделий образца № 6 потеряли форму, форма остальных образцов изменилась незначительно.

По результатам органолептического анализа было установлено, что пигменты группы каротиноидов, содержащиеся в тыкве, придали образцу № 3 и образцу № 5 оранжево-желтый цвет. Изделия с добавлением гречневой муки (образцы № 4 и № 6) имели характерную коричневую окраску, а изделия с чечевичной муки (образцы № 1, № 2) характеризовались зеленым оттенком. Пигментный слой семян льна придал образцам № 7 и № 8 коричневую окраску.

Включения в изделия различных крупяных, бобовых продуктов, а также семян льна, положительно сказались на вкусе макаронных изделий. Особенно хотелось отметить образцы № 7, № 8, которые имели приятный ореховый привкус. Включение размолотых семян льна придало изделиям крупитчатую структуру, ощущающуюся при разжевывании. Неоспоримым достоинством образцов № 3 и № 5 с добавлением тыквенного пюре является сладкий вкус. В образце № 4 наблюдался яркий вкус и аромат гречневой крупы, который нивелирует органолептические особенности пюре чернослива. Явной отличительной особенностью вкуса и запаха образцов № 1 и № 2 является отчетливый запах и вкус чечевицы.

Для более объективной сравнительной оценки потребительских достоинств макаронных изделий была проведена оценка по пятибалльной шкале с учетом коэффициентов весомости каждого показателя. Максимальная балльная оценка составляет 100 баллов. Результаты представлены на рисунке 1.

По качеству образцы № 3, № 7 по совокупности всех показателей могут характеризоваться как «очень хорошие», образцы № 5, № 8 – «хорошие», образцы № 1, № 2 – «удовлетворительные», образцы № 4, № 6 – «неудовлетворительные».

Оценка физико-химических показателей качества макаронных изделий позволила установить, что содержание сухих веществ, перешедших в варочную воду, характеризующее интенсивность замеса и процесс набухания белков не превышает 2 %, находится ниже стандартных значений, установленных ГОСТ 31743-2017 [1] на уровне не более 6 %.

Сохранность формы сваренных изделий образца № 4 составила 95 %, что служит основанием для дальнейшей корректировки рецептуры или технологической схемы. Образец № 6 сохраняет форму на 10 %, исключен из дальнейших исследований. Остальные изделия полностью сохранили форму.

Влажность и кислотность всех образцов не превышает 13 % и 4 град, установленных стандартом.

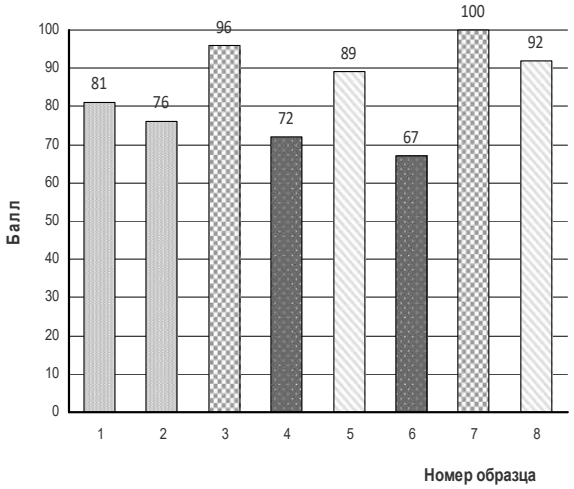


Рисунок 1 – Потребительские достоинства макаронных изделий

Таким образом, оптимальные органолептические и физико-химические характеристики имеют образцы № 3, № 7.

Для сравнения пищевой ценности традиционных и новых макаронных изделий был использован показатель – коэффициент пищевой эффективности (КПЭ), который установили как отношение суммы дефицитных макронутриентов в рационе питания (белков и пищевых волокон) к сумме макронутриентов, находящихся в избытке (жиров и углеводов), в расчете на 100 г продукции [7].

Таблица 2 – КПЭ для различных изделий

Образец	КПЭ	Характеристика
Контроль	14,8	Низкий
Образец №3	37,9	Очень высокий
Образец №7	46,7	Очень высокий

Данные таблицы 2 демонстрируют рост сбалансированности разработанных продуктов по сравнению с контрольным образцом.

Для оценки возможных физиологических эффектов был проведен расчет пищевой ценности. Образец № 3 – макаронные изделия с тыквенным пюре – являются продуктом с высоким содержанием β-каротина и фосфора. Так как представленный образец, исходя из расчетов, имеет содержание β-каротина более 15 % от рекомендуемого суточного потребления, данное макаронное изделие является функциональным продуктом по данному нутриенту, обладает антиоксидантными свойствами.

Данные о содержании в образце № 7 белков, жиров, углеводов и микронутриентов, обеспечивающих не менее 15 % суточной потребности, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Пищевая ценность макаронных изделий с семенем льна

Основные пищевые вещества	Рекомендуемый уровень суточного потребления	Фактическое значение	Обеспечение суточной потребности, %
Белки, г	75,0	17,7	23,6
Жиры, г	83,0	16,3	19,6
Углеводы усвояемые, г	365,0	43,0	13,2
Пищевые волокна, г	30,0	10,0	33,3
ПНЖК, г	25,0	9,5	38,0
Железо, мг	14	2,5	17,9
Магний, мг	400	133,0	33,3
Фосфор, мг	800	268,2	33,5
Витамин В1, мг	1,4	0,6	42,9
Витамин В9, мкг	200	44,3	22,2
Энергетическая ценность/калорийность, ккал/кДж	2500/ 10467	410/ 1714	16,4

Макаронные изделия с добавлением измельченного семени льна или тыквенного пюре в дозировке 30 % соответствуют стандартизованным требованиям и являются натуральными функциональными пищевыми продуктами, обеспечивающими при систематическом потреблении ряд физиологических эффектов, в т. ч. усиление перистальтики кишечника, нормализацию энергетического обмена и синтеза гемоглобина, снижение уровня холестерина в крови, поддержание нормального состояния костей.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (тема № 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, мнемокод 0611-2020-013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31743-2012 Изделия макаронные. Общие технические условия: межгосударственный стандарт: дата введения 2013-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 29 с.

2. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности: национальный стандарт: дата введения 2015-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 16 с.

3. Давыдова, С. А. Исследование процесса производства макаронных изделий / С. А. Давыдова, О. Н. Беспалова // Вопросы питания. – 2015. – Т. 87. – № 2. – С. 261–266.

4. Мартиросян, В. В. Сложнорецептурные обогащенные макаронные изделия / В. В. Мартиросян, Е. В. Жиркова, В. Д. Малкина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2008. – Т. 305. – № 4. – С. 26–28.

5. Мелёшкина, Л. Е. Исследование эффективности замеса и формования безглютеновых макаронных изделий / Л. Е. Мелёшкина, А. В. Попова // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3–2. – С. 77–81.

6. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 21 июня 2013 г. № 395н «Об утверждении норм лечебного питания»: [Зарегистрировано в Минюсте РФ 5 июля 2013 г]. – URL: http://ivo.garant.ru /#/document/70412098/page/1:0 (дата обращения: 10.11.2020).

7. Саитова, М. Э. Совершенствование ассортимента и оценка диетических свойств мучных изделий с использованием гречневой муки : специальность 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства» : автореф. дис. … канд. техн. наук / Саитова Маргарита Эдуардовна ; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». – Москва. – 2018. – 23 с.

8. Mohammadi-Sartang, M. The effect of flaxseed supplementation on body weight and body composition: a systematic review and meta-analysis of 45 randomized placebo-controlled trials / M. Mohammadi-Sartang, Z. Mazloom, H. Raeisi-Dehkordi, R. Barati-Boldaji [et al.] // Obesity Reviews. – 2017. – 18 (9). – P. 1096–1107.

9. Khalesi, S. Flaxseed consumption may reduce blood pressure: a systematic review and meta-analysis of controlled trials / S. Khalesi, C. Irwin, M. Schubert // Journal of Nutrition. – 2015. – 145 (4). – P. 758–765.

10. Krkoskova, B. Prophylacticcomponentsofbuckwheat / B. Krkoskova, Z. Mrazova // Food ResearchInternational. – 2005. – V. 38. – P. 561–568.

11. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. И. М. Скурихина. – М. : Агропромиздат, 1987. – 358 с.

Мелёшкина Лариса Егоровна, *к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». E-mail: meleshkina_le @mail.ru.*

Червякова Наталья Васильевна, *студент группы ТОП-71 ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: deconstructive887 @gmail.com.*

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.008
УДК 664.78.01:664.78.5

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА ОВСА

С. Н. Брасалин, А. С. Минаков

На предприятиях крупяной промышленности Алтайского края в технологиях переработки зерна овса влаготепловую обработку часто применяют на этапе подготовки зерна к шелушению. При этом цель влаготепловой обработки состоит как в улучшении вкуса, запаха, усвояемости готовой крупы, так и в повышении технологической эффективности процесса шелушения. Вместе с тем роль влаготепловой обработки зерна перед шелушением не всеми понимается одинаково и поэтому не является общеупотребительным технологическим приёмом. Методика оценки технологической эффективности шелушения зерна, состоящая из оценок по коэффициенту шелушения, коэффициенту целости ядра и коэффициенту эффективности, хорошо известна и общепринята. Цель выполненной работы – прояснить влияние пропаривания, как элемента влаготепловой обработки, на оценку технологической эффективности шелушения пропаренного зерна. Исследованы два варианта влаготепловой обработки зерна перед шелушением. Объект исследований – зерно овса. Эксперименты выполнены в лабораторных условиях на установках, физически моделирующих производственные процессы пропаривания, подсушивания и шелушения зерна. Отбор образцов и их анализ выполнены стандартными методами. Результаты выполненной работы показали, что пропаривание и пропаривание с подсушиванием существенно повышают оценку коэффициента шелушения относительно непропаренного зерна; влияние давления пропаривания на оценки коэффициента целости и коэффициента эффективности шелушения может быть как положительным, так и отрицательным.

Ключевые слова: крупяное производство, шелушение зерна, влаготепловая обработка, пропаривание, подсушивание, технологическая эффективность шелушения, коэффициент шелушения, коэффициент целости ядра, коэффициент эффективности.

Влаготепловая обработка широко применяется в зерноперерабатывающей промышленности при производстве круп, в том числе при производстве такого популярного продукта, как овсяные хлопья.

На предприятиях крупяной промышленности Алтайского края в технологиях переработки зерна овса в крупу или хлопья влаготепловую обработку часто применяют на этапе подготовки зерна к шелушению. При этом считается, что цель влаготепловой обработки состоит как в улучшении вкуса, запаха, усвояемости готовой крупы, так и в повышении технологической эффективности процесса шелушения [1].

Для оценки технологической эффективности шелушения профессорами Г. А. Егоровым [1] и Е. М. Мельниковым [2] была предложена методика, включающая оценки этого процесса с количественной и качественной его сторон и интегральную оценку, объединяющую оценки с количественной и качественной сторон.

По Е. М. Мельникову и Г. А. Егорову, количественная сторона процесса шелушения оценивается коэффициентом шелушения $К_ш$:

$$К_ш = \frac{Н_1 - Н_2}{Н_1} \cdot 100, \%, \quad (1)$$

где $Н_1$, $Н_2$ – содержание неошелушенных зёрен в продукте, соответственно, на входе и на выходе процесса шелушения, %.

Качественную сторона процесса шелушения предложено оценивать коэффициентом целости ядра $К_{ц.я}$, выражающимся формулой:

$$К_{ц.я} = \frac{Я_2 - Я_1}{(Я_2 - Я_1) + (Д_2 - Д_1) + (М_2 - М_1)}, \quad (2)$$

где $Я_1$, $Я_2$ – содержание целых ядер (целых ошелушенных зёрен) в продукте, соответственно, на входе и на выходе процесса шелушения, %;

$Д_1$, $Д_2$ – содержание дроблёного ядра в продукте, соответственно, на входе и на выходе процесса шелушения, %;

$М_1$, $М_2$ – содержание мучели в продукте, соответственно, на входе и на выходе процесса шелушения, %.

В качестве интегральной оценки предложен коэффициент эффективности $Е_{шел.}$:

$$Е_{шел} = К_ш \cdot К_{ц.я}, \% . \quad (3)$$

Указанная методика нашла широкое практическое применение во многих научных работах и на практике.

Известно несколько способов влаготепловой обработки зерна овса перед шелушением [3]. Некоторые из них, в т. ч. рекомендуемый правилами организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях [4], основаны на пропаривании зерна. Кроме того, указанные правила рекомендуют перед шелушением подсушивать пропаренное зерно до влажности, примерно, 12 %.

Вместе с тем роль влаготепловой обработки зерна перед шелушением не всеми понимается одинаково, и поэтому не является общеупотребительным технологическим приёмом [2].

Эксперименты, результаты которых обсуждаются далее, выполнены с целью прояснить влияние пропаривания на оценку технологической эффективности шелушения.

Объектом экспериментов было «обезличенное» зерно овса с влажностью 9,8 %, плёнчатостью 31 %, и содержанием ядра 67 %.

Эксперименты выполнялись на лабораторном оборудовании, обеспечивающем физическое моделирование производственных процессов: пропаривателе периодического действия, сушилке конвективного типа, центробежном шелушителе.

Влаготепловую обработку зерна выполняли по трём вариантам: вариант 1 – «нулевая» влаготепловая обработка (без обработки), вариант 2 – пропаривание, вариант 3 – пропаривание с последующим подсушиванием. Экспозиция пропаривания во всех опытах одинакова и равна 3 мин. Подсушивание пропаренного зерна выполняли до влажности в диапазоне от 11,5 до 12,5 %. Отбор проб и технические анализы выполняли по стандартным методикам.

Результаты экспериментов в графическом виде представлены на рисунках. При этом на всех рисунках в точке с давлением пропаривания, равным нулю, оценки эффективности шелушения соответствуют шелушению зерна с «нулевой» влаготепловой обработкой (вариант 1).

Данные, представленные на рисунке 1, показывают, что влаготепловая обработка зерна овса только способом пропаривания (вариант 2) в целом положительно влияет на оценки эффективности шелушения.

Однако такое влияние наблюдается не во всём диапазоне давлений пропаривания. Как раз при давлении пропаривания от 0,05 до 0,1 МПа, рекомендуемом правилами организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях [4], наблюдается понижение коэффициента целости ядра Кц.я., т. е. повышается дробимость ядра, что отражается, в свою очередь, на коэффициенте общей эффективности шелушения Ешел., который в этом диапазоне пропаривания также снижается. Пропаривание при давлении пара выше 0,1 МПа повышает эффективность шелушения по всем оценкам. Причём, чем выше давление, тем выше оценки эффективности шелушения.

Зависимость коэффициента шелушения Кш от давления пропаривания, представленная на рисунке 1, показывает, что пропаривание, само по себе, оказывает однозначно положительное влияние на эффективность ошелушивания зерна.

Обращает на себя внимание тот факт, что коэффициент шелушения Кш слабо, по сравнению с коэффициентами Кц.я. и Ешел., реагирует на повышение давления пропаривания. Это можно объяснить тем, что при пропаривании происходит насыщение плёнок овса влагой. Влагонасыщенные плёнки овса, с одной стороны, разбухают, что приводит к их смещению как относительно друг друга, так и относительно ядра, а, с другой стороны, становятся более эластичными, т. е. менее жёсткими. В результате облегчается выход ядра из них при шелушении ударом в центробежном шелушителе. Но поскольку влагоёмкость цветковых плёнок по современным представлениям [1, 2] не может быть тесно связана с давлением пропаривания, то и коэффициент шелушения Кш, обусловленный вышеуказанными механическими свойствами предельно насыщенных влагой плёнок, слабо возрастает с повышением давления пропаривания.

На рисунке 2 отражено влияние давления пропаривания при влаготепловой обработке зерна овса способом пропаривания и последующего подсушивания (вариант 3) на оценки эффективности шелушения. Видно, что картина эффективности шелушения при таком способе практически противоположна картине, представленной на рисунке 1.

Подсушивание пропаренного зерна овса даёт в целом отрицательный тренд с повышением давления пропаривания. Аномальные явления, как и на рисунке 1, проявились при давлениях от 0,05 до 0,1 МПа, рекомендуемых правилами организации и ведения технологических процессов на крупяных предприятиях. Однако характер этих аномалий противоположен показанным на рисунке 1.

Здесь пропаривание при невысоком (до 0,1 МПа) давлении и последующее подсушивание привели к существенному повышению всех оценок эффективности шелушения. Но

обработка этим способом при давлениях пропаривания выше 0,1 МПа снижает оценку шелушения по коэффициенту целости ядра Кц.я. и коэффициенту эффективности Ешел., причём практически до уровня исходного зерна, не проходившего влаготепловую обработку.

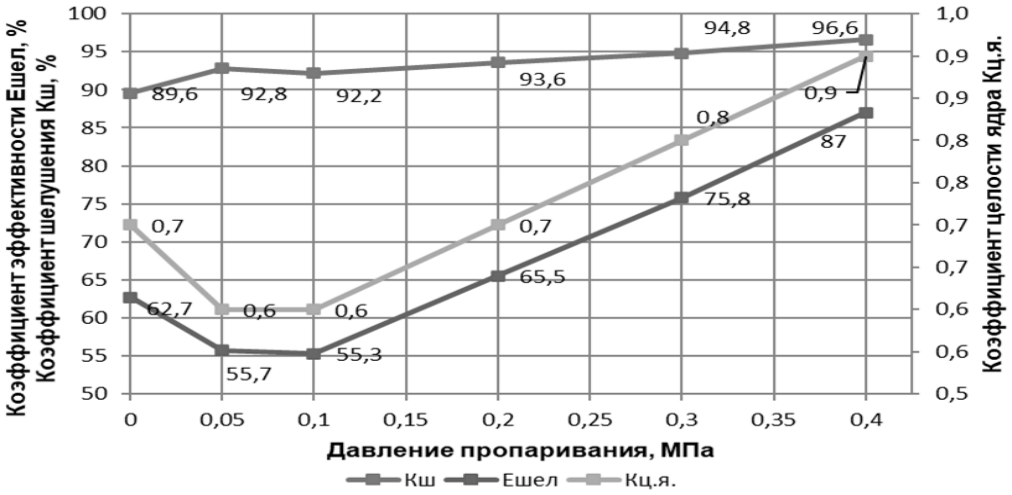


Рисунок 1 – Влияние давления пропаривания на эффективность шелушения при влаготепловой обработке зерна овса по варианту 2

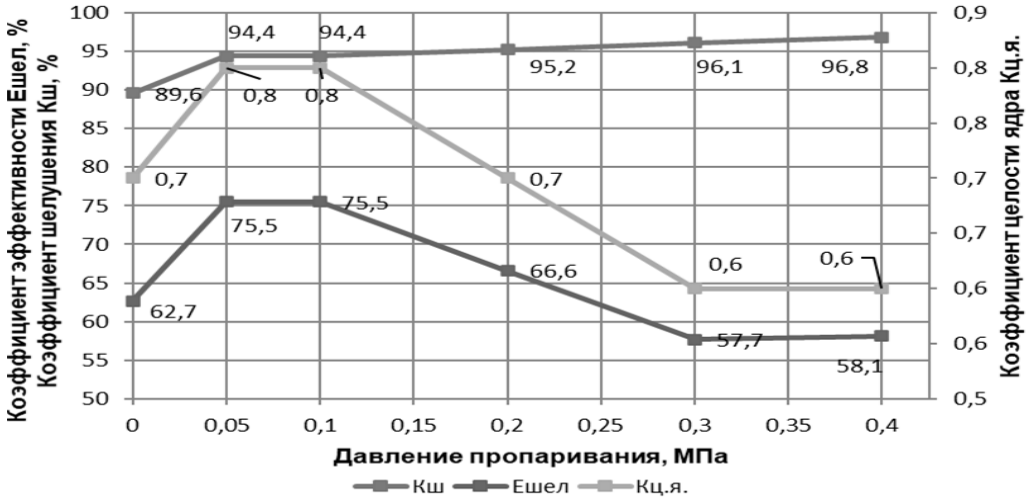


Рисунок 2 – Влияние давления пропаривания на эффективность шелушения при влаготепловой обработке зерна овса по варианту 3

Вместе с тем, коэффициент шелушения Кш повышается с увеличением давления пропаривания и характер этого повышения аналогичен характеру, отражённому на рисунке 1 при влаготепловой обработке по варианту 2.

При этом можно видеть, что при пропаривании и подсушивании (вариант 3) коэффициент шелушения Кш несущественно выше, чем при пропаривании (вариант 2). Отсюда следует, что цветковые плёнки при обоих вариантах обработки зерна приобретают способность освобождать ядро в равной мере. Но, если при пропаривании способность цветковых плёнок освобождать ядро обусловлена полным их влагонасыщением и, соответственно, низкой их жёсткостью и взаимным их смещением в результате набухания, то при пропаривании и последующем подсушивании способность плёнок освобождать ядро при шелушении обусловлена их обезвоживанием и, соответственно, высокой их хрупкостью [1–3].

Снижение коэффициента целости ядра Кц.я. с повышением давления пропаривания при обработке зерна овса по варианту 3, по-

лученное в наших экспериментах (рисунок 2) не согласуется с общим представлением по [1–3] о влиянии влаготепловой обработки на эффективность шелушения. Сравнение графиков Кц.я. на рисунках 1 и 2 определённо указывает на отрицательное влияние операции подсушивания.

Объяснение этому явлению может быть следующим. Состояние и свойства пропаренного зерна в результате подсушивания определяются многими факторами, в т. ч. скоростью сушки. Скорость сушки зерна, в свою очередь, зависит от температуры агента сушки и продолжительности сушки [5]. Известно, что излишне интенсивное испарение влаги из капиллярно-пористых тел, каковым является зерно, приводит к растрескиванию, разрыхлению таких тел [6, 7]. Поэтому повышенная ломкость ядра при шелушении, фиксируемая снижением коэффициента целости ядра Кц.я., возможно, объясняется именно растрескиванием или разрыхлением ядра в результате излишне интенсивного подсушивания увлажнённого пропариванием зерна.

Следует отметить, что поведение графиков коэффициента эффективности шелушения Ешел как на рисунке 1, так и на рисунке 2 полностью совпадает с поведением соответствующих графиков коэффициента целости ядра Кц.я. Это обстоятельство представляется вполне закономерным, поскольку коэффициент шелушения Кш слабо зависит от давления пропаривания как при обработке зерна по варианту 1, так и по варианту 2, и поэтому вклад его в величину коэффициента эффективности Ешел, куда в соответствии с формулой 3 он входит составной частью, практически не изменяется при изменении давления пропаривания.

Таким образом, результаты выполненной работы показали:

- влаготепловая обработка зерна овса оказывает влияние на все, использованные в данной работе, оценки технологической эффективности шелушения этого зерна;

- коэффициент шелушения Кшс увеличением давления пропаривания повышается слабо;

- предложена версия, что слабая зависимость коэффициента шелушения Кш от давления пропаривания при обработке способом только пропаривания обусловлена мгновенным влагонасыщением цветковых плёнок до предельного уровня их влагоёмкости во всём исследованном диапазоне давлений пропаривания;

- предложена версия, что слабая зависимость коэффициента шелушения Кш от давления пропаривания при обработке способом пропаривания с последующим интенсивным подсушиванием обусловлена очень быстрым и практически полным их обезвоживанием во всём исследованном диапазоне давлений пропаривания;

- высокая скорость подсушивания пропаренного зерна отрицательно влияет на оценки коэффициента цельности ядра Кц.я и коэффициента эффективности шелушения Ешел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, Г. А. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства: учеб. для вузов по специальности «Экономика и организация промышленности продовольственных товаров» / Г. А. Егоров, Е. М. Мельников, В. Ф. Журавлев. – Москва : Колос, 1979. – 368 с.

2. Мельников, Е. М. Технология крупяного производства: [учеб. для системы хлебопродуктов] / Е. М. Мельников. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 207 с. : ил.

3. Бутковский, В. А. Технологии зерноперерабатывающих производств / В. А. Бутковский, А. И. Мерко, Е. М. Мельников. – Москва : Интеграф сервис, 1999. – 472 с. : ил.

4. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях / ВНИИ зерна и продуктов его переработки. – Москва : [б. и.], 1990. – Ч. 1. – 80 с.

5. Резчиков, В. А. Технология зерносушения : учеб. / В. А. Резчиков, О. Н. Налеев, С. В. Савченко ; под ред.В. А. Резчикова. – Алматы : Изд-во Алматинского технолог. ун-та, 2000. – 363 с.

6. Медведев, Г. М. Технология макаронного производства / Г. М. Медведев. – Москва : Колос, 1998. – 272 с.

7. Технологии пищевых производств : учебник / А. П. Нечаев, И. С. Шуб, О. М. Аношина [и др.] // Под ред. А.П. Нечаева. – Москва : КолосС, 2008. – 768 с. : ил.

***Брасалин Сергей Николаевич**, к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», gradient.bsn55 @yandex.ru.*

***Минаков Александр Сергеевич**, магистрант, гр. 8ПРС(з)-81, ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.009
УДК 637.138

ПИЩЕВАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ НОВОГО ВИДА ТВОРОЖНОГО ПРОДУКТА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО (СПОРТИВНОГО) ПИТАНИЯ

А. Г. Бухарев, Н. Б. Гаврилова, Е. М. Щетинина

В статье приведено научное обоснование актуальности разработки биотехнологии творожного продукта специализированного (спортивного) питания, основанное на данных Росстата и нормативных документах о пищевой продукции для питания спортсменов. Оптимизирован компонентный состав нового вида специализированного продукта путём использования двух видовой закваски с пробиотическими культурами и специальных ингредиентов: концентрата сывороточных белков Milkiland-WPC 80; глутамина; цветочной пыльцы, что способствовало обогащению нового продукта свободными незаменимыми аминокислотами, витаминами, минеральными веществами, а также повысило его усвояемость и стабильность работы желудочно-кишечного тракта спортсмена вследствие потребления специализированного продукта, содержащего пробиотические культуры в иммобилизованном виде, в количестве не < $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г. Научная новизна отражена в патенте РФ № 2728442. Определены экспериментально с использованием стандартных методов и современных приборов химический состав, свободные аминокислоты, качественный и количественный состав основных витаминов и минеральных веществ, определяющих его пищевую, биологическую и энергетическую ценность. Использование пробиотических культур позволяет считать творожный продукт биоусвояемым.

Ключевые слова: творожный продукт, специальные ингредиенты, пробиотические культуры, биологическая ценность, спортивное питание.

Повышение качества и продолжительности жизни населения страны – одна из первоочередных задач, поставленных перед правительством в рамках выполнения Указа Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1].

В настоящее время здоровый образ жизни становится общемировым трендом, который обусловлен комплексом социальных, экологических и других факторов, имеющих определённые особенности в каждой стране. В связи с чем 70 % населения в мире и 67 % в России активно следят за своим рационом питания. Особенно популярными и востребуемыми являются продукты здорового питания, к которым относятся специализированные пищевые продукты – это продукты с заданными потребительскими свойствами, предназначенные для различных категорий населения, в т. ч. для спортивного питания [2, 3, 4].

В последнее время в Российской Федерации динамично растёт численность населения, занимающихся физкультурой и спортом, как любительским, так профессиональным, которых в настоящее время 50,1 млн. человек, что составляет 36,8 % населения страны [5].

В связи с вышеизложенным наблюдается повышение спроса населения всех возрастных групп к спортивному питанию, что позволяет считать данное направление исследований актуальным.

Творог является универсальным продуктом, т. к. он отличается высокой биологической ценностью и усвояемостью. Белки творога содержат все незаменимые аминокислоты, которые являются жизненно необходимыми. Состояние белков в твороге и творожных продуктах определяет их лёгкую доступность и перевариваемость протеолитическими ферментами [6], что позволило в качестве молочной основы для специализированного продукта выбрать нежирный творог, полученный кислотно-сычужным способом с помощью творожного сепаратора в соответствии с требованиями ГОСТ 31453-2013 [7].

Основным объектом исследований являлось молоко коровье сырое по ГОСТ 31449-2013. В качестве биообъектов использовались закваски:

- Probat 576 FR0500 DCU, культуры Lactobacillusacidophilus, Lactococcuslactis, Lactococcuscremoris, Lactococcusbiovar. Diacetilactis, Leuconostocmesenteroidescremoris;
- АКО-1, основные культуры Lactobacillus bulgaricus, Streptococcus thermophilus;
- Howaru Bifido FRO 100 DCU, культура Bifidobacterium lactis;
- биополимеры: желатин, пектин.

Специальными ингредиентами являлись:

- концентрат сывороточных белков Milkiland-WPC 80;
- глутамин по действующей нормативной документации;
- цветочная пыльца по ГОСТ 28887-90.

В экспериментальных исследованиях использовали стандартные методы исследований. Повторность экспериментов 3–5-кратная. Результаты обрабатывались с использованием методов математической статистики с помощью стандартных пакетов программ «Math CAD-14 Professional».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продукты спортивного питания разрабатываются в соответствии с концепцией спортивного питания в Российской Федерации и ГОСТ 34006-2016 [8, 9].

Научная новизна инновационной технологии отражена в патенте РФ на изобретение № 2728442 [10].

Апробация биотехнологии нового вида творожного продукта проводилась на действующем молочном предприятии АО «Данон Россия» филиал «Чеховский» (г. Чехов) в соответствии со следующей блок схемой (рисунок 1).



Рисунок 1 – Блок-схема биотехнологии производства творожного продукта для питания спортсменов

Исследование органолептических показателей, физико-химических и микробиологических показателей проводились в аттестованной лаборатории предприятия. Контрольные исследования содержания белка, аминокислот, витаминов, минеральных веществ осуществлялись в испытательной лаборатории «Молоко» (ФГАНУ «ВНИМИ», г. Москва).

Каждый продукт, прежде всего предназначенный для специализированного питания, характеризуется пищевой ценностью – это понятие отражает всю полноту полезных свойств и его способность удовлетворить потребность человека, в данном случае, спортсмена в основных и дополнительных пищевых веществах и энергии.

Понятие «пищевая ценность» включает в себя «биологическую и энергетическую» ценность.

Для определения биологической ценности изучены белки и свободные аминокислоты, результаты представлены в таблице 1.

Анализ данных, представленных в таблице 1, свидетельствует о биологической полноценности творожного продукта и отсутствии лимитирующей аминокислоты. Качественный и количественный состав основных витаминов и минеральных веществ приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Определение качественного и количественного состава белков творожного продукта

Наименование показателя	Фактические значения	(± отклонение)	НД на методы анализа
Физико-химические показатели:			
Массовая доля общего белка, %	17,55	(± 0,15 %)	ГОСТ 34454-2018
Содержание β-лактоглобулина А, мг/мл	1,33	(± 0,5 % относ.)	Метод ВЭЖХ
Содержание β-лактоглобулина В, мг/мл	4,05	(± 0,5 % относ.)	Метод ВЭЖХ
Содержание α-лактоальбумина, мг/мл	2,97	(± 0,5 % относ.)	Метод ВЭЖХ
Содержание аминокислот, мг/100 г продукта:			
Аргинин	849,3	(± 6,0 % относ.)	Метод капиллярного электрофореза (КЭФ) ГОСТ 33428-2015, Р4.1.1671-03
Лизин	946,2	(± 6,0 % относ.)	
Тирозин	742,7	(± 6,0 % относ.)	
Фенилаланин	626,7	(± 6,0 % относ.)	
Гистидин	653,0	(± 6,0 % относ.)	
Лейцин + изолейцин	877,9	(± 6,0 % относ.)	
Метионин	538,4	(± 6,0 % относ.)	
Валин	580,4	(± 6,0 % относ.)	
Пронин	1646,0	(± 6,0 % относ.)	
Треонин	523,7	(± 6,0 % относ.)	
Серин	756,0	(± 6,0 % относ.)	
Аланин	418,1	(± 6,0 % относ.)	
Глицин	247,1	(± 6,0 % относ.)	
Триптофан	363,1	(± 6,0 % относ.)	
Аспарагин	904,5	(± 6,0 % относ)	
Цистсин	1373,0	(± 6,0 % относ.)	
Глутамин	4460,1	(± 6,0 % относ.)	

Таблица 2 – Состав основных витаминов и минеральных веществ творожного продукта

Наименование и содержание показателя	Фактические значения	(± отклонение)	НД на методы анализа
Витамины:			
С (аскорбиновой кислоты), мг/100г	0,50	(± 22,0 % относ.)	ГОСТ 34151- 2017
А (ретинола), мг/100г	0,891	(± 20,0 % относ.)	ГОСТ 32043- 2012
Е (токоферола), мг/100г	0,399	(± 20,0 % относ.)	ГОСТ EN 12822-2014
D_3 (холекальциферола), мкг/100 г	менее 0,004	(± 20,0 % относ.)	ГОСТ 32916- 2014
Минеральные вещества:			
Кальция (Ca), мг/кг	725,92	(± 15,0 % относ.)	ГОСТ EN 15505-2013
Калия (K), мг/кг	281,81	(± 12,0 % относ.)	ISO8070:2007
Натрия (Na), мг/кг	112,96	(± 15,0 % относ.)	ГОСТ EN 15505-2013
Магния (Mg), мг/кг	5,83	(± 13,0 % относ.)	ГОСТ EN 15505-2013
Железа (Fe), мг/кг	менее 0,010	(± 15,0 % относ)	ГОСТ 30178-96
Цинка (Zn), мг/кг	13,58	(± 20,0 % относ.)	ГОСТ 30178-96

Таблица 3 – Химический состав и энергетическая ценность творожного продукта

Наименование	Массовая доля, %			Энергетическая ценность	
	жира	белков	углеводов		
Творожный продукт	1,5 ± 0,5	18,0 ± 1,0	5,0 ± 0,5	109,5 ± 0,5	457,7 ± 1,0

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о присутствии основных водо- и жирорастворимых витаминов А, С, Е, D в профилактическом количестве в 100 г творожного продукта, который за счёт внесения специальных ингредиентов также содержит минеральные вещества Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn. Химический состав и энергетическая ценность нового творожного продукта представлена в таблице 3.

ВЫВОДЫ

На основании результатов аналитических и экспериментальных исследований дано научное обоснование и определён современный тренд разработки биотехнологических параметров специализированного молочного (творожного) продукта, рекомендуемого для питания спортсменов. Оптимизирован компонентный состав нового вида специализированного продукта путём использования двух видовой закваски с пробиотическими культурами и специальных ингредиентов, что способствовало обогащению нового продукта свободными незаменимыми аминокислотами, витаминами, минеральными веществами, а также повысило его усвояемость и стабильность работы желудочно-кишечного тракта спортсмена вследствие потребления специализированного продукта, содержащего пробиотические культуры в иммобилизованном виде, в количестве не < $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

2. Филиппова, О. Н. Оценка связи между работоспособностью спортсменов и витаминно-минеральной насыщенностью организма / О. Н. Филиппова, Р. С. Рахманов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1067.

3. Гаврилова, Н. Б. Современное состояние и перспективы развития производства специализированных продуктов для питания спортсменов / Н. Б. Гаврилова, М. П. Щетинин, Е. А. Молибога // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 2. – С. 100-106.

4. Гаврилова, Н. Б. Научно-экспериментальное обоснование рецептуры специализированного продукта для питания спортсменов, обогащённого пробиотическими микроорганизмами / Н. Б. Гаврилова, М. П. Щетинин, Н. Л. Чернопольская // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – № 5. – С. 22–28.

5. Постановление Правительства РФ от 25 января 2019 г. № 40 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта».

6. Зобкова, З. С. Кисломолочные продукты как составляющая функционального питания / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // Молочная промышленность. – 2019 – № 2. – С. 44–46.

7. ГОСТ 31453-2013. Творог. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2013, – 10 с.

8. Приказ Министерства спорта, туризма и молодёжной политики РФ от 24 декабря 2010 г. № 1414 «Об утверждении Концепции спортивного питания в Российской Федерации и подготовке Плана мероприятий по реализации Концепции спортивного питания в Российской Федерации».

9. ГОСТ 34006-2016. Продукция пищевая специализированная. Продукция пищевая для питания спортсменов. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. 2017. – 11 с.

10. Пат. № 2728442 РФ, МПК A23C 23/00 (2006.01). Творожный продукт / Н. Б. Гаврилова, А. Г. Бухарев ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО ОмГАУ. – № 2019140775 ; заявл. 09.12.2019; опубл. 29.07.2020. – Бюл. № 22.

Бухарев Андрей Геннадьевич, *аспирант кафедры «Продуктов питания и пищевой биотехнологии агротехнологического факультета», ФГБОУ ВО ОмГАУ, тел. 8(3812) 65-14-54.*

Гаврилова Наталья Борисовна, *д.т.н., профессор кафедры «Продуктов питания и пищевой биотехнологии агротехнологического факультета», ФГБОУ ВО ОмГАУ, тел. 8(3812) 65-14-54.*

Щетинина Елена Михайловна, *к.т.н, доцент кафедры «Технологии продуктов питания», ФГБОУ ВО АлтГТУ, ФГБОУ ВО МГУПП, тел. 8(3852)29-07-54.*

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.010
УДК 637.521.47

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВАРЕНО-КОПЧЕНЫХ КОЛБАС ИЗ ОЛЕНИНЫ

А. Т. Инербаева

Приведена оценка качества оленины как сырья для производства варено-копченых колбасных изделий. Первоначально дана характеристика мяса северных оленей, являющегося высокобелковым сырьем, имеющим структурные и технологические особенности. Туши северных оленей, доставленные от поставщика в замороженном виде, в зависимости от упитанности согласно нормативным требованиям отнесены нами к первой категории. По показателям органолептической оценки туши на тот момент были свежими и без постороннего запаха. В соответствии с требованиями ТРТС 021/2011 и СанПиН 2.3.2.1078-01, микробиологические показатели удовлетворяли санитарным нормам. Продовольственное сырье в виде оленины, прошедшее ветеринарно-санитарную экспертизу, соответствовало форме № 2 органов государственной ветеринарной службы. Разработанный технологический процесс производства варено-копченых колбасных изделий трех наименований – колбас «Северная», «Сервелат» и «Полярная». После изготовления мясных колбасных изделий их образцы были подвергнуты испытаниям на микробиологическую безопасность, физико-химические исследования и органолептическую оценку. Проведенная оценка качества и безопасности образцов продуктов переработки северной оленины показала соответствие гигиеническим требованиям и нормам рационального питания.

Ключевые слова: оценка качества, мясо, показатели безопасности, оленина, технология, варено-копченые колбасы.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества продукции является надежным путем наиболее полного удовлетворения потребности страны в необходимом сельскохозяйственном сырье и растущего спроса народа на разнообразные и высококачественные продукты питания. Проблема качества ставится нашим руководством и Правительством страны на первый план [1, 2].

Актуальность проблемы качества, чистоты сельскохозяйственного сырья и готовой продукции для перерабатывающей промышленности не вызывает сомнений, поскольку в настоящее время изменяются характер питания населения, производство, хранение и распределение продуктов питания, внедряются новые технологические процессы, применяется все более возрастающее количество различных химических добавок и т. п.

В настоящее время в связи с интенсивным освоением районов Крайнего Севера и перспективами развития продовольственной базы региона особое внимание уделяется вопросам рационального использования оленины, являющейся основным источником белка животного происхождения в этой климатической зоне.

В отличие от других животных, содержание северных оленей не требует больших затрат, для них не нужно строить животноводческие помещения, запасать корма и т. д. Северные олени приспособились к использованию всех растительных ресурсов Крайнего Севера и питаются круглый год подножным кормом. В районах Крайнего Севера оленеводство занимает особое положение, т. к. с ним связана жизнь народностей этого региона и оно является главным источником поставки мяса.

За последние годы в северных районах страны были проведены широкие мероприятия по интенсификации оленеводства как ведущей сельскохозяйственной отрасли Крайнего Севера. В связи с этим большое значение приобретают вопросы производства и рационального использования продукции оленеводства как основного источника удовлетворения потребностей населения этого региона в продуктах питания. Отечественная наука располагает обширными материалами о составе и качестве оленьего мяса и его изменениях в связи с влиянием различных климатических и экологических факторов, условий кормления и содержания, породным составом и половозрастными особенностями животных [3, 4].

Из пищевых веществ, необходимых для удовлетворения физиологической и биологической потребности организма человека, самым ценным является белок, особенно животного происхождения, который усваивается на 93–96 % организмом [5]. Являясь источни-

ком аминокислот, особенно незаменимых, он необходим для роста и обновления структурных элементов организма человека.

Известно, что оленина не уступает говядине по содержанию белка (20,4–23,16 %), богата экстрактивными, минеральными веществами и витаминами. По цвету мясо оленей немного темнее говядины, это связано с повышенным содержанием гемоглобина в крови животного, оно очень нежное за счет мелкой зернистости и тонкости мышечных волокон [6].

Перед мясной промышленностью страны поставлена задача добиться максимального использования сырьевых ресурсов, улучшение ассортимента и повышение качества вырабатываемой продукции, решение проблемы сбалансированного питания населения, что связано с улучшением качества выпускаемой продукции. Ранее нами было изучено качество говядины сибирских пород КРС [7].

Целью настоящей работы являлась оценка качества, безопасности туш, мяса северных оленей, а также разработка технологии производства варено-копченых колбасных изделий из оленины и их оценка.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследованиях объектом являлось мясо оленя, полученное от поставщика по хоздоговору из Крайнего Севера (г. Норильск) в количестве трех туш, разрубленных на полутуши, а также продукты переработки – варено-копченые колбасные изделия ассортиментом из трех наименований – «Северная», «Сервелат» и «Полярная».

Продовольственное сырье в виде оленины по ветеринарному законодательству удовлетворяло требованиям ветеринарно-санитарной экспертизы [8].

Физико-химические показатели, безопасность продовольственного сырья и готовых образцов варено-копченых колбасных изделий были подвергнуты испытаниям в Областной ветеринарной лаборатории и Центре стандартизации и метрологии г. Новосибирска. Качество продовольственного сырья и готовой продукции гарантируют нормативные документы РФ [9, 10].

Органолептические показатели качества исследованы в СибНИИП Россельхозакадемии. В основном использованы общепринятые стандартные методы исследований, в т. ч. теоретические и экспериментальные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сырье, полученное нами от поставщика с Норильска, было оценено нами по РСТ РСФСР 402-90 (ныне ГОСТ 32227-2013) с соблюдением имеющихся санитарных и ветеринарных правил [11]. Туши оленей были маркированы круглым клеймом диаметром 40 мм. По термическому состоянию мясо оленя характеризовалось как замороженное сырье.

В зависимости от упитанности, согласно описанию из нормативного документа, первая категория наиболее подходила к рассматриваемым нами тушам северных оленей. Формы туловища были округлые, мускулатура развита хорошо; седалищные бугры и маклоки слегка заметны; остистые отростки спинных и поясничных позвонков не выступают. Подкожные жировые отложения прощупываются у основания хвоста [12].

Оценка органолептических показателей туш оленей констатировала факт свежести и отсутствия постороннего запаха, по термическому состоянию сырье было доставлено в замороженном виде. Свежее мясо северных оленей характеризуется хорошо развитой мускулатурой.

Мышечная ткань была красного цвета, имела мелкую зернистость и тонкую волокнистость, однородную на поперечном разрезе. Мраморность совершенно отсутствовала, прослойки соединительной ткани в мышцах были незначительными и рыхлыми, это придает мясу нежность.

После разделки туши оленя мякоть на разрезе выглядела эластичной, блестящей, умеренно влажной, а жир был слабо розового цвета с твердой консистенцией.

В последние годы большое внимание уделяется изучению остаточного количества и видового состава микробов в пищевых продуктах, главным образом с позиции их санитарно-гигиенической оценки [13]. По микробиологическим показателям оленина соответствовала гигиеническим нормам (таблица 1).

Таблица 1 – Микробиологическая безопасность мясного сырья

Наименование	Оленина
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более 1×10^4)	Менее 1×10^4
БГКП *(коли-формы)* в 0,01 г	Не обнаружено
Listeriamonocytogenes, в 25 г	» »
Патогенные бактерии, в т. ч. рода *Salmonella* в 25 г	» »

Остальные требуемые показатели безопасности мяса оленей привели к следующим результатам: токсичные элементы, мг/кг (кадмий – менее 0,03; свинец – 0,022; мышьяк – менее 0,05; ртуть – менее 0,0015); антибиотики (левомицетин, тетрациклин, гризин, бацитрацин – не обнаружены); ГХЦГ – гексахлорциклогексан (альфа, бета, гамма изомеры – не обнаружены); ДДТ – диметилдинитротолуол и его метаболиты – не обнаружены; радионуклиды (цезий 137 – 1,20 Бк/кг; стронций 90–3,10 Бк/кг).

Кроме того, при приемке туш оленей провели их оценку мясных качеств по морфологическому составу путем обвалки трех туш, первоначально осмотрев и подвергнув дополнительной зачистке, промывке и размороздке. Перед обвалкой каждую тушу взвешивали и после отделения мяса от костей определяли соотношение мышечной, жировой, соединительной и костной тканей к весу туши.

Как и у других убойных животных, основную массу в оленине занимает мышечная ткань (65,6–72,8 %). Содержание костей в оленьих тушах составило 18,2–22,3 %, жира – 0,9–11,0 %, соединительной ткани – 4,2–7,9 %.

Проведенными ранее нами исследованиями подтверждено, что мясо оленей представляет собой полноценный высокопитательный продукт, в котором содержится до 22 % белка и до 9 % жира. Калорийность 100 г. оленины составляет до 168 ккал. Белковый показатель равен 6,8 [14].

Колбасные изделия являются предметом постоянного и массового потребления, благодаря высокой питательной ценности, своеобразным качеством по вкусу и удобству в употреблении. Варено-копченые колбасы обладают специфическим ароматом и вкусом, стойкостью при хранении и пользуются особым спросом у населения.

Нами разработанный технологический процесс производства варено-копченых колбас из оленины осуществлялся в соответствии с технологической инструкцией на эти мясные изделия.

Подготовку мясного сырья проводили путем размораживания при температуре 8–10 ºС в течение 20–24 час до тех пор, пока температура в толще туш будет не ниже 1 ºС, затем направили на обвалку.

Разделку сырья провели, согласно схеме разделки по ГОСТ 32243-2013 [11]. При жиловке мяса удаляли пленки, сухожилия, хрящи, лимфатические узлы, кровоподтеки, выделили первый сорт, оленина содержала соединительной ткани до 8 %. В процессе жиловки мясо разрезали на куски массой от 100 до 500 г. Перед измельчением жир-сырец, шпик охлаждали до температуры –1 ºС.

Сырье, пряности, оболочки подготавливали следующим образом: чеснок разделили на дольки, почистили, промыли в холодной проточной воде и измельчили на волчке с диаметром отверстий решетки 2–3 мм. Смеси пищевых добавок, пряностей производили в соответствии с технологической инструкцией.

Для посола при составлении фарша по изготовлению варено-копченых колбас использовали жилованную оленину в мелком измельчении (мясо, измельченное на волчке с диаметром отверстий решетки 2–3 мм). После взвешивания оленины ее перемешивали на мешалках с сухой поваренной солью на 100 кг сырья.

Измельченную оленину мы перемешивали в мешалке примерно 5 минут с добавлением ингредиентов, предусмотренных рецептурой. Затем добавили другие составляющие по рецептуре, а после – соль, рассчитанную на белок и несоленое сырье. Продолжительность перемешивания составила 5 минут. Затем внесли сахар, пряности и чеснок. В последнюю очередь добавили свиную грудинку, равномерно рассыпая ее по поверхности фарша, температура которой не превысила 12 ºС.

Наполнение оболочек фаршем произвели пищевыми шприцами без применения вакуума. Для варено-копченых колбас «Сервелата», «Полярная» оболочками послужили искусственные диаметром 45 мм, для «Северной» – черевы свиные, связанные кольцами. Вязку батонов произвели льняными нитками в соответствии с требованиями технических условий. Из батонов в натуральной оболочке удалили воздух, попавший вместе с фаршем, путем прокола оболочки. Минимальная длина батонов была 30 см. Свободные концы оболочки и льняной нитки были 2 см. После вязки батоны навешивали на палки, которые затем размещали на рамах, при этом следили, чтобы батоны не соприкасались друг с другом во избежание слипов.

Осадку для варено-копченых колбас осуществляли в течение 1–2 суток при температуре 4–8 ºС.

Термическую обработку проводили в комбинированных камерах с автоматическим регулированием температуры и относительной влажностью дымо-воздушной среды.

Для обжарки и копчения дым получили от сжигания древесных опилок лиственных

пород непосредственно в камерах под продуктом.

Готовые мясные изделия сшили при температуре 10–12 ºС и относительной влажности воздуха 75–78 % в течение 1–2 суток для приобретения упругой консистенции и стандартной массовой доли влаги. Затем продукты охлаждали в камере до температуры в толще продукта не выше 8 ºС.

Среди исследователей еще не сложилось единого мнения по поводу допустимого остаточного количества микробов в колбасных изделиях. Общепринятым является лишь то, что в готовом продукте не должны быть обнаружены патогенные и условно-патогенные микроорганизмы [13].

После проведения всех этапов технологического процесса готовые образцы продуктов питания – копчено-вареных колбасных изделий – подвергали испытаниям на показатели безопасности (таблица 2), физико-химическим и органолептическим исследованиям.

Таблица 2 – Микробиологическая безопасность варено-копченых колбас из оленины

Наименование	«Северная»	«Сервелат»	«Полярная»
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более 1×10^4)	Менее 1×10^4	» »	» »
БГКП *(колиформы)* в 0,01 г	Не обнаружено	» »	» »
Listeriamonocytogenes, в 25 г	Не обнаружено	» »	» »
Патогенные бактерии, в т. ч. рода *Salmonella* в 25 г	Не обнаружено	» »	» »
S/ aureus1,0	Не обнаружено	» »	» »
Сульфитредуцирующие клостридии 0,01	Не обнаружено	» »	» »

Испытания всех образцов колбасных изделий на остальные требуемые показатели безопасности привели к следующим результатам: токсичные элементы, мг/кг (свинец – менее 0,2; кадмий – менее 0,004; мышьяк – менее 0,006; ртуть – менее 0,001); антибиотики (левомицетин – менее 0,004, тетрациклин, гризин, бацитрацин – не обнаружены); ГХЦГ – гексахлорциклогексан – менее 0,03); ДДТ – диметилдинитротолуол и его метаболиты – менее 0,02; радионуклиды (цезий 137 – менее 2 Бк/кг; стронций 90 – менее 4 Бк/кг).

По результатам испытаний образцы готовых варено-копченых колбас из мяса северного оленя соответствовали санитарным нормам.

Оценка органолептических показателей мясных продуктов проводилась в лаборатории института. У всех образцов внешний вид оказался таковым: поверхность батонов была чистой, сухой, без пятен, слипов, повреждений оболочки и наплывов фарша. Консистенция у всех образцов колбас была упругой. Вид на разрезе у колбас: фарш был равномерно перемешан, без серых пятен и пустот. Присутствовала мелкая пористость. Фарш содержал кусочки шпика 3 мм. Вкус и запах были приятными, слегка острыми, в меру солеными, с выраженным ароматом пряностей, копчения, с запахом чеснока, без посторонних запахов и привкусов. Форма и вязка батонов у «Северной» – батоны связаны кольцами, у «Сервелата» и «Полярной» – батоны прямые длиной 45 см, оболочка искусственная диаметром 45 мм.

Показатели физико-химических испытаний образцов варено-копченых колбасных изделий представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели физико-химических испытаний варено-копченых колбас из оленины

Показатель	Содержание		
	«Северная»	«Сервелат»	«Полярная»
Массовая доля белка, %	19	20	19
Массовая доля жира, %	20	16	20
Массовая доля влаги, %	54	43	43
Массовая доля хлористого натрия, %	4,0	» »	» »
Массовая доля нитрита натрия, %	0,005	» »	» »
Температура в толще продукта, ºС	от 0 ºС до 8 ºС	» »	» »
Энергетическая ценность, ккал	256	224	256

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка качества туш и мяса оленей показала безопасность продовольственного сырья. Разработан технологический процесс производства трех наименований варено-копченых колбасных изделий из оленины – «Северная», «Сервелат» и «Полярная», который позволит утвердить технические условия на мясные продукты из оленины. Данная хоздоговорная и научно-исследовательская деятельность позволит объек-

тивно оценить перспективы использования мяса северных оленей [14, 15]. Это будет нашим ответом на зарубежные санкции и укрепление российской продовольственной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». [Электронный ресурс]: http:// www.pravo.gov.ru.

2. Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208. «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]: http://www.garant.ru› 71572608.

3. Соломаха, О. И. Мясная продуктивность диких северных оленей. – В кн. : Мясная продуктивность северных оленей и пути ее повышения / О. И. Соломаха [и др.]. – Новосибирск, Сиб. отдние ВАСХНИЛ. – 1982. – С. 20–26.

4. Южаков, А. А. Возрастные изменения пищевой ценности мяса домашних северных оленей // Генетика и разведение животных. – 2018. – № 2. – С. 129–134.

5. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения российской Федерации. Методические рекомендации (МР 2.3.1.2432- 08). – М., 2008. – 43 с.

6. Колобов, С. В. Оленина – перспективное сырье для производства мясных продуктов высокого качества из отечественного сырья / С. В. Колобов, О. В. Орлова, И. А. Зачесова // Товаровед продовольственных товаров. – 2016. – № 3. – С. 50–56.

7. Инербаева, А. Т. Оценка качества говядины в зависимости от исследуемой породы скота / А. Т. Инербаева, Б. О. Инербаев, Н. В. Борисов // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 33–36.

8. Роббек, Н. С. Ветеринарно-санитарная оценка оленины / Н. С. Роббек, А. И. Барашкова, А. Д. Решетников // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 6–3. – С. 73–76.

9. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – Новосибирск. – 2002. – 205 с.

10. ТРТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. – № 880. – 242 с. [Электронный ресурс]: http: // www. StandartGost.ru›gost/by_pkey/14293799243.

11. ГОСТ 32227-2013 Олени для убоя. Оленина в тушах и полутушах. Технические условия. – М. : Стандартинформ. – 2014. – 14 с.

12. ГОСТ 32243-2013 Мясо. Разделка оленины на отрубы. Технические условия. – М. : Стандартинформ. – 2014. – 12 с.

13. Санитарная микробиология / Н. В. Билетова, Р. П. Корнелаева, Л. Г. Кострикина [и др.] ; под ред. С. Я. Любашенко. – М. : Пищевая промышленность, 1980. – 352 с.

14. Основные проблемы переработки продуктов северного оленеводства и пути их решения / В. А. Углов [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9–1. – С. 31–34.

15. Кудряшов, Л. С. Оценка мяса оленей и качества выработанных продуктов / Л. С. Кудряшов // Мясная индустрия. – 2011. – № 7. – С. 8–12.

***Инербаева Айгуль Тойкеновна**, к.т.н., ведущий научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, п. Краснообск, Новосибирской области, Россия, а/я 463, e-mail: atinerbaeva @yandex.ru.*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.011
УДК 663.479.1.022.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРОБИОТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР НА ПРОЦЕССЫ БРОЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБНОГО КВАСА

В. Е. Евграфова, М. Н. Колесниченко, В. Г. Курцева

Ведущим направлением в усовершенствовании ассортимента и рецептуры напитков является применение натурального растительного и животного сырья для их производства, с целью получения напитков, обогащенных натуральными многофункциональными ингредиентами и обладающих общеукрепляющими и лечебно-профилактическими свойствами.

Квас является традиционным безалкогольным напитком в нашей стране.

Основой любого кваса является хлебная закваска, поэтому многие люди способны готовить его в домашних условиях, с добавлением ржаных корочек. Помимо этого, в состав кваса могут входить плоды различных ягод и другое растительное сырьё, например, квас можно приготовить с добавлением чёрной смородины, белой, жимолости, мяты, малины и т. д. Это сырьё используют как дополнительное – для улучшения вкусовых качеств кваса, внешних показателей, изменения запаха и главное – изменения витаминного состава напитка.

Цель данной работы: провести аналитический обзор приготовления жидких ржаных заквасок с добавлением растительного сырья и пробиотических культур, анализ их применения в производстве и возможность применения в приготовлении кваса, анализ готового кваса. Итоги исследования показали, что внесение экстрактов растительного сырья и пробиотиков в закваску обеспечивают наилучшие их показатели качества и готового кваса.

Ключевые слова: листья смородины черной, мелисса лекарственная, экстракт, пробиотики, дрожжи, жидкая ржаная закваска, кислотность, количество дрожжевых клеток, брожение, квасное сусло, хлебный квас.

Потребительский рынок пищевой продукции представляет собой важнейшую часть современной экономики Российской Федерации и требует комплексного и системного развития.

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. ориентирована на обеспечение полноценного питания, профилактику заболеваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества.

Потребление пищевой продукции с низкими потребительскими свойствами является причиной снижения качества жизни и развития ряда заболеваний населения, в т. ч. за счет необоснованно высокой калорийности пищевой продукции, сниженной пищевой ценности, избыточного потребления насыщенных жиров, дефицита микронутриентов и пищевых волокон.

При разработке рецептур различных функциональных продуктов повышенной пищевой ценности, созданных для усовершенствования самочувствия человека, основным образом, является подбор сырья с полезными свойствами и высокими показателями качества.

Преимущественно подходящим видом пищевой продукции и хорошей базой для обогащения растворимыми витаминами, минеральными и биологически активными веществами являются безалкогольные напитки. Соответственно, это ставит их в ряд ценных вариантов продуктов питания [2, 5, 6, 11, 12, 13].

Хлебный квас обладает кисло-сладким вкусом и ароматом хлеба. При его употреблении повышается аппетит, хорошо утоляется жажда. В своём составе он имеет молочную кислоту, белки, сахар, всё это образуется в процессе приготовления.

Главной особенностью этого напитка является то, что в состав входят только натуральные природные продукты, без использования различных химических веществ, что является уникальной ценностью данного напитка, в то время как остальные виды продукции в своём составе имеют как минимум усилители вкуса и красители.

Квас – безалкогольный напиток с объемной долей этилового спирта не более 1,2 %, изготовленный в результате незавершенного спиртового или спиртового и молочнокислого брожения сусла.

Сусло может быть приготовлено из растительного сырья или продуктов его переработки, сахара, фруктозы, дектрозы, мальтозы, сиропа глюкозы и других натуральных сахаросодержащих веществ с последующим добавлением или без добавления пищевых добавок.

Использование живых микроорганизмов – пробиотиков – в рецептуре комбинированных заквасок способствует расширению ассортимента квасов брожения, улучшению их качественных показателей и функциональных свойств [12].

Пробиотические культуры способствуют нормальной работе и поддержанию микрофлоры желудочно-кишечного тракта и придают готовому напитку приятный вкус, аромат и насыщенность CO^2 [7, 12].

Полезные свойства кваса заключаются в витаминах: группы В, РР, С, Е, А. Эти витамины способствует улучшению работы пищеварительной системы, состоянию волос, ногтей, кожи. В 100 мл кваса содержится 27 ккал [1, 3, 4].

Все исследования по данной теме проводились в лаборатории кафедры «Технология бродильных производств и виноделия», ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова».

Цель работы: провести аналитический обзор приготовления жидких ржаных заквасок с добавлением экстрактов мелиссы и листьев смородины черной, а также пробиотических культур «Трилакт», анализ их применения в производстве и возможность применения в производстве хлебного кваса.

Задачи исследования: изучить влияние экстрактов мелиссы лекарственной и листьев черной смородины, и пробиотических культур «Трилакт» на показатели качества жидких ржаных заквасок и продолжительность брожения; выбор оптимальных образцов для приготовления хлебного кваса; анализ готовых напитков.

Объекты и методы исследования. В ходе данной работы использовали водные экстракты растительного сырья и заранее подготовленный пробиотический препарат. Для получения жидких ржаных заквасок применяли муку ржаную хлебопекарную обдирную «Алейка», соответствующую нормам ГОСТ Р 7045-2017 (производитель ЗАО «Алейскзернопродукт» им. С.Н. Старовойтова, Россия, г. Алейск), дрожжи хлебопекарные прессованные Saccharomycescerevisiae «Люкс экстра» – ГОСТ Р 54731-2011 (производитель: ООО «Саф-Нева», Россия, г. Санкт-Петербург), жидкий пробиотический препарат «Трилакт», состоящий из комплекса живых лактобактерий: Lactobacilluscasei, Lactobacillusasidophilus, Lactobacillusplantarum (производитель АО «Вектор-БиАльгам», Россия, п. Кольцово, Новосибирская область).

При изучении качества жидких ржаных заквасок и готового кваса использовали стандартные методы: количество дрожжевых клеток определяли методом прямого подсчета под микроскопом в камере Горяева, титруемую кислотность проводили титриметрическим методом согласно стандарту ГОСТ 6687.4-86, массовую долю сухих веществ – методом, соответствующим нормативам ГОСТ 6687.2-90, объемную долю спирта – по ГОСТ 6687.7-88 [12].

Результаты и их обсуждение. В технологии производства хлебного кваса важным этапом является подготовка жидкой ржаной закваски, состоящей из дрожжей и молочнокислых бактерий, от которых, в дальнейшем, зависят органолептические и физико-химические характеристики готового напитка.

Из литературных источников выявлено, что добавление в пищевые полуфабрикаты растительного сырья и пробиотиков позволяет получить изделия с улучшенным запахом, вкусом, повышенной пищевой ценностью и с большим количеством витаминов.

Приготовление закваски велось строго по рецептуре для производства кваса, которая включала в себя 5 фаз размолаживания.

Чтобы определить органолептические и физико-химические показатели жидких ржаных заквасок, вносили экстракты мелиссы и листьев черной смородины в разном соотношении – 1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9 % от массы муки без добавления пробиотиков, образцы под номерами 2–11.

В таком же соотношении вносили экстракты растительных трав – 1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9 % – в первую фазу, и по 5 мл вносили пробиотический препарат «Трилакт», который добавляли в каждую фазу – образцы под номерами 12–21. Образец под номером 1 – Контроль – без добавления растительного сырья и пробиотиков.

Рецептура приготовления жидких ржаных заквасок с внесением растительного сырья и пробиотиков представлена в таблице 1.

Для производства закваски в начале её заготовки из расчетного числа ржаной муки, хлебопекарных прессованных дрожжей (подготовленной дрожжевой суспензии) и воды, температурой 39 ºС, приготовили питательную смесь. Экстракты добавляли в каждую закваску от 1 до 9 % от массы муки на первом этапе приготовления закваски. Заранее из

растительного сырья: мелиссы лекарственной и листьев черной смородины проводили водную экстракцию в течение 90 минут при температуре 70 ºС. Пробиотические культуры «Трилакт» вводили на каждой стадии брожения, предварительно подготовив препарат в термостате: при температуре 37–39 ºС в течение 24 часов [12].

Таблица 1 – Рецептура приготовления жидкой ржаной закваски с внесением растительных экстрактов и пробиотиков «Трилакт»

Наименование сырья и полуфабрикатов	Расход сырья по фазам разводочного цикла, г				
	1	2	3	4	5
Закваска предыдущей фазы, г	–	61,6	152,6	304,3	607,7
Количество муки в закваске, г	–	20	50	150	250
Дрожжи хлебопекарные прессованные, г	1,0	–	–	–	–
Мука ржаная обдирная, г	20	30	50	100	100
Экстракт мелиссы/листья смородины черной, г	5	–	–	–	–
Пробиотический препарат «Трилакт», г	5	5	5	5	5
Подготовленная вода, г	30,6	51,0	91,7	193,4	193,5
Общая масса закваски, г	61,6	152,6	304,3	607,7	1011,2
Продолжительность брожения закваски, ч	10	5	5	5	5

Все сырье тщательно перемешивали до образования однородного состояния.

Готовую гомогенную массу ставили на брожение, продолжительностью около 10 часов при температуре 28–30 ºС.

Далее спустя 10 часов брожения закваску восстанавливали 4 раза через равные интервалы времени (каждые 5 часов), дополняли питательную смесь из расчетного числа муки и воды.

Установлено, что начальная кислотность заквасок увеличивалась с каждой последующей фазой брожения, также росло количество дрожжевых клеток.

Структура закваски густая, тяжело перемешивается. Цвет заквасок с добавлением экстрактов без пробиотика не менялся, а с добавлением «Трилакта» с каждой последующей фазой закваски приобретали светлый оттенок. Наблюдалось обильное выделение CO_2.

К концу брожения заквасок показатель титруемой кислотности установился следующим образом:

- в контрольном образце закваски титруемая кислотность увеличилась в среднем на 8,2 к.ед. по сравнению с исходным значением;

- у образцов закваски с 1,0–9,0 % экстракта мелиссы без пробиотиков «Трилакт» повысилась в среднем на 8,48 к. ед.;

- у образцов закваски с 1,0–9,0 % экстракта листьев черной смородины без пробиотиков «Трилакт» повысилась в среднем на 8,96 к. ед.;

- у образцов закваски с 1,0–9,0 % экстракта мелиссы с пробиотической культурой «Трилакт» повысилась в среднем на 10,08 к. ед.;

- у образцов закваски с 1,0–9,0 % экстракта листьев черной смородины с пробиотической культурой «Трилакт» повысилась в среднем на 10,72 к. ед.

Зависимость титруемой кислотности жидких заквасок от дозировки экстрактов растительного сырья и пробиотика «Трилакт» на продолжительность брожения изображена на рисунках 1–4.

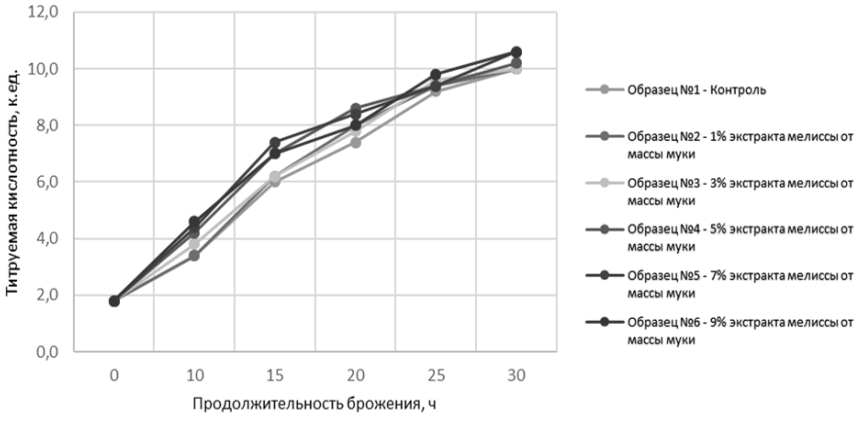


Рисунок 1 – Зависимость титруемой кислотности жидких заквасок от дозировки экстракта мелиссы на продолжительность брожения

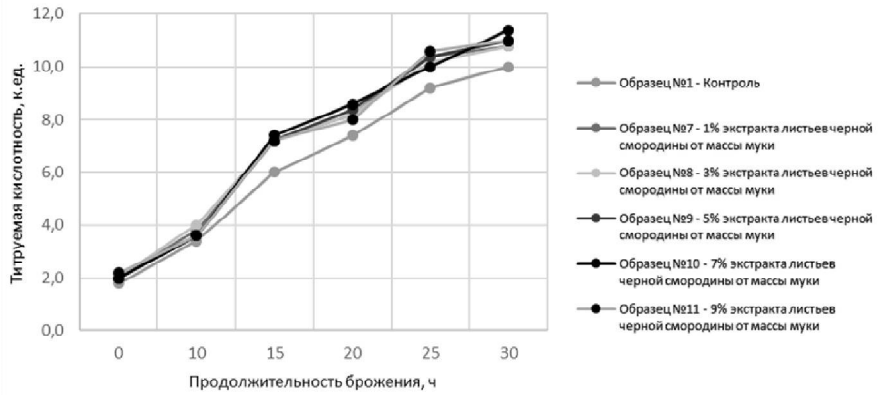


Рисунок 2 – Зависимость титруемой кислотности жидких заквасок от дозировки экстракта листьев смородины черной на продолжительность брожения

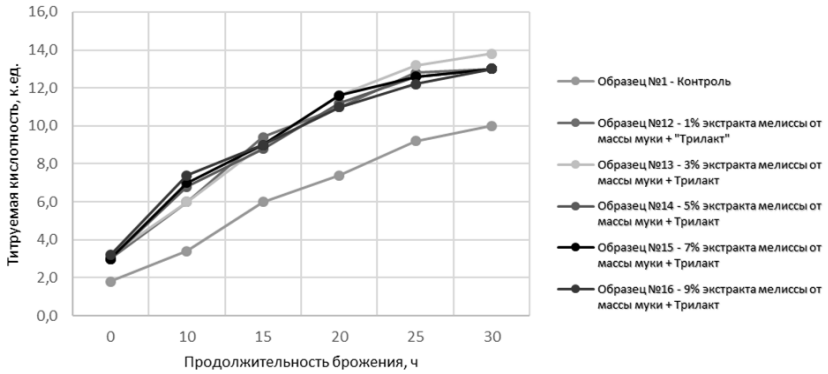


Рисунок 3 – Зависимость титруемой кислотности жидких заквасок от дозировки экстракта мелиссы и пробиотика «Трилакт» на продолжительность брожения

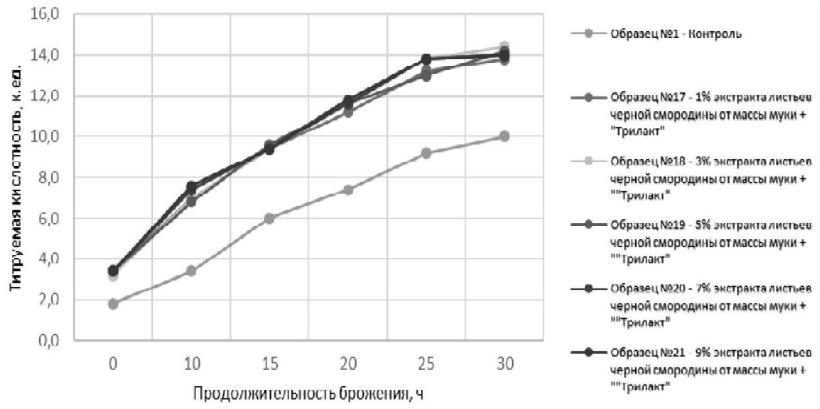


Рисунок 4 – Зависимость титруемой кислотности жидких заквасок от дозировки экстракта листьев смородины черной и пробиотика «Трилакт» на продолжительность брожения

Установлено, что внесение в закваску экстракта листьев черной смородины и пробиотика «Трилакт» усиливает процесс брожения заквасок как спиртовое, так и молочнокислое, за счёт этого происходит рост кислотности заквасок.

Ещё одним важным показателем в ходе брожения является общее число дрожжевых клеток в закваске. Количество дрожжей определяли методом прямого подсчета под микроскопом в счетной камере Горяева [8].

Отметим, что наивысшее количество дрожжевых клеток во всех образцах было на II и III фазах брожения, далее число дрожжевых клеток пошло на спад.

Зависимость количества дрожжевых клеток жидких заквасок от дозировки экстрактов растительного сырья, пробиотиков «Трилакт» на продолжительность брожения представлена на рисунках 5–8.

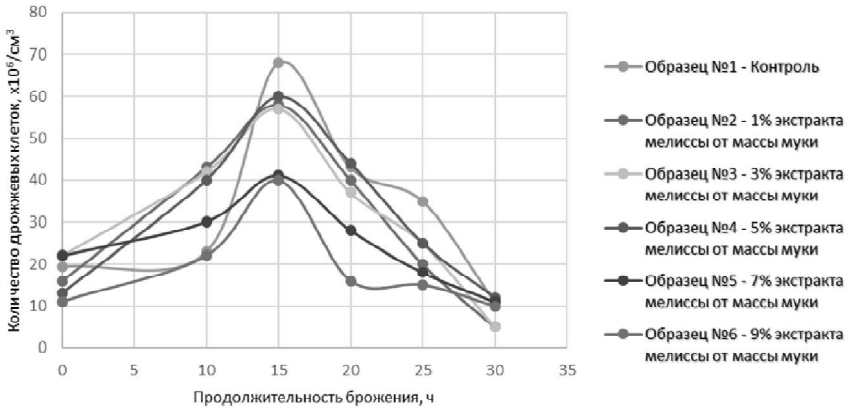


Рисунок 5 – Зависимость количества дрожжевых клеток жидких заквасок от дозировки экстракта мелиссы на продолжительность брожения

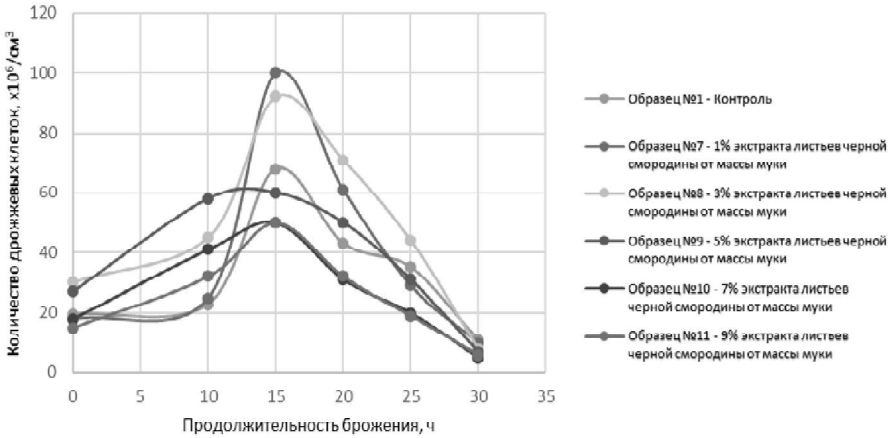


Рисунок 6 – Зависимость количества дрожжевых клеток жидких заквасок от дозировки экстракта листьев смородины черной на продолжительность брожения

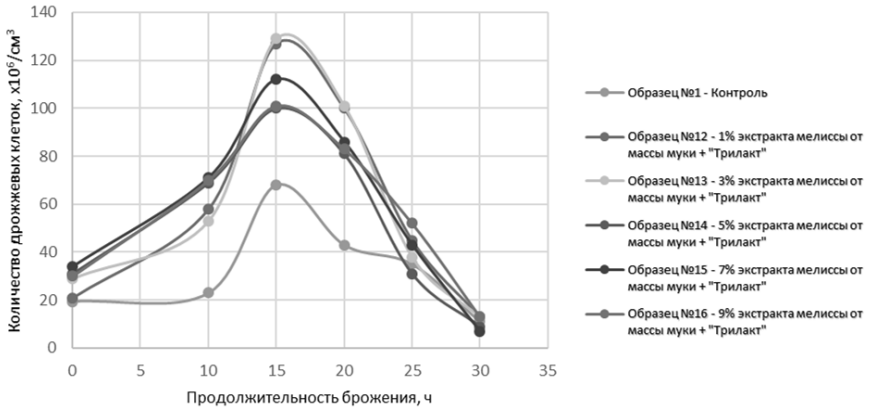


Рисунок 7 – Зависимость количества дрожжевых клеток жидких заквасок от дозировки экстракта мелиссы и пробиотика «Трилакт» на продолжительность брожения

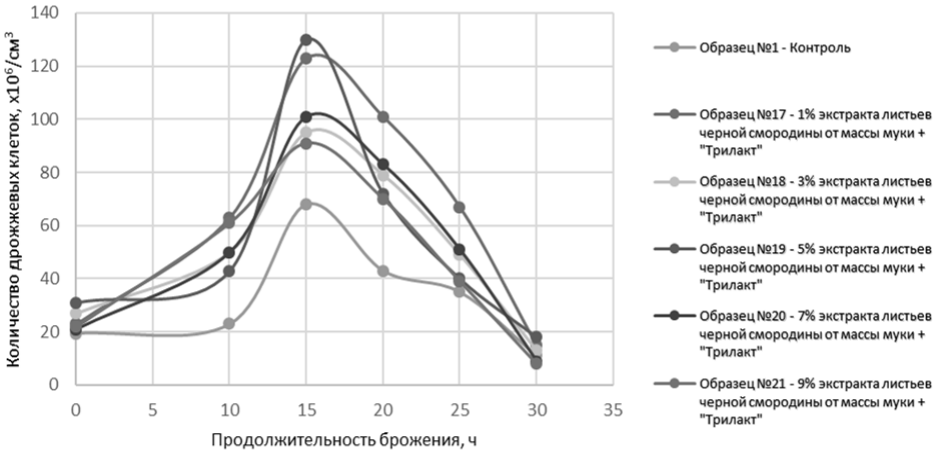


Рисунок 8 – Зависимость количества дрожжевых клеток жидких заквасок от дозировки экстракта листьев смородины черной и пробиотика «Трилакт» на продолжительность брожения

Проанализировав все образцы, были выбраны оптимальные варианты:

1) образец № 4 – с добавлением 5 % экстракта мелиссы от массы муки. Требуемая кислотность (9–11 град.) достигается через 20–25 часов брожения и составляла 8,6–9,4 град, максимальное количество дрожжевых клеток 60–44 КОЕ/см^3 образуется на II и III фазах через 15–20 часов брожения;

2) образец № 19 – с добавлением 5 % экстракта листьев смородины черной от массы муки + 5 г «Трилакта». Требуемая кислотность (9–11 град.) достигается через 15–20 часов в количестве 9,6–11,6 град, максимальное количество дрожжевых клеток 130–72 КОЕ/см^3 образуется на II и III фазах через 15–20 часов брожения.

У остальных образцов количество дрожжевых клеток не достигает таких максимальных пределов и под конец брожения опускается до границ, на котором готовность к последующему брожению снижена. Кислотность у остальных образцов не достигает нужного предела или выделяется в избыточном количестве.

В ходе работы оптимальными вариантами выбраны 3 образца:

1) Образец № 1 – Контроль;

2) Образец № 4 – с добавлением 5 % экстракта мелиссы от массы муки;

3) Образец № 19 – с внесением 5 % экстракта листьев черной смородины от массы муки и 5 г пробиотического препарата «Трилакт».

Впоследствии готовая ржаная закваска использовалась для производства хлебного кваса настойным способом, согласно рецептуре, приведенной в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептура производства хлебного кваса настойным способом на 100 дал

Наименование сырья	Единица измерения	Количество
Закваска ржаная жидкая	дм^3	106
Сухой хлебный квас	кг	400
Сахар-песок	кг	46
Вода подготовленная	дм^3	до 1000

Настойный способ производства квасного сусла заключается в выщелачивании из сухого хлебного кваса экстрактивных веществ в процессе двухразового или трехразового настаивания в горячей воде [1].

При таком методе подготовки сухие вещества хлебного кваса экстрагировали горячей водой при температуре 80–90 ºС из расчета получения квасного сусла в количестве 1/3 от установленного объема. Впоследствии массу настаивали в течение двух часов, периодически помешивая. Отстоявшееся сусло декантировали и охлаждали до температуры около 30 ºС, затем вносили расчетное число сахарного сиропа и ржаной закваски, далее ставили на брожение. Процесс проводился при температуре 28–30 ºС до момента, пока показатель массовой доли сухих веществ не снизился на 1 %, а титруемая кислотность не достигла 2–4 см^3 раствора щелочи, концентрацией 0,1 моль/дм^{3}на 100 см^3 готового хлебного кваса [12].

Титруемую кислотность и массовую долю сухих веществ в ходе брожения исследовали каждый час. Полученная динамика изменения данных показателей изображена на рисунках 9, 10.

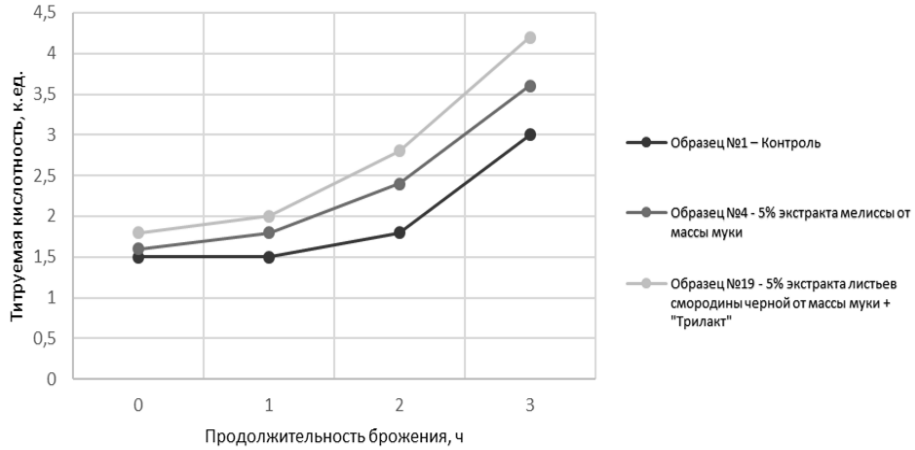


Рисунок 9 – Результаты изменения титруемой кислотности квасного сусла при внесении растительных экстрактов и пробиотических культур в процессе брожения

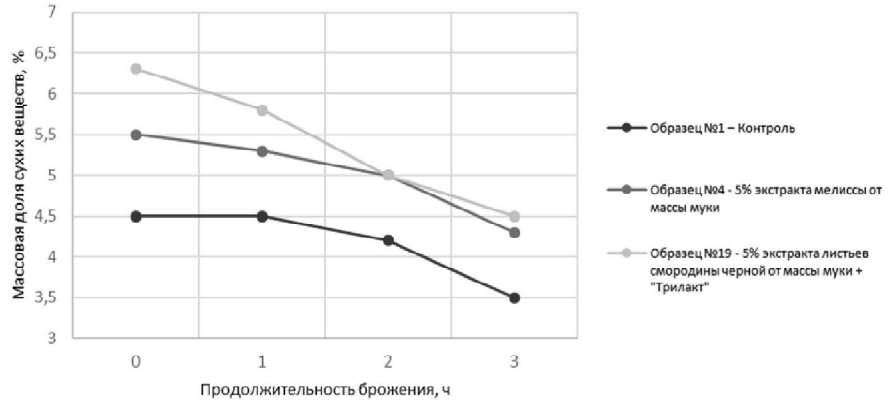


Рисунок 10 – Динамика изменения массовой доли сухих веществ квасного сусла в ходе брожения при внесении водных растительных экстрактов и пробиотических культур

Из графиков, представленных выше, видно, что массовая доля сухих веществ сусла снизилась на 1 %, а также накопление кислотности (2–4 к. ед.) произошло у образца № 19 уже через 2 часа хода брожения.

В готовых образцах хлебного кваса определялись органолептические и физико-химические показатели: объемная доля спирта, массовая доля сухих веществ, титруемая кислотность, результаты которых отражены в таблице 3 [12].

Таблица 3 – Органолептические и физико-химические показатели готовых напитков

Показатели качества	Образец № 1 – Контроль	Образец № 2 (с добавлением 5 % экстракта мелиссы от массы муки)	Образец № 3 (с добавлением 5 % экстракта листьев смородины черной от массы муки и «Трилакта»)	Требования ГОСТ 31494-2012
1	2	3	4	5
Органолептические характеристики образцов:				
Цвет	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Обусловленный цветом сырья
Вкус и аромат	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья. Допускаются дрожжевые привкус и аромат

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Физико-химические показатели:				
Объемная доля спирта, % об.	0,5	0,8	1,0	Не более 1,2
Массовая доля сухих веществ, %	3,5	4,3	4,5	Не менее 3,5
Кислотность, к. ед.	4,6	5,0	6,0	От 1,5 до 7,0

Из представленных данных следует, что органолептические характеристики и физико-химические показатели готовых образцов хлебного кваса настойным способом полностью соответствуют стандарту ГОСТ 31494-2012 [9].

Заключительным этапом исследования была дегустационная оценка готовых образцов хлебного кваса по 25-балльной шкале методом, описанным В. М. Позняковским для безалкогольных напитков [10, 12].

Дегустационная оценка готового хлебного кваса проведена 6 экспертами. Выведены средние результаты, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты дегустационной оценки образцов готового хлебного кваса

Показатели качества	Результаты		
	Образец № 1 – Контроль	Образец № 2 (с добавлением 5 % экстракта мелиссы от массы муки)	Образец № 3 (с добавлением 5 % экстракта листьев смородины черной от массы муки и «Трилакта»)
Прозрачность	Прозрачный	Прозрачный	Прозрачный
Внешний вид и цвет	Балл: 7 Непрозрачная пенящаяся жидкость. Допускается осадок, обусловленный особенностями используемого сырья, без посторонних включений, не свойственных продукту	Балл: 7 Непрозрачная пенящаяся жидкость. Допускается осадок, обусловленный особенностями используемого сырья, без посторонних включений, не свойственных продукту	Балл: 6 Непрозрачная пенящаяся жидкость. Допускается осадок, обусловленный особенностями используемого сырья, без посторонних включений, не свойственных продукту
Вкус и аромат	Балл: 9 Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья	Балл: 12 Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья, с легким ароматом мелиссы	Балл: 12 Освежающий вкус и аромат сброженного напитка, соответствующий вкусу и аромату используемого сырья
Насыщение CO_2	Балл: 6 Обильное насыщение CO^2, но непродолжительное, слабое покалывание на языке, непродолжительное пенообразование	Балл: 6 Обильное продолжительное выделение CO^2, лёгкое покалывание на языке, игра пузырьков	Балл: 6 Обильное продолжительное выделение CO^2, лёгкое покалывание на языке, игра пузырьков
Итого:	22	25	24

В хлебном квасе оценивали следующие показатели: прозрачность, цвет, внешний вид, аромат и насыщение CO_2.

Все три образца готовых напитков имели свой индивидуальный вкус и аромат. В контрольном образце и образце под № 3 не выявлено посторонних привкусов, все показатели отвечали данному типу кваса. В образце № 2 ощущался более выраженный вкус и приятный легкий аромат мелиссы.

По средней органолептической оценке контрольный образец и образец № 3, получившие оценки 22 и 24 балла, заслуживают оценки «хорошо», а образец № 4, получивший оценку 25 балла, – оценки «отлично».

Таким образом, после анализа органо-

лептических показателей, образец с введением в жидкую ржаную закваску 5 % от массы муки экстракта мелиссы, получил более высокую оценку, по сравнению с другими образцами [12].

Выводы. В ходе работы, определили влияние растительного сырья и пробиотических культур на выброженные производственные закваски и готовый квас.

Итоги исследований показали, что добавление водных экстрактов мелиссы и листьев смородины черной, в количестве 5 % от массы муки обеспечивают наилучшие показатели качества жидких ржаных заквасок и готового напитка.

Средняя продолжительность брожения кваса настойным способом составила 14 часов, а у экспериментальных образцов – 3 часа, что позволяет сократить продолжительность брожения кваса на 9 часов.

Полученные результаты показали, что внесение растительного сырья и пробиотических культур «Трилакт» в жидкие ржаные закваски обеспечивают высокие органолептические характеристики и физико-химические показатели качества ржаной закваски и готового кваса.

Таким образом, разработана рецептура хлебного кваса на основе жидкой ржаной закваски с добавлением растительных экстрактов и пробиотика «Трилакт». Полученная рецептура подойдёт для внедрения её на производстве безалкогольной продукции и кваса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Помозова, В. А. Производство кваса и безалкогольных напитков : учеб. пособие / В. А. Помозова. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 192 с.

2. Теплов, В. И. Функциональные продукты питания : учеб. пособие / В. И. Теплов [и др.]. – М. : А-Приор, 2008. – 240 с.

3. Радионова, И. Е. Производство кваса: учеб.-метод. пособие. – СПб. : Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 39 с.

4. Тихомиров, В. Г. Технология пивоваренного и безалкогольного производств : учеб. пособие / В. Г. Тихомиров. – М. : Колос, 1998. – 448 с.

5. Коростылева, Л. А. Живой квас с использованием нетрадиционного сырья / Л. А. Коростылева, Т. В. Парфенова [и др.] // Пиво и напитки. – 2013. – № 1. – С. 20–23.

6. Исследование влияния растительных добавок на качество лечебного кваса / А. Ч. Омашева [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–5. – С. 822–826.

7. Каменская, Е. П. Использование микроорганизмов-пробиотиков в технологии приготовления квасов брожения / Е. П. Каменская, М. В. Обрезкова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2015. – № 6 (35). – С. 24–30.

8. Каменская, Е. П. Количественный учет микроорганизмов : метод. рекомендации к лабораторным работам / Е. П. Каменская, Е. В. Аверьянова. – Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 35 с.

9. ГОСТ 31494-2012. Квас. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2013.

10. Позняковский, В. М. Экспертиза напитков / В. М. Позняковский, В. А. Помозова, Т. Ф. Киселева, Л. В. Пермякова. – Новосибирск : Сиб.унив. изд-во, 2001. – 384 с.

11. Шубина, О. Функциональные добавки в напитки / О. Шубина, Ю. Околелова // Пиво и напитки, 2000. – № 2. – С. 48.

12. Колесниченко, М. Н. Перспективы использования плодов жимолости в производстве хлебного кваса / М. Н. Колесниченко, Е. П. Каменская // Ползуновский вестник. – 2020. – № 1. – С. 13–20.

13. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 29 июня 2016 года № 1364–р. Россия. [Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года].

***Евграфова Валерия Евгеньевна**, магистрант кафедры «Технология бродильных производств и виноделия», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46. E-mail: evgrafovalera@mail.ru, тел.:+7 (3852) 29-07-06.*

***Колесниченко Марина Николаевна,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология бродильных производств и виноделия», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46. E-mail: mar.kolesnichenko @yandex.ru, тел.: +7 (3852) 29-87-38.*

***Курцева Вера Геннадьевна,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46. E-mail: vera5399@mail.ru, тел.: +7 (3852) 29-07-53.*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.012
УДК 637.03

БИОТРАНСФОРМАЦИЯ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ И РАЗРАБОТКА ПРОДУКТА АНТИОКСИДАНТНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ С ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

И. С. Брашко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. А. Ногина

Ферментативные гидролизаты коллагена широко применяют для повышения влагосвязывающей и влагоудерживающей способности основного мясного сырья, повышения содержания свободных аминокислот в пищевых продуктах и их усвояемости организмом человека, в связи с этим актуальным представляется совершенствование технологий гидролиза коллагенсодержащего сырья. Другим важным направлением развития пищевой отрасли является разработка продуктов функциональной направленности, в частности, с антиоксидантными свойствами. Цель исследований – разработка метода биомодификации коллагенсодержащего сырья ферментативным гидролизом и получение коллагенсодержащего продукта антиоксидантной направленности. Разработанная технология биомодификации коллагенсодержащего сырья включает промывку кожи цыплят-бройлеров в проточной водопроводной воде, измельчение, замачивание в растворе коллагеназы, фильтрование, куттерование, добавление раствора поваренной соли и 10 % раствора арабиногалактана. Полученный соединительнотканный белок с арабиногалактаном представляет собой мелкодисперсный сыпучий порошок светло-розового цвета со свойственным мясу птицы запахом и массовой долей коллагена к массе общего белка 64 %. Введение в рецептуру арабиногалактана позволило увеличить влагосвязывающую и гелеобразующую способность (на 28,9 % и 28,2 % соответственно), антиоксидантную активность (на 775 %). Разработанный соединительнотканный белок отличается высокими функционально-технологическими свойствами, что позволяет его использовать в рецептуре мясопродуктов для коррекции реологических свойств сырья и повышения выхода готового продукта.

Ключевые слова: коллаген, ферменты, гидролиз, антиоксиданты, арабиногалактан, функционально-технологические свойства.

В рецептуре мясопродуктов нередко используют переработанное коллагенсодержащее сырье, в частности, кожу цыплят-бройлеров. Коллаген применяют для придания определенных функционально-технологических свойств присутствующим в основном мясном сырье миофибрилярным белкам, при этом обеспечивая гомогенную структуру продукта [1] за счет высокой влагосвязывающей и влагоудерживающей способности [2].

Применение ферментов для гидролиза коллагенсодержащего сырья позволяет получить свободные аминокислоты и повысить их усвояемость организмом человека, с технологической точки зрения – сократить время производства и увеличить выход готового продукта [3–6]. Одним из общепринятых способов получения ферментативных гидролизатов из коллагена является применения щелочных протеаз [7]. Протеолитические ферменты отличаются высокой специфичностью, и в большинстве случаев они воздействуют на миофибриллярные белки, практически не расщепляя белки соединительной ткани.

Преимущество ферментативного гидролиза с применением коллагеназы обусловлено высокой специфичностью именно для коллагена, механизм действия данного фермента заключается в разрыве в структуре коллагена связей между глицином и пролином [8–12]. Промышленный препарат коллагеназы представляет собой продукт метаболизма *Clostridiumhistolyticum* [13, 14].

Другим важным направлением развития пищевой отрасли является разработка продуктов функциональной направленности, в частности с антиоксидантными свойствами.

Одним из распространенных антиоксидантов природного происхождения является арабиногалактан (АГ) древесины лиственницы, характеризующийся не только антиоксидантной, но и противомикробной и иммуностимулирующей активностью. АГ обладает рядом важных технологических свойств: хорошей растворимостью в холодной воде, высокой водосвязывающей способностью и является нетоксичным. АГ состоит из галактозы, арабинозы и уроновых кислот и не оказывает отрицательного влияния на вкусовые качества продукта.

В связи с вышеизложенным, целью исследований являлась разработка метода

биомодификации коллагенсодержащего сырья ферментативным гидролизом и получение коллагенсодержащего продукта антиоксидантной направленности.

Объектами исследования являлись:

- арабиногалактан из древесины лиственниц Сибирской и Гмелина, полученный ультразвуковой обработкой (ТУ 9363-021-39094141-08; серия 02042013; ООО «Химия древесины», г. Иркутск. Молекулярная масса 17,3 кДа);

- коллагенсодержащее сырье (кожа цыплят-бройлеров).

Достоинство технологии ультразвуковой обработки древесины лиственницы заключается в том, что интенсифицируется процесс экстракции арабиногалактана из растительного сырья, снижается расход растворителя и получается более чистый продукт без примесей.

В качестве коллагенсодержащего сырья использовали шкурки цыплят бройлеров. Для ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья использовали коллагеназу 1 типа, продуцируемую культурой *Clostridium-histolyticum* (активность 125 ед/мг; оптимум активности 37–45 ºС, pH 6–9).

Определение органолептических показателей коллагенсодержащего продукта проводили с помощью визуального осмотра. Содержание влаги устанавливали методом высушивания навески исследуемого продукта при температуре 103 ± 2 ºС. Количество коллагена определяли путем выделения оксипролина из кислотного гидролизата пробы с последующей нейтрализацией и окислением хлорамином-Т до появления красной окраски с дальнейшим определением оптической плотности фотометрическим метом с пересчетом на коллагенсодержащий белок.

Жир определяли методом Сокслета. Гелеобразующую способность – путем помещения коллагенсодержащего продукта в гомогенизатор с дистиллированной водой и гомогенизацией в течение 30 минут и скорости 4000 об./мин., затем полученную массу выдерживали в течение 30 минут, помещали на сито с размером отверстий 0,5 мм и определяли проходимость геля через отверстия сита. Гелеобразующую способность (ГО) вычисляли по формуле:

$$ГО = \frac{m_8}{m_9} * 100 \qquad (1)$$

где m_8 – максимальное количество добавленной воды, обеспечивающее непроходимость геля через отверстия сита, г;

100 – коэффициент пересчета в %;

m_9 – масса пробы животного белка, г.

Жироэмульгирующую способность определяли путем гомогенизации коллагенсодержащего продукта, дистиллированной воды и подсолнечного масла в гомогенизаторе при скорости вращения ножей 4000 об./мин. в течение 60 минут при температуре 4 ± 2 ºС, затем эмульсию центрифугировали в течение 10 минут, Для определения соотношения «животный белок : вода : масло» принимают максимальное количество воды и масла, внесение которых обеспечивало отсутствие неэмульгированных слоев в пробирке в виде воды или масла, полученный результат выражали в г воды и масла на 1 г коллагенсодержащего продукта.

Исследование антиоксидантной активности коллагенсодержащего продукта проводили потенциометрическим методом. Потенциал измеряли после прохождения химической реакции между арабиногалактаном и используемым окислителем $K_3[Fe(CN)_6]$ с концентрацией $3{,}0 \cdot 10^{-4}$.

Таблица 1 – Рецептура соединительнотканного белка

Наименование ингредиента	Дозировка	
	Контроль	Опыт
Кожа цыплят-бройлеров	100	100
Арабиногалактан	–	3000
Соль поваренная пищевая	2000	2000
Раствор фермента (коллагеназа) в питьевой воде, соотношение 1:1000	100	100

Нами разработана рецептура коллагенсодержащего продукта без введения арабиногалактана (образцы контрольной группы) и с использованием арабиногалактана (образцы опытной группы, таблица 1). Технология получения соединительнотканного белка включает промывку кожи цыплят-бройлеров в проточной водопроводной воде в течение 10–15 минут для удаления возможных загрязнений, измельчение на волчке с помощью универсальной машины с диаметром отверстий решетки 2–4 см, замачивание в емкости универсальной лабораторной установки (гомогенизатор, куттер, биореактор; рисунок 1) с раствором фермента коллагеназы концентрацией 1 : 1000 в питьевой воде в соотношении

сырье : раствор фермента (1 : 1), при температуре 2–4 ºС в течение 2 ч, фильтрование, куттерование фильтрата при 1200 об./мин. в течение 3–5 минут с добавлением раствора поваренной соли и 10 % арабиногалактана, высушивание полученного коллагенсодержащего продукта при температуре 65–72 ºС до содержания сухих веществ 90–92 %.



Рисунок 1 – Лабораторная универсальная установка

Проведена оценка органолептических показателей качества коллагенсодержащего продукта. По внешнему виду (таблица 2) опытные образцы разработанного коллагенсодержащего продукта представляют собой мелкий порошок светло-розового цвета, что связано с введением раствора арабиногалактана, имеющего розовую окраску. Запах – свойственный мясу птицы. В целом, по органолептическим показателям образцы разработанного продукта соответствуют требованиям ГОСТ 33692–2015 «Белки животные соединительнотканные».

Проведены исследования физико-химических показателей соединительнотканного белка (таблица 3), подтверждающие получение коллагенсодержащего продукта с массовой долей коллагена к массе общего белка 64 %.

Введение в рецептуру арабиногалактана не оказало влияния на массовую долю белка, коллагена и жира. Но вместе с тем, влагосвязывающая и гелеобразущая способность повысились до 674 % и 528 % соответственно (на 28,9 % и 28,2 %). Полученные результаты объясняются тем, что арабиногалактан является пищевой добавкой Е 409 и обладает выраженной водосвязывающей и эмульгирующей способностью. В целом, по результатам органолептических и физико-химических исследований полученный коллагенсодержащий продукт можно отнести к соединительнотканным белкам.

Таблица 2 – Органолептические показатели качества соединительнотканного белка

Наименование показателя	Значение показателя		Норма по ГОСТ 33692–2015
	Контроль	Опыт	
Внешний вид	Мелкий сыпучий порошок	Мелкий сыпучий порошок	Сухой продукт однородной консистенции в виде волокнистой массы или сыпучего мелкого порошка, или сыпучего порошка, содержащего единичные или агломерированные частицы. Для порошков допускается наличие комочков более крупного размера, рассыпающихся при легком механическом надавливании
Цвет	Светло-желтый	Светло-розовый	От белого до светло-коричневого
Запах	Свойственный мясу птицы, без постороннего запах	Свойственный мясу птицы, без постороннего запаха	Свойственный исходному сырью, без постороннего запаха

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества соединительнотканного белка

Наименование показателя	Значение показателя, %		Норма по ГОСТ 33692-2015
	Контроль	Опыт	
Массовая доля белка в сухом веществе	81	81	Не менее 80,0
Массовая доля жира, не более	14	14	Не более 16,0
Массовая доля влаги, не более	9	9	Не более 10,0
Массовая доля коллагена к массе общего белка, не менее	64	64	Не менее 60
Влагосвязывающая способность	523	674	Не менее 500
Гелеобразующая способность	412	528	Не менее 400
Жироэмульгирующая способность	118	123	–

Проведены исследования антиоксидантной активности коллагенсодержащего продукта. Установлено, что антиоксидантная активность опытных образцов с использованием арабиногалактана (3,1 мМ-экв) на 775 % выше активности контрольных образцов (0,4 мМ-экв), что согласуется с антиоксидантными свойствами арабиногалактана.

Таким образом, разработана технология соединительнотканного белка на основе биотрансформации коллагенсодержащего сырья (кожи цыплят-бройлеров) с органолептическими и физико-химическими показателями, соответствующими требованиям ГОСТ 33692-2015. Введение в рецептуру этого соединительнотканного белка арабиногалактана из древесины лиственницы придает ему антиоксидантные свойства, повышает влагосвязывающую, гелеобразующую и жироэмульгирующую способности. Полученный соединительнотканный белок отличается высоким содержанием коллагена к общей массе белка, улучшенными функционально-технологическими свойствами, что позволяет использовать его в рецептуре пищевых продуктов для коррекции аминокислотного состава, реологических свойств сырья и повышения выхода новых продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сэмс, Р. А. Переработка мяса птицы / под ред. Алана Р. Сэмса ; пер. с англ ; под ред. В. В. Гущина. – СПб. : Профессия, 2007. – 432 с.

2. Антипова, Л. В. Ферментные технологии в развитии отечественного производства перерабатывающих отраслей АПК / Л. В. Антипова // Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов : сборник трудов конференции. ВНИИПБ РАН. – 2016. – С. 61–66.

3. Юнусов, Э. Ш. Использование экзогенных ферментных препаратов в технологии мясных продуктов / Э. Ш. Юнусов, В. Я. Пономарев, А. З. Каримов [и др.] // Вестник казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 22. – С. 119–121.

4. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. USDA National Nutrient Database for Standard Reference.

5. Драгунова, М. М. Метод переработки вторичного коллагенсодержащего сырья с использованием дрожжей *Clavisporalusitaniae* Y3723 / М. М. Драгунова, В. П. Брехова // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – Т. 32. – № 1. – С. 18–21.

6. Драгунова, М. М. Разработка технологии переработки коллагенсодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности в функциональную кормовую добавку для животных сельскохозяйственного сектора / М. М. Драгунова, А. Ю. Просеков, О. В. Кригер [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2014. – Т. 98. – № 11. – С. 203–206.

7. Титов, Е. И. О микроструктуре коллагенсодержащего сырья, модифицированного щелочными протеиназами / Е. И. Титов, Е. В. Литвинова, С. Н. Кидяев, В. А. Пчелкина // Мясная индустрия. – 2017. – № 8. – С. 36–38.

8. EguiRojo, M. A. Experience in the use of collagenase *Clostridiumhistolyticum* in the management of Peyronie's disease: current data and future prospects / M. A. EguiRojo, I. MoncadaIribarren, J. Carballido Rodriguez, J. I. Martinez-Salamanca // Therapeutic Advances in Urology. – 2014. – Vol. 6. – № 5. – P. 192–197.

9. Murphy, A. Minimally invasive options in Dupuytren's contracture: aponeurotomy, enzymes, stretching, and fat grafting / A. Murphy, D. H. Lalonde, C. Eaton [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2014. – Vol. 134. – № 5. – P. 822–829.

10. Schulze, S. M. Postapproval clinical experience in the treatment of Dupuytren's contracture with collagenase *Clostridiumhistolyticum* (CCH): the first 1,000 days / S. M. Schulze, J. P. Tursi// Hand (NY). – 2014. – Vol. 9. – № 4. – P. 447–458.

11. Van Doren, S. R. Matrix metalloproteinase interactions with collagen and elastin / S. R. Van Doren // Matrix Biology. – 2015. – Vol. 44–46. – P. 224–231.

12. Eckhard, U. Structural basis for activity regulation and substrate preference of clostridial collagenases G, H, and T / U. Eckhard, E. Schönauer, H. Brandstetter // J. Biol. Chem. – 2013. – Vol. 288. – P. 184–194.

13. Eckhard, U. Proteomic protease specifi city profi ling of clostridial collagenases reveals their intrinsic nature as dedicated degraders of collagen / U. Eckhard, P. F. Huesgen, H. Brandstetter, C. M. Overall // J. Proteomics. – 2014. – Vol. 100. – P. 102–114.

14. Razzelli, M. Collagenase *Clostridiumhistolyticum* for the treatment of Dupuytren's contracture: systematic review and economic evaluation / M. Razzelli, M. Cruickshank, E. Tassie, P. McNamee, C. Robertson, A. Elders [et al.] // Health Technol. Assess. – 2015. – Vol. 19. – № 90. – P. 201–202.

***Брашко Иван Сергеевич**, аспирант кафедры пищевой инженерии ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» (УрГЭУ), г. Екатеринбург, e-mail: brashko_is@usue.ru, тел. 89126950096.*

***Тихонов Сергей Леонидович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии УрГЭУ, г. Екатеринбург, e-mail: tihonov_75@bk.ru, тел. 89122769895.*

***Тихонова Наталья Валерьевна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевой инженерии УрГЭУ, г. Екатеринбург, e-mail: tihonov_75@bk.ru, тел. 89193923709.*

***Ногина Анна Александровна**, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет».*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.013
УДК 641.887.5

АНАЛИЗ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФРУКТОВО-ЯГОДНЫХ СОУСОВ

Е. А. Красноселова, А. А. Варивода

Фруктово-ягодные соусы являются важным и довольно ценным компонентом питания за счет присутствия в них сахаров, органических кислот и биологически активных веществ. При разработке рецептуры соусов целесообразно использовать предварительную обработку ягод, которая обеспечивает наибольший выход пюре при максимальном сохранении ценных компонентов исходного сырья. В статье исследованы эффективные способы переработки ягод кизила для получения максимального выхода пюре с высокими физико-химическими показателями. Показано, что для повышения выхода пюре требуется максимальное разрушение цитоплазменной мембраны клеток перед протиранием сырья, которое можно достичь бланшированием (кратковременное в течение 5–15 мин действие водяного пара или горячей воды), заморозкой, СВЧ-обработкой. Для исследования использовали свежие, зрелые, чистые, одного помологического сорта, без постороннего запаха, без плесени плоды кизила. Ягоды, предварительно отсортированные и подготовленные, подвергали замораживанию, бланшированию паром или водой, СВЧ-обработке при трех мощностях СВЧ-печи. Обработанную массу ягод кизила протирали для получения пюре, в котором определяли содержание растворимых сухих веществ (РСВ), витамина С, pH. Установлено, что наибольший выход пюре (77,5 %) из кизила достигается при обработке СВЧ-обработкой при мощности W = 350 Вт. Применение замораживания и бланширования водяным паром обеспечивает выход пюре 71,5 и 69,3 %. Однако замораживание сырья сопровождается потерями при дефростации. Бланширование горячей водой снижает количество РСВ, что подтверждается значениями физико-химических показателей кизилового пюре.

Ключевые слова: кизил, ягоды, предварительная обработка, пюре, физико-химические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой консервной отрасли является разработка новейших технологий кисло-сладких соусов, в рецептуре которых предусмотрено использование сырья с высокими функциональными свойствами, и способов предварительной подготовки сырья, позволяющих получить продукт с улучшенной пищевой и биологической ценностью [1, 7].

Подлинность вкуса и стабильность текстуры являются ведущими факторами, которые как нельзя лучше характеризуют соусы. Необходимо не только разработать оригинальную рецептурную композицию, но и подобрать эффективный способ предварительной обработки сырья, который увеличит выход пюре и максимально сохранит все его ценные составляющие.

Растительное сырье в своем составе содержит пектиновые вещества двух фракций – нерастворимой и растворимой форм. При созревании происходит переход от одной к другой фракции. Как известно, одним из весомых по содержанию являются пектиновые вещества яблок [9, 10]. Однако кизил среди дикорастущих ягодных культур также богат пектиновыми веществами с преобладанием протопектиновой фракции. Свойство данных плодов определяет возможность применения их в качестве студнеобразователя и, следовательно, получения пюре для дальнейшего использования в рецептуре фруктово-ягодных соусов.

Для получения пюре используется механическое протирание, при котором повреждаются клетки сырья. Однако цитоплазменные мембраны клеток таких плодов, как сливы, абрикосы, кизил, крыжовник мало повреждаются при механическом воздействии. Поэтому эффективным способом повышения выхода сока и пюре является предварительная подготовка сырья с целью максимального разрушения цитоплазменной мембраны клеточной ткани до протирания [2].

Предварительной тепловой обработкой достигается денатурация белков цитоплазмы и мембран, инактивация ферментов, размягчение тканей, удаление воздуха из межклеточного пространства, за счет чего и изменяется объем сырья.

На выход пюре оказывает влияние соотношение косточки и мякоти кизила. Приветствуется содержание мякоти от 75 %. Для лучшего отделения косточки целесообразно размягчение сырья, при котором также происходят химические превращения сырья. Гидролиз протопектина требует, как минимум, 15–20 мин. Но для размягчения плодов

за счет изменения тургора клеток достаточно воздействие в течение 3–4 мин при температуре 80–85 ºС [8].

Клеточная проницаемость может увеличиться при разных режимах воздействия (быстром – при температуре 60–80 ºС; медленном –40–50 ºС), что во втором случае отрицательно влияет на сохранность витаминов [3].

Выход пюре увеличивается при использовании замороженного сырья за счет нарушения цитоплазменной оболочки клеток. Возможно необратимое разрушение в случае достижения температуры замерзания и образования кристаллов льда в межклеточном пространстве.

При замораживании сырья также происходят изменения в химическом составе: частично инвертируется сахароза, повышается концентрация кислот и минеральных веществ, снижается содержание полифенолов, однако ферменты не инактивируются. Именно поэтому замороженные ягоды следует дробить и протирать, не допуская полного оттаивания и сразу передавать на последующие технологические процессы [4–6].

Цель исследования: подобрать и исследовать эффективные способы обработки ягод кизила для получения максимального выхода пюре с высокими физико-химическими показателями.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ягоды кизила должны быть свежие, зрелые, чистые, одного помологического сорта, без постороннего запаха, без плесени, с плодоножкой и отвечать требованиям действующего стандарта ГОСТ 16524-2017.

Определение растворимых сухих веществ проводили согласно ГОСТ 32742-2014. Определение pH – ГОСТ 26188-2016. Определение содержания витамина С – ГОСТ 24556-89.

Способ СВЧ-обработки. Плоды кизила, подвергшиеся сортировке и мойке, распределяли на дне емкости толщиной 4 ± 0,5 см, т. к. большой слой не позволяет прогреть ягоды микроволновым излучением с частотой 2350–2450 МГц свойственным бытовым СВЧ-печам. Емкость с ягодами накрывали крышкой и устанавливали в рабочую камеру бытовой микроволновой печи непосредственно на ее дно. Временной режим работы СВЧ-печи устанавливали на 1 мин. После ее включения при 2350–2450 МГц происходило термическое воздействие на слой ягод вблизи стенок емкости и крышки. Данные действия способствовали прогреванию всего объема продукта, ягоды лопались, начиналось выделение сока, стекающего вниз через отверстия перфорированного днища в емкость для сбора сока.

Способ обработки замораживанием и бланшированием: предварительно мытое и очищенное сырье взвешивали по 100 г на технических весах. При замораживании ягоды кизила помещали в емкости в холодильные камеры при температуре –18 ºС. При обработке водой сырье помещали в перфорированные ковши и погружали в воду при температуре 60–70 ºС на 10 мин. Обработку водяным паром осуществляли выдерживанием ягод кизила в перфорированных корзинах над кипящей водой в течение 5 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследовали влияние замораживания, бланширования водяным паром и водой, СВЧ-обработки при трех мощностях СВЧ-печи ягод кизила на выход пюре после протирки. Выход пюре рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{m}{m_o} \cdot 100,$$

где m – масса пюре после протирания;

m_0 – масса сырья до разделки.

Полученные результаты, показывающие выход пюре в зависимости от способа предварительной обработки ягод кизила, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Выход пюре в зависимости от способа предварительной обработки ягод кизила

Ягоды кизила	m после обработки, г	m пюре,г	Выход пюре, %
Свежие	100,00	64,97	65,00
Замороженные	96,80	70,53	71,50
Бланшированные паром (т = 5 мин)	93,20	64,58	69,30
Бланшированные водой (т = 10 мин)	88,32	55,61	63,00
СВЧ (ϑ = 2435 МГц, W = 800 Вт)	90,37	51,51	57,00
СВЧ (ϑ = 2435 МГц, W = 500 Вт)	92,20	63,16	68,50
СВЧ (ϑ = 2435 МГц, W = 350 Вт)	98,50	76,30	77,50

Данные таблицы показывают, что наибольший выход пюре (77,50 %) из ягод кизила достигается при обработке СВЧ-излучением при мощности W = 350 Вт. Замораживание и

бланширование паром обеспечивает выход пюре из кизила на уровне 71,50 и 69,30 %, соответственно. Замораживание сырья, увеличивает выход пюре на 10 %, по сравнению с бланшированием паром или водой и сопровождается потерями при дефростации (клеточные стенки, разрушенные кристалликами льда, не держат форму и выделяют сок вместе с растворимыми веществами). Кроме того, медленное оттаивание способствует активации ферментов в разрушенных клетках, приводящее к потемнению тканей за счет окисления дубильных и других органических веществ, отражающееся на качестве протертой массы [8]. Бланширование водой приводит к снижению количества полезных веществ (за счет экстрагирования), при этом в пюре может происходить изменение цвета, вкуса, консистенции.

Следующим этапом исследований было определение содержания РСВ, витамина С и pH среды кизилового пюре в зависимости от способа предварительной обработки ягод кизила. Результаты представлены на диаграммах (рисунки 1–3).

Растворимые сухие вещества – важный показатель при производстве соусов (входит в группу физико-химических параметров), поскольку в готовом продукте нормируется именно содержание растворимых сухих веществ.

Анализируя данные (рисунок 1), следует отметить, что наивысшее содержание растворимых сухих веществ получено при СВЧ-обработке (W = 350 Вт) сырья (17,50 %), по сравнению со свежим пюре (18,00 %). Высокое содержание РСВ в пюре достигнуто при замораживании ягод кизила – 17,00 % и при обработке сырья паром – 16,00 %.

При производстве соусов с использованием плодовых пюре важную роль играет pH среды, значение которой колеблется в пределах 2,8–3,5 и позволяет стабилизировать биофлавоноиды, которые в дальнейшем отвечают за сохранность натуральности цвета готового продукта. Также от уровня pH зависит выбор режима стерилизации.

Как видно из рисунка 2, по сравнению со свежим сырьем, лучший показатель pH наблюдается в СВЧ-обработанном сырье при 350 Вт – 2,98. Под действием электромагнитного поля изменяется скорость химических реакций и их равновесие смещается, что и вызывает изменение pH. В пюре, полученном из ягод паром, показатель pH – 2,92, остальные полученные значения pH пюре кизила являются нежелательными.

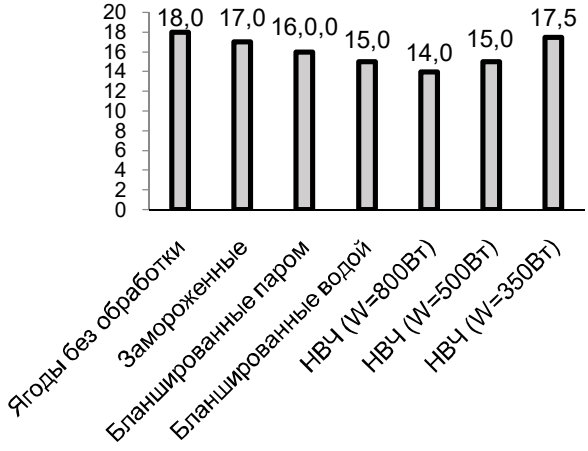


Рисунок 1 – Зависимость содержания РСВ в кизиловом пюре от способа предварительной обработки ягод

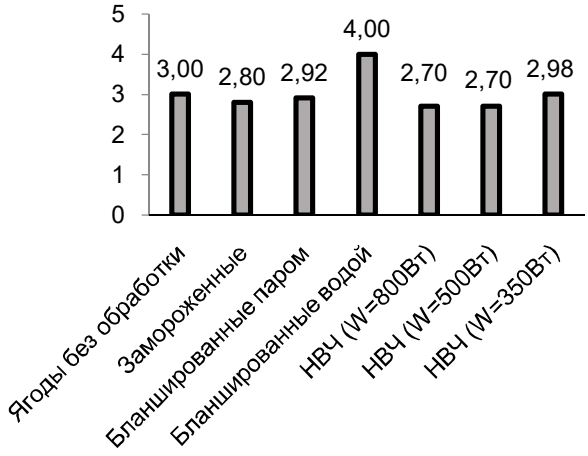


Рисунок 2 – Зависимость pH кизилового пюре от способа предварительной обработки ягод

Ценной составной кизилового пюре является аскорбиновая кислота, которая участвует в восстановительных биохимических процессах (без ее участия не происходит выработка коллагена). Она является мощным антиоксидантом, укрепляет иммунную систему, стимулирует выработку антител и общий уровень сопротивляемости организма к заболеваниям, предотвращает отложение холестерина на стенках кровеносных сосудов, предотвращая, таким образом, развитие атеросклероза, улучшает детоксикацию, помогает выводить из организма ионы тяжелых металлов.

Содержание витамина С в кизиловом пюре в зависимости от способа предварительной обработки сырья приведены на рисунке 3.

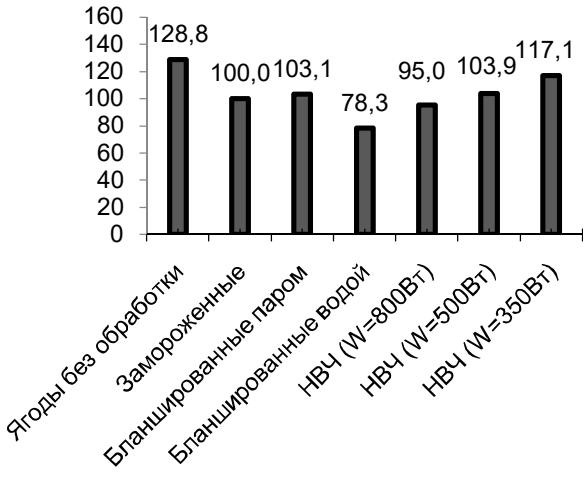


Рисунок 3 – Зависимость содержания витамина С в кизиловом пюре от способа предварительной обработки ягод

Как видно из диаграммы (рисунок 3), наибольшее содержание витамина С, по сравнению со свежим сырьем (128,8 мг/100 г), в пюре, полученном из ягод, которые подвергались СВЧ-обработке мощностью 350 Вт – 117,1 мг/100 г.

Пюре, полученное из ягод кизила, бланшированных паром, и СВЧ-обработанное мощностью 500 Вт, содержит около 103,9 мг/100 г витамина С. Наименьшее содержание витамина С в пюре, полученном из предварительно бланшированных водой ягод (78,3 мг/100 г).

ВЫВОДЫ

Установлена зависимость физико-химических показателей и содержания витамина С в кизиловом пюре в зависимости от способа предварительной обработки ягод. Самым эффективным способом подготовки пюре кизилового является обработка ягод в СВЧ при мощности 350 Вт.

В случае отсутствия на предприятии микроволновых печей целесообразно использовать способ бланширования водяным паром ягод кизила в течение 5 мин. Полученное пюре из ягод кизила используют для производства кисло-сладких соусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова, Е. В. Десертные соусы из ягодного сырья Сибири как элемент здорового питания / Е. В. Аверьянова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 1 (54). – С. 51–58.

2. Гусейнова, Б. М. Интенсификация экстракции витаминов и фенолов из плодов дикоросов / Б. М. Гусейнова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – № 2. – С. 75–79.

3. Казанцева, И. Л. Новые продукты функционального назначения группы соусов и потребительского спроса : монография / И. Л. Казанцева, Ю. А. Тырсин. – Саратов : СГТУ, 2014. – 64 с.

4. Кварацхелия, В. Н. Сравнительный анализ влияния низких температур на изменение аналитических характеристик пектиновых веществ извлеченных из альбедо цитрусовых плодов / В. Н. Кварацхелия, Л. Я. Родионова // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 104 (10). – С. 1793–1803.

5. Лютикова, М. Н. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы / М. Н. Лютикова, Э. Х. Ботиров // Химия растительного сырья. – 2015. – № 3. – С. 267–282.

6. Меренкова, С. П. Анализ биологической ценности и технологических свойств растительных компонентов рецептуры соусных продуктов / С. П. Меренкова, А. А. Левченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Пищевые и биотехнологии. – 2015. – № 1. – С. 15–23.

7. Сметанина, Т. Л. Перспективы развития рынка соусов в Кемерово / Т. Л. Сметанина, Е. М. Лобачева // Сборник : Актуальные проблемы развития общественного питания и пищевой промышленности ; материалы Международной науч.-практич. конф. проф. -препод. состава и аспирантов. – Белгородский ун-т кооперации, экономики и права. – 2014. – С. 530–534.

8. Development of technology and recipes of functional canned food of gerontology nutrition / A. A. Varivoda [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2019. – Т. 10. – № 1. – С. 1608–1617.

9. Impact of technological scheme of apple tree cultivation on fractional content of pectin substances / L. V. Donchenko [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – № 488. – 012008.

10. Innovative technological aspects of secondary raw materials processing in juices production / L. V. Donchenko [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – № 488. – 012011.

***Красноселова Екатерина Анатольевна**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина», e-mail: ekrasnose-lova@mail.ru, тел. : +79184760922.*

***Варивода Альбина Алексеевна**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина», e-mail: albin2222 @mail.ru, тел. : +79180416560.*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.014
УДК 664.6

ОВОЩНЫЕ ПОРОШКИ КАК ИСТОЧНИКИ СЕЛЕНА В МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЯХ

О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов

Исследовали влияние добавления овощных порошков в макаронное тесто на содержание селена в готовом продукте – макаронных изделиях. В работе использовались порошки брокколи и листьев сельдерея сублимационной вакуумной сушки. Образцы макаронных изделий изготовлены на лабораторном макаронном прессе Sandore (модель Sandorina) (Италия) по традиционной технологии. Исследование содержания селена проведено с применением метода атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией с модификатором матрицы палладий азотнокислый на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi 180-80 по ГОСТ Р 56372-2015. Исследования выполнены после мокрой минерализации образцов в азотной и хлорной кислотах с добавлением перекиси водорода и этанола для переведения селена из неорганических и органических форм в селенит-ион в трехкратной повторности. По результатам исследований применяемые овощные порошки являются хорошими источниками селена. Внесение в рецептуру порошков в количестве 6 % от массы основного сырья цельнозерновой муки полбы повысило содержание селена в макаронных изделиях на 40,7 и 86,2 % в сравнении с контрольным образцом без порошков. С учетом потерь селена при варке 30 % степень удовлетворения средней суточной потребности составила 14,9 % при добавлении порошка листьев сельдерея и 27,2 % при добавлении порошка брокколи. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов, планирующих работать с овощными порошками, а также при составлении таблиц химического состава российских продуктов питания.

Ключевые слова: пищевые продукты, обогащение, микроэлементы, селен, селеновый статус, овощные порошки, сельдерей, брокколи.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания», в рацион питания населения РФ должны включаться продукты, обеспечивающие поступление в организм необходимых макро- и микронутриентов согласно рекомендуемым нормам в целях профилактики дефицитных по нутриентам состояний и укрепления здоровья населения в целом. Достаточное поступление в организм нутриентов и их оптимальное качественное соотношение в существенной мере обеспечивает нормальное протекание процессов обмена веществ [1].

Селен (Se) – эссенциальный микроэлемент – имеет фундаментальное значение для здоровья человека. Обеспеченность селеном во многих случаях определяет защиту организма от рисков различных хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, костной структуры, онкозаболеваний [2]. Являясь составной частью селенопротеинов, Se играет структурную и ферментативную роль как антиоксидант и катализатор выработки тиреоидного гормона [2]. Селен необходим для эффективной работы иммунной и антиоксидантной систем, защищающих организм от вредных факторов внешней среды, являясь необходимым компонентом системы, регулирующей количество свободных радикалов, которые образуются как физиологически, так и вследствие патологических процессов [2–4].

По результатам исследований «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», обеспеченность селеном у более 80 % населения РФ ниже оптимального уровня [1, 5, 6]. Недостаточная обеспеченность селеном отмечается в различных регионах России [5, 6].

Основные пищевые источники селена – это продукты растительного происхождения, мясо, морепродукты. Содержание селена в пищевых продуктах зависит от его концентрации в почве и воде, а также использования селеносодержащих удобрений [5, 6].

В России рекомендуемое суточное потребление селена для практически здоровых взрослых людей составляет 55 мкг/сут для женщин, 70 мкг/сут для мужчин и 10–20 мкг/сут в зависимости от возраста, для детей [1, 5, 6].

По данным [1], в мире насчитывается от пятисот миллионов до одного миллиарда человек с дефицитом селена. Но недостаточное поступление селена с традиционными пищевыми продуктами в значительной мере компенсируется биологически активными до-

бавками к пище и обогащенными пищевыми продуктами [7–10].

Потребление селена значительно варьируется среди различных групп населения во всем мире, в т. ч., из-за большой вариабельности содержания селена в продуктах питания, которое зависит от ряда геологических, географических и других факторов [5, 11–15].

Человек обычно получает селен из зерновых и овощей, выращенных на селеновых почвах, а также из продуктов животного происхождения, таких как мясо, молоко, рыба, яйца [5, 8, 9].

Учитывая тот факт, что порядка 15 % населения мира имеет низкий уровень потребления селена с пищей, во многих странах проводится мониторинг содержания селена в широко потребляемых продуктах питания, который позволяет определить его основные источники и, зная общее потребление, оценить селеновый статус населения [1, 5, 10]. Потребление селена в ряде стран за счет широко употребляемых пищевых продуктов представлено в таблице 1 [1, 5].

Таблица 1 – Вклад различных пищевых продуктов в общее потребление селена населением России и ряда зарубежных стран, (%) [1, 5]

Пищевой продукт	Россия	Финляндия	Великобритания	Саудовская Аравия	Корея
Фрукты и овощи	3	6	7	7,9	4,7
Яйца	5	3	4	6,9	7,3
Молочные продукты	15	24	21	9,2	7,0
Рыба	14	11	10	–	21
Мясо	20	40	28	20,3	19,9
Бобовые	–	–	–	–	20,3
Зерновые продукты	50	19	28	30,2	34,2

Как видно из данных (таблица 1), основные источники селена в разных странах отличаются. Для России, Саудовской Аравии, Кореи основным источником селена являются зерновые продукты. В Финляндии – мясные продукты. В Великобритании – мясные и зерновые продукты.

Предполагается, что овощи и фрукты содержат очень низкий уровень селена в отличие от продуктов животного происхождения, поскольку селен не является таким необходимым элементом для роста растений, как у животных [5].

Имеющиеся данные о биологической роли селена подтверждают необходимость принятия мер по преодолению его дефицита. Предлагаются различные пути решения проблемы. Применяют селеносодержащие удобрения, внекорневое обогащение растений, селеносодержащие корма для сельскохозяйственных животных и птицы [10]. Налажено производство обогащенных селеном яиц и мяса по всему миру как функциональных продуктов питания (Россия, Финляндия, Китай, Великобритания, Мексика, Колумбия и др.) [3]. Выпекают хлебобулочные изделия с использованием растительного сырья аккумуляторов селена, обогащают селеном дрожжи [9, 16]. Продукты, обогащенные селеном можно купить в магазине, и они пользуются покупательским спросом.

В целях увеличения уровня содержания селена в специализированных пищевых продуктах, таких как БАД к пище, продукты диетического, лечебного и профилактического питания рекомендуется использовать органические формы селена. При обогащении пищевых продуктов массового потребления биологически активными веществами всегда обсуждаются их эффективность и безопасность [1]. Предпочтение отдается натуральным органическим формам селена в составе растительного сырья.

Разработка и производство продуктов массового потребления с применением нетрадиционного растительного сырья поможет повысить пищевую и биологическую ценность традиционных пищевых продуктов и содействовать решению проблем нутриентного дефицита, в т. ч. селенодефицита.

К числу наиболее популярных у населения продуктов питания относятся макаронные изделия. НИИ ПП и СПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи» разработал макаронные изделия из натурального сырья (мука цельнозерновая полбяная, порошки брокколи и листьев сельдерея) как функциональный продукт с повы-

шенным содержанием пищевых волокон для диетического профилактического питания при повышенной массе тела [17, 18].

Овощные порошки были включены в рецептуру макаронных изделий для расширения ассортимента, обогащения пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и другими биологически активными веществами, содержащимися в этих овощных культурах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использовались порошки брокколи и листьев сельдерея сублимационной вакуумной сушки, предоставленные «Green-Food Organic» (Россия), отвечающие требованиям к сырью ГОСТ 54656-2011 «Изделия макаронные с обогащающими добавками». Образцы макаронных изделий.

Исследования выполнены в лаборатории качества пищевых продуктов и аналитических методов исследования НИИ ПП и СПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи».

Лабораторные образцы с добавлением овощных порошков и контрольный образец без добавления порошков были изготовлены на лабораторном макаронном прессе Sandore (модель Sandorina) (Италия) по традиционной технологии. Рецептурный состав разработанных макаронных изделий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептурный состав лабораторных образцов макаронных изделий, г/100 г

Компоненты	Контрольный образец	Образец с порошком брокколи	Образец с порошком листьев сельдерея
Мука цельнозерновая полбяная	94	88	88
Порошок брокколи	–	6	–
Порошок листьев сельдерея	–	–	6
Яичный порошок	3	3	3
Соевая клетчатка	3	3	3

Исследование содержания селена в экспериментальных образцах проведено с применением метода атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией с модификатором матрицы палладий азотнокислый на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi 180-80 по ГОСТ Р 56372-2015 «Комбикорма, концентраты и премиксы. Определение массовой доли железа, марганца, цинка, кобальта, меди, молибдена и селена методом атомно-абсорбционной спектроскопии». Исследования выполнены после мокрой минерализации образцов в азотной и хлорной кислотах с добавлением перекиси водорода и этанола для переведения селена из неорганических и органических форм в селенит-ион в трехкратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовали три образца макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки с добавлением и без добавления овощных порошков. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание селена в образцах

№ п/п	Исследуемые образцы	Содержание селена, мкг/кг	Обеспечение суточной потребности при употреблении порции 100 г, %
1	Макаронные изделия из муки цельнозерновой полбяной	105,7 ± 22	13,5
2	Макаронные изделия из муки цельнозерновой полбяной и брокколи	194,1 ± 21	24,7
3	Макаронные изделия из муки цельнозерновой полбяной и сельдерея	148,7 ± 15	18,9

Согласно полученным данным (таблица 3), в контрольном образце только из цельнозерновой полбяной муки содержится минимальное количество Se – 105,7 ± 22 мкг/кг. Максимальное содержание Se определено в образце из смеси муки цельнозерновой полбяной и порошка брокколи – 194,1 ± 21 мкг/кг, что больше значений контрольного образца на 83,6 %.

При добавлении порошка листьев сельдерея содержание Se увеличилось на 40,7 % в сравнении с контрольным образцом и со-

ставило 148,7 ± 15 мкг/г. Степень обеспечения суточной потребности в селене при употреблении порции макаронных изделий 100 г представлена на рисунке. Рассчитано с учетом потерь селена при варке 30 % [18].

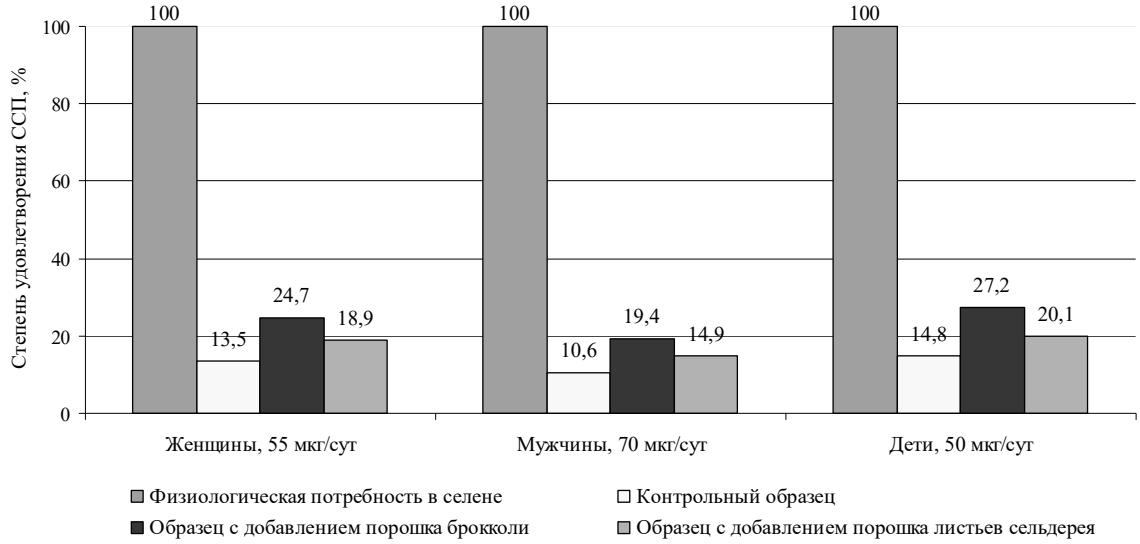


Рисунок – Обеспечение суточной потребности в селене при употреблении порции макаронных изделий 100 г

Таким образом, использование в рецептурах овощных порошков оказало значительное влияние на содержание селена в готовых макаронных изделиях из цельнозерновой полбяной муки, увеличив показатели на 40,7 и 186,2 %.

Согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», физиологическая потребность в селене для взрослых составляет 55–70 мкг/сут.

С учетом потерь селена при варке макаронных изделий порядка 30 % [18] потребление порции разработанных макаронных изделий в 100 г обеспечивает суточную потребность в Se на 14,9–27,2 %, что позволяет отнести разработанный продукт к функциональным продуктам – источникам селена согласно Приложению 5 технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011).

Исследования по теме НИР будут продолжены.

ВЫВОДЫ

Применяемые в рецептуре макаронных изделий порошки брокколи и листьев сельдерея являются хорошими источниками селена.

Использование овощных порошков в количестве 6 % от массы основного сырья в рецептуре макаронных изделий повысило содержание в них селена на 40,7 и 186,2 % в сравнении с контрольным образцом без порошков.

С учетом потерь селена при варке 30 % степень удовлетворения средней суточной потребности составила 14,9 % при добавлении порошка листьев сельдерея и 27,2 % при добавлении порошка брокколи. Такие результаты свидетельствуют о том, что разработанные макаронные изделия можно отнести к продуктам источникам селена.

У овощных порошков хорошие перспективы для использования в производстве продуктов с повышенной пищевой и биологической ценностью. Расширение ассортимента отечественных обогащенных пищевых продуктов массового потребления с применением отечественного сырья является перспективным направлением развития пищевых отрасли.

Результаты исследования могут быть полезны для специалистов, планирующих работать с овощными порошками, а также при составлении таблиц химического состава российских продуктов питания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук (тема № 0529-2019-0065 «Разработка и оценка эффективности новых инновационных пищевых

концентратов и продуктов диетического профилактического питания для спецконтингентов»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багрянцева, О. В. Использование селена при обогащении пищевых продуктов / О. В. Багрянцева, В. К. Мазо, С. А. Хотимченко, Г. Н. Шатров // Вопр. питания. – 2012. – №1. – С. 4–12.

2. Rayman, M. The importance of selenium to human health / M. Rayman // The Lancet. – 2000. – Vol. 356. – Is. 9225. – P. 233–241. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02490-9.

3. Jones, G. D. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change / G. D. Jones, B. Droz, P. Greve [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2017. – V. 114. – Is. 114. – P. 2848–2853.

4. Голубкина, Н. А. Селен в питании / Н. А. Голубкина, Т. Т. Папазян // Растения, животные, человек. – М. – 2006. – 254 с.

5. Голубкина, Н. А. Внутрирегиональная вариабельность селенового статуса населения / Н. А. Голубкина, А. В. Синдирева, В. Ф. Зайцев // Юг России: экология, развитие. – 2017. – Т.12. – № 1. – С. 107–127. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-107-127.

6. Голубкина, Н. А. Селен в продуктах растительного происхождения / Н. А. Голубкина, П. А. Полубояринов, А. В. Синдирева // Вопр. питания. – 2017. – Т. 86. – № 2. – С. 63–69.

7. Урубков, С. А. Содержание селена в безглютеновых зерновых культурах / С. А. Урубков, С. С. Хованская, С. М. Пономарева [и др.] // Ползуновский вестник. – 2019. – № 4. – С. 63–67. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.014.

8. Mabeyo, P. E. Selenium Accumulating Leafy Vegetables Are a Potential Source of Functional Foods / P. E. Mabeyo, M. L. K. Manoko, A. Gruhonjic [et al.] // International Journal of Food Science. – 2015. – Vol. 2015. DOI: 10.1155/2015/549676.

9. Крячко, Т. И. Применение растительных вторичных аккумуляторов селена для обогащения хлебобулочных изделий / Т. И. Крячко, В. Д. Малкина, В. В. Мартиросян, Н. А. Голубкина, Л. Л. Бондарева, Т. М. Середин // Новые технологии. – 2018. – № 3. – С. 43–52.

10. Wu, Ch. Preparation, characterization, antioxidant and antiglycation activities of selenized polysaccharides from blackcurrant / Ch. Wu, M. Zhao, X. Bu [et al.] // RSC ADV. – 2020. – Vol. 10. – P. 32616-32627. DOI: 10.1039/D0RA06462A.

11. Stoffaneller, R. A Review of Dietary Selenium Intake and Selenium Status in Europe and the Middle East / R. Stoffaneller, N. L. Morse // Nutrients. – 2015. – Vol. 7(3). – P. 1494–537. DOI: 10.3390/nu7031494.

12. Al-Ahmary, K. M. Selenium content in selected foods from the Saudi Arabia market and estimation of the daily intake / K. M. Al-Ahmary // Arabian Journal of Chemistry. – 2009. – Vol. 2. – P. 95–99. DOI: 10.1016/j.arabjc.2009.10.004.

13. Wang, J. Dietary selenium intake based on the Chinese Food Pagoda: the influence of dietary patterns on selenium intake / J. Wang, L. Yang, H. Li [et al.] // Nutr J 2018. – Vol. 17. – 50. DOI: 10.1186/s12937-018-0358-6.

14. Erdenetsogt, E. Healt risk connectrd with the low selenium levels in food staffs of Mongolia / E. Erdenetsogt, N. A. Golubkina, S. M. Nadegkin [et al.] // Environment and Natural Resources Research, Canadian Center of Science and Education. – 2014. – Vol. 4. – № 3. – P. 192–202.

15. Rasmussen, S. E. A safe strategy for addition of vitamins and minerals to foods / S. E. Rasmussen, N. L. Andersen, L. O. Dragsted [etc.] // Eur J Nutr. – 2006. – Vol. 45 (3). – P. 123–135. DOI: 10.1007/s00394-005-0580-9.

16. Ros, G. H. Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: an agro-ecosystem approach / G. H. Ros, A. M. D. van Rotterdam, D. W. Bussink, P. S. Bindraban // Plant and Soil: An International Journal on Plant-Soil Relationships. – 2016. – Vol. 404. – № 1–2. – P. 99–112.

17. Фазуллина, О. Ф. Влияние дозировок нетрадиционных растительных добавок на качество макаронных изделий из полбы / О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 45–49. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.009.

18. Фазуллина, О. Ф. Содержание селена в макаронных изделиях на основе полбяной и гречневой муки, а также овощных порошков / О. Ф. Фазуллина, С. М. Пономарева, С. О. Смирнов, Л. И. Семенова // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50. – № 2. – С. 242–251. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-242-251.

Фазуллина Олия Фанавиевна, *к.т.н, с.н.с. отдела пищевых концентратов и оборудования НИИ ПП и СПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи» 142718, Россия, Московская область, Ленинский район, поселок Измайлово, д. 22, e-mail: olfazullina@yandex.ru.*

Смирнов Станислав Олегович, *к.т.н, заместитель директора по научной работе, «НИИ ПП и СПТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», 142718, Московская область, Ленинский район, поселок Измайлово, д. 22, e-mail: sts_76@bk.ru.*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.015
УДК 637.5.04/.07+658.562

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ КОЛБАСНОГО ХЛЕБА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ХАССП

В. Б. Мазалевский, О. К. Мотовилов

Задачей пищевой отрасли является обеспечение населения безопасными пищевыми продуктами. Система ХАССП разработана так, чтобы позволять предвидеть и предупреждать ошибки при помощи поэтапного контроля технологической цепи производства продукции, поэтому признана ключевой частью практики управления безопасностью пищевых продуктов в мировой пищевой промышленности. Для обеспечения безопасности и качества разработанного в СФНЦА РАН колбасного хлеба был составлен план ХАССП, для чего составлено описание продукции, определены основные опасности и меры предупреждения ошибок. Особенность разработанного колбасного хлеба заключается в рецептурной смеси, включающей куриную мясную обрезь и субпродукты, а также семена амаранта. В технологической схеме присутствует операция обработки рецептурной смеси в механоакустическом гомогенизаторе. Система ХАССП разрабатывалась по методу, описанному в ГОСТ Р 51705.1-2001 и ГОСТ Р ИСО 9001-2015 с использованием «Дерева принятия решений». Каждая операция блок-схемы технологического процесса была подвергнута анализу с целью определения наличия критической контрольной точки. В результате было выделено четыре критических контрольных точки в следующих технологических операциях: механоакустическая обработка рецептурной смеси, запекание, упаковка и маркировка, хранение.

Ключевые слова: колбасный хлеб, ХАССП, система, качество, безопасность, риск, контрольные точки, субпродукты, механоакустическая обработка, семена амаранта.

Эффективная разработка и управление программами безопасности пищевых продуктов имеет важное значение для сведения к минимуму случаев заболеваний и вспышек, связанных с пищевыми продуктами [10].

Система ХАССП признана ключевой частью практики управления безопасностью пищевых продуктов в мировой пищевой промышленности и может применяться на любом этапе цепочки поставок пищевых продуктов [5, 8, 9].

В СФНЦА РАН разрабатываются продукты, получаемые с использованием механоакустической обработки сырья, реализуемой в роторно-пульсационных аппаратах (МАГ-50). Одним из таких продуктов является колбасный хлеб, способ производства которого защищен патентом [4].

В связи с новизной способа производства продукта необходима система контроля качества и безопасности, учитывающая особенности его технологического процесса.

Высокой эффективностью в обеспечении качества и безопасности пищевой продукции отличается система ХАССП благодаря контролю каждой операции технологического процесса, на которой возможно наличие ошибок.

Для разработки системы контроля качества продукции необходимо обладать подробной информацией касательно ее состава, физической/химической структуры, содержания микроорганизмов, вида обработки, сроков и условий хранения, обозначенных в нормативных документах, технических условиях, стандартах, согласно которым организован производственный процесс.

Обобщенная информация о продукте представлена в таблице 1.

Построение производственной блок-схемы технологического процесса необходимо для создания четкой и простой последовательности операций, включающей все стадии производства. В дальнейшем блок-схема используется как основа для проведения анализа рисков. Блок-схема продукции представлена на рисунке 1.

Алгоритм определения критических контрольных точек методом «Дерева принятия решений» представлен на рисунке 2 [2, 3].

Результаты применения данного метода к анализу технологии колбасного хлеба представлены в таблице 2.

При анализе производственного процесса с помощью блок-схем необходимо выявить и оценить все возможные виды опасностей. В пищевой продукции необходимо контролировать биологические (микробиологические), химические и физические опасности (далее соответственно Б, Х, Ф). Цель этапа: выявить все возможные опасные факторы, которые могут присутствовать в производственных процессах.

Таблица 1 – Информация о продукте колбасный хлеб [1, 6, 7]

Критерий	Характеристика
Состав	Куриная мясная обрезь и субпродукты, семена амаранта, пряно-посолочная смесь, жир, вода
Технические характеристики	Органолептические показатели: - внешний вид: поверхность чистая, гладкая, сухая равномерно обжаренная; - консистенция: упругая; - цвет и вид фарша на разрезе: фарш розовый или светло-розовый равномерно перемешан - запах и вкус: свойственные данному виду продукта с выраженным ароматом пряностей, в меру соленый; - форма: прямоугольная трапециевидная. Физико-химические показатели: - массовая доля влаги, не более 65,0 % - массовая доля поваренной соли, не более 2,5 % - массовая доля жира, не более 11,0 % - массовая доля белка, не менее 12,0 % - массовая доля нитрита, не более 0,005 % Показатели безопасности (по ТР ТС 021/2011): - БГКП (лактосбраживающие) в 1 г продукта не допускается - сальмонеллы не допускается в 25 г продукта - сульфитредуцирующие клостридии не допускаются в 0,01 г продукта, КМАФАнМ – не более $1x10^3$ мг/кг, E. Coli ≤ 1,0 мг/кг; S. aureus не допускается в 1 г, дрожжи не более 100 КОЕ/г.; плесень не более 100 КОЕ/г, цезий – 137 ≤160 Бк/кг; свинец ≤ 0,5 мг/кг; ртуть ≤ 0,03 мг/кг; мышьяк ≤ 0,1 мг/кг, кадмий ≤ 0,05 мг/кг; гексахлорциклогексан ≤ 0,1 мг/кг; ДДТ и его метаболиты ≤ 0,1 мг/кг; нитрит Na ≤ 30 мг/кг НДМА и НДЭА ≤ 0,002 мг/кг; антибиотики: левомицетин, тетрациклиновая группа, гризин, бацитрацин не допускаются
Способ обработки	В МАГ Т = (98 ± 2) ºС τ_o = 35–40 мин, запекание в жарочных шкафах Т = (185 ± 35) ºС до достижения температуры в центре продукта (70 ± 1) ºС
Индивидуальная упаковка	Под вакуумом или в модифицированной газовой среде, в упаковочные материалы: пленочные многослойные, пакеты из многослойной термоусадочной пленки, многослойные пакеты для вакуумной упаковки
Транспортная упаковка	Ящики из гофрированного картона по ГОСТ 13513, полимерные многооборотные ящики по ГОСТ Р 51289; полимерные многооборотные ящики, алюминиевые, контейнеры или тара-оборудование и другие упаковочные материалы и виды тары, разрешенные для контакта с пищевой продукцией, обеспечивающие сохранность и качество продукции при транспортировании и хранении
Условия хранения	Колбасные хлеба хранят при температуре от 0 до 6 ºС и относительной влажности воздуха не выше 75 %
Реализация продукта	Реализация в различной торговой сети осуществляется при наличии информационных сведений о пищевой и энергетической ценности в 100 г продукта. Выпускают в реализацию с температурой в центре не ниже 0 ºС и не выше 15 ºС. Транспортируют в охлажденных изотермических средствах транспорта в соответствии с правилами перевозок, действующими на данном виде транспорта
Срок хранения / реализации	С момента окончания технологического процесса при температуре 0–6 ºС, не более 48 часов

Учтены должны быть не только факторы, присутствующие в продукции, но и исходящие от оборудования, окружающей среды, персонала и т. д.

Выявление опасностей проводится для назначения предупреждающих действий, которые устраняют риски или снижают их до допустимого уровня.

Разработанный колбасный хлеб производится из животного и растительного сырья, требующего разных условий хранения и способов подготовки к приготовлению фарша. Куриное сырье хранится в охлажденном или замороженном состоянии, семена амаранта и пряно-посолочная смесь в сухом состоянии. Куриная обрезь и субпродукты подлежат зачистке, замороженные размораживанию, семена амаранта подвергаются гидратации для набухания и размягчения, что способствует получению однородного фарша. В процессе выполнения данных операций возможно проявление биологической опасности путем роста микроорганизмов, химической – в виде некачественно очищенного оборудования, физической – в виде посторонних предметов, попадание которых в сырье возможно из-за невнимательности персонала.

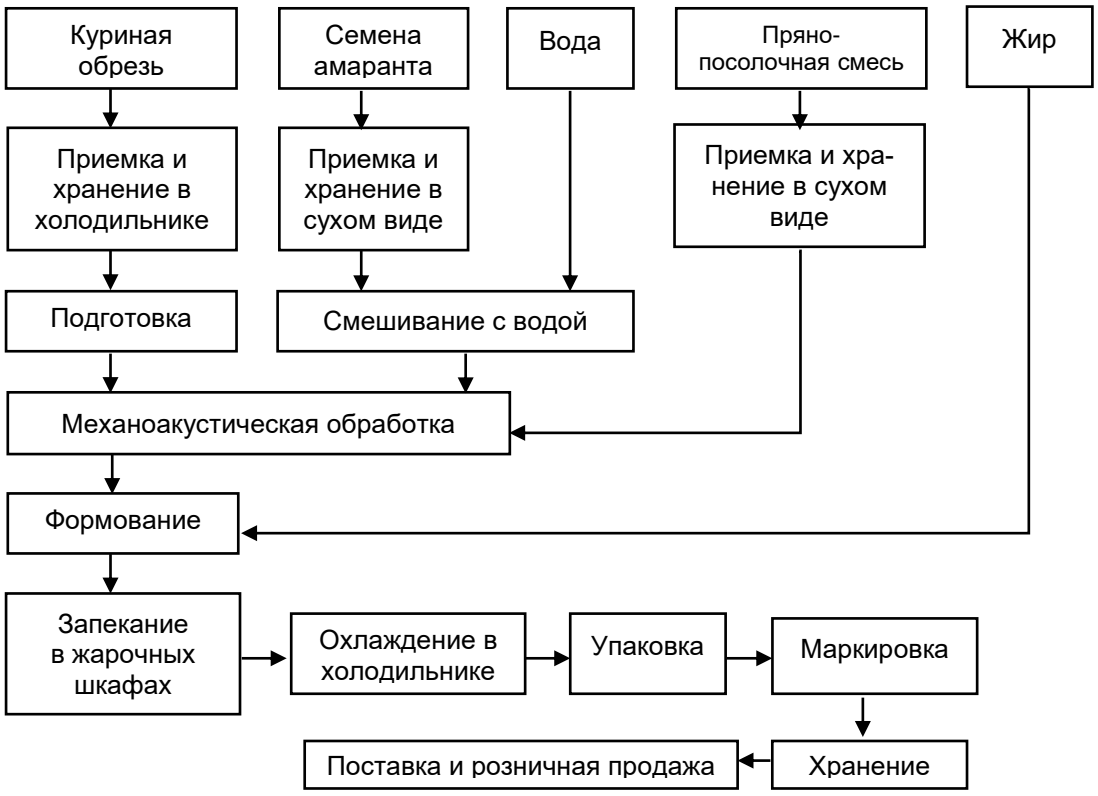


Рисунок 1 – Блок-схема технологического процесса производства колбасного хлеба

Центральной технологической операцией является механоакустическая обработка, под воздействием которой происходит измельчение компонентов рецептуры в жидкой среде с одновременным перемешиванием и термической обработкой фарша при температуре (100 ± 2) ºС. При соблюдении технологических параметров на данной стадии исключаются выше упомянутые биологические опасности, также могут быть устранены некоторые физические опасности, проявляющиеся в виде мелких веток, листьев и т. п.

Формование – это следующая операция, на которой также возможно проявления выше указанных трех видов опасностей, однако следующая за ней операция запекания, которая осуществляется при температурах (185 ± 35) ºС дает возможность корректировки нежелательных микробиологических изменений.

Дальнейшие технологические операции – охлаждение, упаковка, маркировка и хранение требуют осторожного подхода, соблюдения технологических режимов и своевременного выявления производственных ошибок. В целом технология производства колбасного хлеба имеет предпосылки для получения высококачественного продукта после разработки и внедрения системы контроля качества и безопасности.

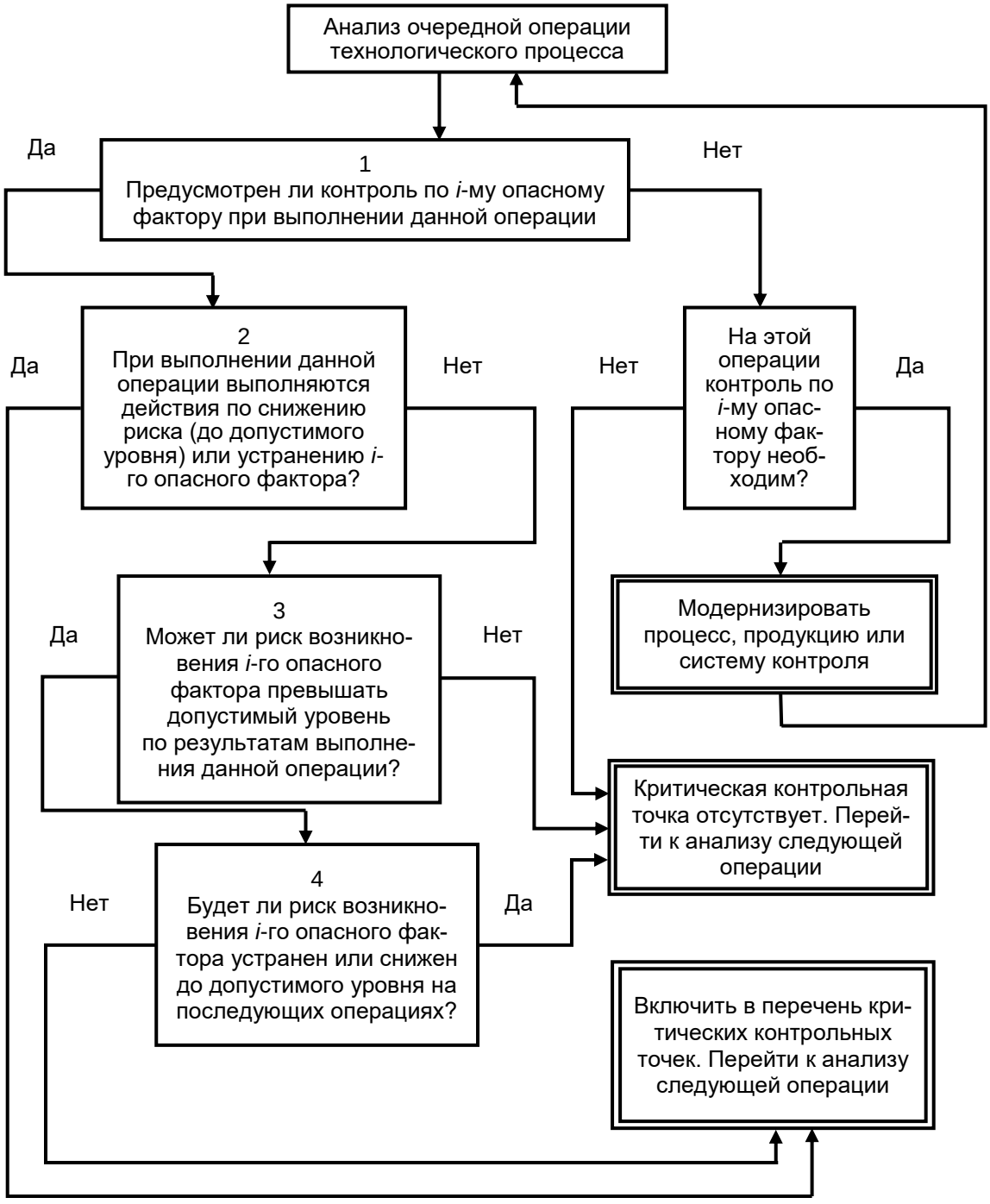


Рисунок 2 – Дерево принятия решений

Приемка сырья осуществляется только при наличии всех необходимых сопроводительных документов, свидетельствующих о соблюдении требований ТР ТС 021/2011. Поэтому входной контроль является достаточной предупреждающей мерой при приемке сырья.

Таблица 2 – Определение критических контрольных точек в технологии колбасного хлеба

	Операция / Опасность	В1	В2	В3	В4	ККТ	Примечание
1	Приемка и хранение сырья						
	Микроорганизмы	да	нет	да	да	–	Входной контроль
	Вредные химические вещества	да	нет	нет	–	–	Входной контроль
	Посторонние примеси	да	нет	нет	–	–	Входной контроль
2	Подготовка основных компонентов						
	Микроорганизмы	да	нет	да	да	–	Возможно обсеменение микроорганизмами, которые будут уничтожены при механоакустической и термической обработке
	Остатки моющих средств	да	нет	нет	–	–	Тщательная промывка оборудования чистой водой
	Посторонние примеси	да	нет	да	да	–	Органические включения (листья, мелкие ветки и т. п.) разрушаются при механоакустической обработке
3	Механоакустическая обработка рецептурной смеси						
	Микроорганизмы	да	да	–	–	+	Возможно неполное уничтожение микроорганизмов при нарушении технологических параметров обработки сырья
	Остатки моющих средств в механоакустическом гомогенизаторе	да	нет	нет	–	–	Тщательная промывка оборудования чистой водой
	Посторонние примеси	да	нет	нет	–	–	Органические включения (листья, мелкие ветки и т. п.) разрушаются при механоакустической обработке
4	Формование						
	Микроорганизмы	да	нет	да	да	–	Возможно внешнее обсеменение микроорганизмами, которые будут уничтожены при запекании
5	Запекание						
	Микроорганизмы	да	да	–	–	+	Возможно недостаточное уничтожение микроорганизмов при нарушении температурных режимов и продолжительности обработки
6	Охлаждение						
	Микроорганизмы	да	нет	нет	–	–	При соблюдении правил санитарии и режимов охлаждения попадание микрофлоры на поверхность продукта затруднено
7	Упаковка, маркировка						
	Целостность упаковки	да	да	–	–	+	Нарушение целостности, загрязнение упаковки
8	Хранение						
	Микроорганизмы	да	да	–	–	+	При несоблюдении режимов хранения возможно развитие сохранившихся при термообработке микроорганизмов

В таблице наглядно представлено обоснование выбора критических контрольных точек в технологии колбасного хлеба. Тщательного контроля заслуживают четыре технологические операции, а именно механоакустическая обработка рецептурной смеси в аппарате МАГ, запекание фарша в жарочных шкафах, упаковка и маркировка, а также хранение готовой продукции. Правильность выбора технологических параметров на этих операциях оказывает влияние на степень безопасности будущего продукта на других стадиях технологического процесса и этапах жизненного цикла продукта. Перечень, мониторинг ККТ и корректирующие действия представлены в таблице 3.

Таблица 3 – План ХАССП при производстве колбасного хлеба

ККТ	Операция	Опасный фактор	Контролируемые параметры	Пределы контролируемых параметров	Корректирующие действия
1	Механоакустическая обработка рецептурной смеси	Б	Температура	96…100 ºС	Изменение объема подачи холодной воды в водяную рубашку аппарата при риске выхода температуры за пределы
			Продолжительность	35…40 мин	Повторная обработка при преждевременной остановке аппарата, инструктаж оператора
2	Запекание	Б	Температура в шкафу	150…220 ºС	Выявление причин несоответствия и их устранение, инструктаж оператора
			Температура в продукте	69…71 ºС	
			Продолжительность	До 69…71 ºС в центре продукта	
3	Упаковка, маркировка	Ф	Целостность упаковки	Упаковка без видимых механических повреждений	Замена упаковки, при своевременном обнаружении повреждения, утилизация при невозможности определить точные сроки разгерметизации
4	Хранение	Б	Температура	0…6 ºС	Информирование руководителя, выявление причин несоответствия и их устранение, инструктаж кладовщика
			Влажность	Не более 75 %	

Таким образом, план ХАССП включает четыре критических контрольных точки. В отсутствие полной автоматизации процесса главную роль в обеспечении высокого качества выпускаемой продукции играет персонал обслуживающий оборудование, поэтому главным фактором предупреждения ошибок в технологическом процессе в данном случае выступает инструктаж и личные качества работников.

В результате проделанной работы на основе системы ХАССП составлен перечень потенциальных опасностей, выделены ККТ, предупреждающие и корректирующие меры в технологии колбасного хлеба, получаемого при использовании механоакустической обработки рецептурной смеси, позволяющие управлять его безопасностью и качеством на всех этапах производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин, А. А. Управление качеством и безопасностью мясного хлеба на основе принципов ХАССП / А. А. Лукин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2013. – Т. 7. – № 2. – С. 152–158.

2. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования [Текст]: ГОСТ Р 51705.1-2001 – Введ. 2001-07-01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 10 с.

3. Системы менеджмента качества. Требования [Текст]: ГОСТ Р ИСО 9001-2015. – М. : Стандартинформ, 2018 г. – 24 с.

4. Способ получения композиции для производства колбасных изделий типа мясной хлеб [Текст]: пат.2661369 Рос. Федерация: МПК A23L 13/50 (2016.01), A23L 13/20 (2016.01), A23L 33/10 (2016.01) / К. Н. Нициевская, О. К. Мотовилов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН). – № 2017137588; заявл. 26.10.17; опубл. 16.07.2018, Бюл. № 20.

5. Смирнова, Н. А. Современные системы управления качеством и безопасностью пищевых продуктов / Н. А. Смирнова // Пищевая промышленность. – 2015. – № 11. – С. 12–14.

6. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции: [технический регламент Таможенного союза: утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880].

7. ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» [технический регламент Таможенного союза: принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 года № 68].

8. Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 23.04.2018) «О качестве и безопасности пищевых продуктов» [Электронный ресурс]. – https://legalacts.ru/doc/29_FZ-o-kachestve-i-bezopasnosti-piwevyh-produktov/ (дата обращения 16.12.2019).

9. Wallace, C. A. Food Safety for the 21st Century: Managing HACCP and Food Safety Throughout the Global Supply Chain / C. A. Wallace, W. H. Sperber, S. E. Mortimore:John Wiley & Sons, 2018. – 496 p.

10. Wallace, C. A. HACCP / C. A. Wallace, S. E. Mortimore // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition), Woodhead Publishing, 2016. – Chapter 3. – P. 25–42.

***Мазалевский Виктор Борисович**, к.т.н., вед. научн. сотрудник СФНЦА РАН, mazalevskij@yandex.ru.*

***Мотовилов Олег Константинович**, д.т.н., гл. научн. сотрудник СФНЦА РАН, gnu-ip@ngs.ru.*

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.016
УДК 663.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРГОВОГО АССОРТИМЕНТА БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ И АРОМАТИЗАТОРОВ

И. В. Сандракова, И. Ю. Резниченко

Статья посвящена анализу ассортимента и информационной идентификации «натуральности» красителей и ароматизаторов, заявленных производителем безалкогольных газированных напитков, представленных продуктовым отечественным ритейлом. Объектами исследований являлись напитки безалкогольные различных торговых марок 48 наименований, реализуемые в торговой сети «Лента». При выполнении исследований применяли методы анализа и систематизации, исследование содержащихся в напитках красителей и ароматизаторов проводилось методом наблюдения и контент-анализа. В результате исследования была изучена информация о составе, указанная на маркировке безалкогольных газированных напитков. Установлено, что большую часть ассортимента в торговой сети «Лента» занимают напитки, подкрашенные одним или несколькими натуральными пищевыми красителями (48 %), а также напитки, не содержащие пищевых красителей (25 %). Синтетические красители содержатся в 21 % напитков; безалкогольные газированные напитки, содержащие натуральные и синтетические красители, составляют 6 % ассортимента. Выявлено, что в маркировке безалкогольных газированных напитков нет единообразия в сведениях об используемом ароматизаторе, что затрудняет выбор товара потребителем. Полученные данные могут иметь практическую реализацию. Формирование ассортимента отечественных безалкогольных напитков соответствующего качества способствует повышению конкурентоспособности российских брендов, снижению риска для здоровья потребителя, более полному удовлетворению потребительского спроса на качественную продукцию.

Ключевые слова: напитки безалкогольные газированные, анализ ассортимента, наличие красителей, содержание ароматизаторов, информация, идентификация.

Современные тенденции развития потребительского рынка продовольственных товаров характеризуются увеличением объемов производства продуктов здорового питания и возрастающим спросом на них. Производители расширяют ассортимент, включая в него товары «натуральные», «экологичные», «органические», активно используют тренд на здоровый образ жизни, вынося информацию о натуральности на лицевую сторону упаковки [1–4].

По данным опросов Nielsen, 41 % потребителей во всем мире доверяют обозначению «натуральный» на упаковке. Около 29 % продаж приходится на продукты, которые содержат заявление о натуральности на упаковке.

Одним из широко распространенных продуктов на потребительском рынке являются безалкогольные газированные напитки. Тенденции развития ассортимента направлены на обогащение напитков натуральными сырьевыми компонентами, богатыми биологически активными веществами [5–10]. По оценкам BusinesStat, в 2014–2018 гг. продажи безалкогольных напитков в России выросли на 6,0 %. Ранее проведенные исследования показали отсутствие количественно, качественной, ассортиментной и информационной фальсификации безалкогольных газированных напитков, представленных на полках российских магазинов [3, 5]. Однако у покупателей отсутствует информация о натуральности используемых в производстве таких напитков красителей и ароматизаторов, т. е. получены они из сырья растительного или животного происхождения, или же они синтетические и получены методами органического синтеза.

В настоящее время газированные безалкогольные напитки представлены на потребительском рынке России в широком ассортименте, но не все из них безопасны для здоровья потребителя.

Цель исследования: изучить «натуральность» красителей и ароматизаторов, используемых в производстве безалкогольных газированных напитков, представленных на полках российских магазинов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Напитки 48 наименований, представленные в торговой сети «Лента», следующих производителей:

1. ООО «Кока-Кола ЭйчБиСи Евразия» – 13 наименований;
2. ООО «ПепсиКоХолдингс» – 9 наименований;
3. ЗАО «Ирбис» – 6 наименований;
4. ООО «Карачинский источник» – 2 наименования;
5. ЗАО «Волчихинский пивоваренный завод» – 2 наименования;
6. ООО «ПК «Аквалайф» – 4 наименования;
7. ООО «ФКПЧФ БОБИМЭКС тм» – 6 наименований;
8. ООО «Терехинский завод напитков» – 3 наименования;
9. ООО «Триера» – 3 наименования.

В работе применяли методы анализа, систематизации и обобщения.

Выявление информационной фальсификации безалкогольных газированных напитков производилось при анализе маркировки на соответствие требованиям пункта 1 части 4.1 статьи 4 Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части её маркировки».

Исследование содержащихся в напитках красителей и ароматизаторов проводилось методом наблюдения в магазинах торговой сети «Лента» и контент-анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Весь ассортимент супермаркета сети «Лента» можно условно разделить на три группы. В первой группе оказались напитки, в составе которых отсутствуют красители. Они на вид обычно прозрачные, если же не содержат в составе ингредиентов, обладающих вторичным красящим эффектом, например, фруктовые и овощные соки или пюре. Во второй группе – напитки, содержащие всего один краситель. Третья группа представлена напитками, чей цвет обусловлен наличием смеси из двух и более пищевых красителей. Таким образом, к первой группе можно отнести 12 наименований, ко второй группе – 25, к третьей – 11 (рисунок 1).

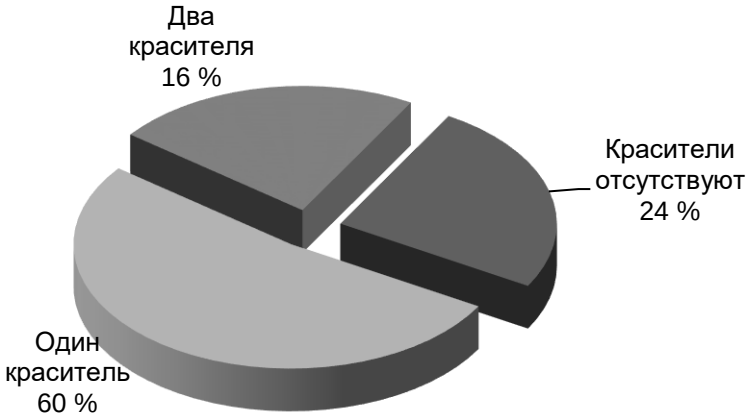


Рисунок 1 – Содержание красителей в безалкогольных газированных напитках

При анализе маркировки напитков на наличие в их составе красителей было обнаружено упоминание десяти красителей, таких как: тартразин, жёлтый «солнечный закат» FCF, азорубин (кармуазин), понсо 4R (пунцовый 4R), синий блестящий FCF (бриллиантовый голубой FCF), зелёный S, сахарный колер I (простой), сахарный колер IV (полученный по «аммиачно-сульфитной» технологии), каротины и бета-апо-8'-каротиновый альдегид (таблица 1).

Таблица 1 – Виды красителей, содержащихся в безалкогольных газированных напитках

Индекс	Названия красителей	Вид красителя	Количество напитков, содержащих краситель
1	2	3	4
Е102	Тартразин	Синтетический	5
Е110	Жёлтый «солнечный закат» FCF	Синтетический	2
Е122	Азорубин, кармуазин	Синтетический	1
Е124	Понсо 4R, пунцовый 4R	Синтетический	4

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
E133	Синий блестящий FCF, бриллиантовый голубой FCF	Синтетический	4
E142	Зелёный S	Синтетический	1
E150a	Сахарный колер I простой	Натуральный	10
E150d	Сахарный колер IV, полученный по «аммиачно-сульфитной» технологии	Натуральный	13
E160a	Каротины	Натуральный	3
E160e	Бета-апо-8'-каротиновый альдегид	Синтетический	1

Как видно из таблицы, из десяти красителей только три являются натуральными пищевыми красителями. Остальные семь – синтетические. Рассмотрим подробнее газированные безалкогольные напитки с одним красителем в составе. В ассортименте супермаркета такими являются 25 наименований. В их составе присутствует один из шести красителей: тартразин, жёлтый «солнечный закат» FCF, понсо 4R (пунцовый 4R), сахарный колер I (простой), сахарный колер IV (полученный по «аммиачно-сульфитной» технологии) или каротины (таблица 2).

Таблица 2 – Определение количества безалкогольных газированных напитков с одним красителем в составе

Индекс	Названия красителей	Вид красителя	Количество напитков, содержащих краситель
E102	Тартразин	Синтетический	1
E110	Жёлтый «солнечный закат» FCF	Синтетический	1
E124	Понсо 4R, пунцовый 4R	Синтетический	1
E150a	Сахарный колер I простой	Натуральный	9
E150d	Сахарный колер IV, полученный по «аммиачно-сульфитной» технологии	Натуральный	12
E160a	Каротины	Натуральный	1

Из 25 безалкогольных газированных напитков большая часть, а именно 22 напитка обладают цветом благодаря натуральным пищевым красителям – простому сахарному колеру (E150a), сульфитно-аммиачному сахарному колеру (E150d) или каротинам (E160a). А тартразин (E102), жёлтый «солнечный закат» FCF (E110) или понсо 4R (E124), являющиеся синтетическими пищевыми красителями, окрашивают остальные три напитка.

Кроме напитков с одним красителем, в ассортименте торговой сети «Лента» присутствуют также напитки, в состав которых входят два и более красителей. Таких напитков в ассортименте сети 11 наименований, из них в одном напитке присутствуют два натуральных красителя, два синтетических присутствуют в семи напитках, а в трех напитках можно обнаружить оба вида красителей – как натуральные, так и синтетические.

Структура ассортимента безалкогольных газированных напитков торговой сети «Лента» в зависимости от наличия в их составе красителей представлена в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3 – Структура ассортимента безалкогольных газированных напитков в зависимости от наличия в их составе красителей

Наименование напитка в зависимости от содержания красителей	Количество наименований в ассортименте, %
Напитки без красителей	25
Напитки с одним натуральным красителем	46
Напитки с одним синтетическим красителем	6
Напитки с натуральными красителями	2
Напитки с синтетическими красителями	15
Напитки, которые содержат оба вида красителей	6

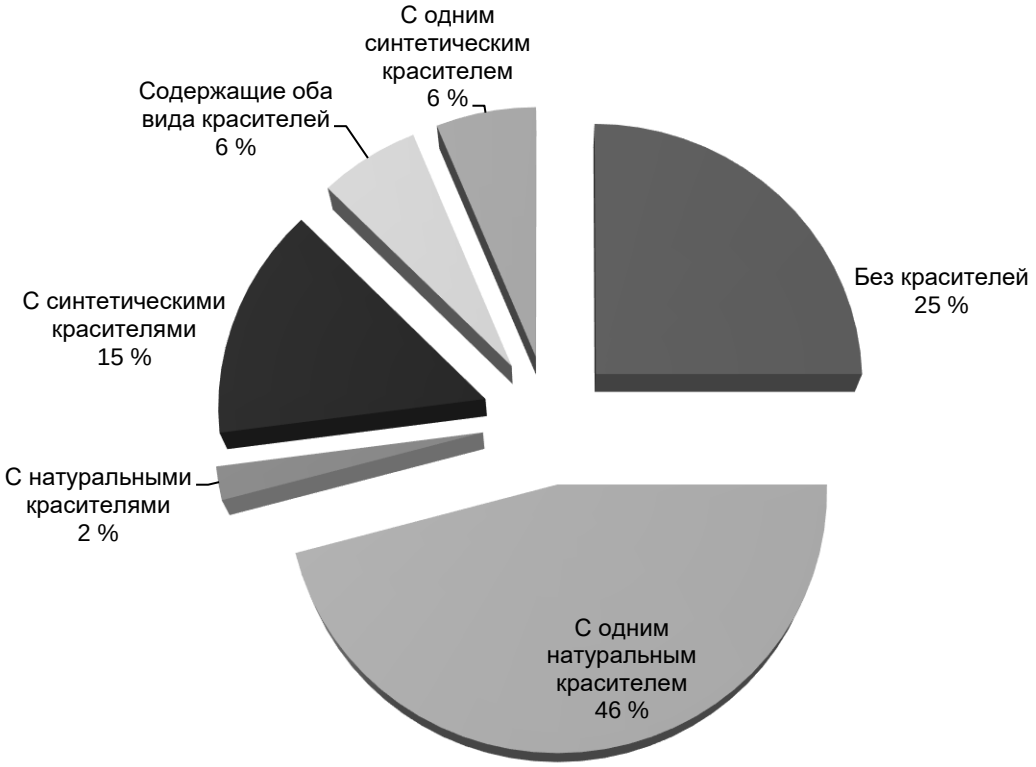


Рисунок 2 – Структура ассортимента безалкогольных газированных напитков в зависимости от наличия в их составе красителей

На основании результатов анализа информации о составе безалкогольных газированных напитков становится очевидным, что большую часть их ассортимента в торговой сети «Лента» занимают напитки, подкрашенные одним или несколькими натуральными пищевыми красителями (48 %), а также напитки, не содержащие пищевых красителей (25 %).

Анализ маркировки безалкогольных газированных напитков, представленных в ассортименте торговой сети «Лента», на наличие информации о содержании ароматизаторов показал, что в маркировке каждого из напитков присутствуют сведения о наличии ароматизатора или ароматизаторов (таблица 4).

Таблица 4 – Ароматизатор(ы) в безалкогольных газированных напитках в торговой сети «Лента»

Сведения, содержащиеся в маркировке напитков	Количество напитков, содержащих ароматизаторы
Ароматизатор	7
Ароматизатор идентичный натуральному	2
Ароматизаторы	9
Ароматизаторы натуральные	14
Натуральные ароматические вещества	1
Ароматизатор натуральный	7
Ароматизатор пищевой	7
Вкусоароматические вещества	1

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в маркировке безалкогольных газированных напитков нет единообразия в сведениях об используемом ароматизаторе. В 23 газированных безалкогольных напитках на маркировке указан всего один ароматизатор, в семи напитках он является натуральным, в двух – идентичный натуральному, в семи – пищевым и в семи отсутствует информация о натуральности.

В других газированных напитках содержится несколько ароматизаторов. В 15 напит-

ках в составе упоминаются натуральные ароматизаторы или натуральные ароматические вещества, в 9 напитках – тоже ароматизаторы, но без подписи «натуральные», а вот в маркировке одного напитка встречаются сведения о наличии в нем вкусоароматических веществ неизвестного происхождения (рисунок 3).

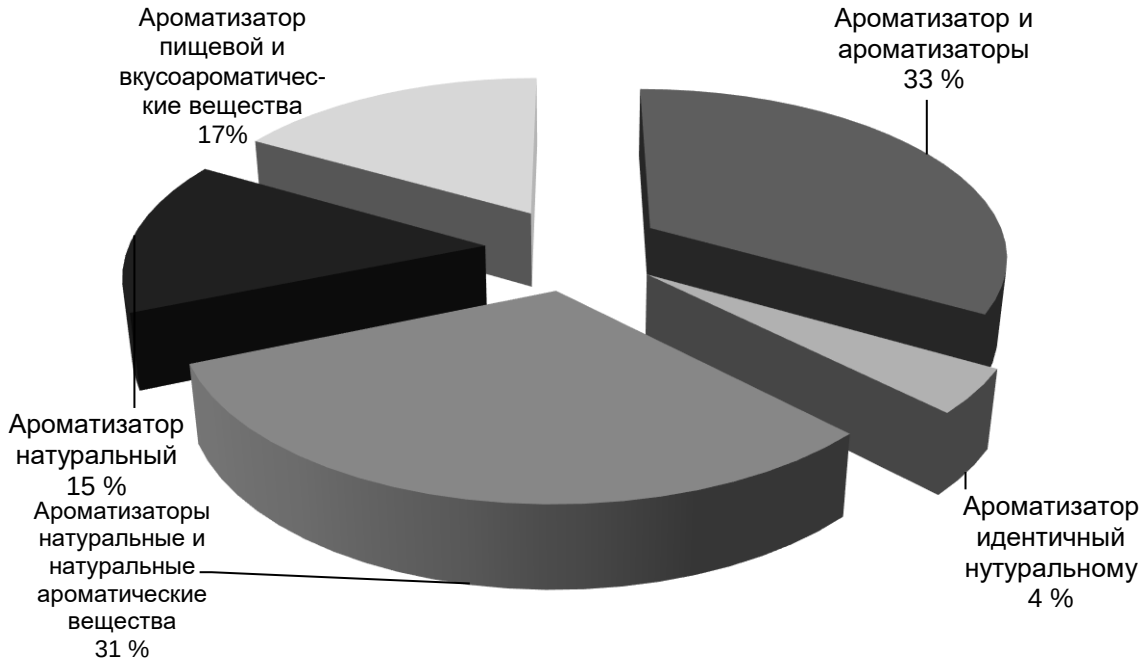


Рисунок 3 – Содержание ароматизаторов в безалкогольных газированных напитках

Таким образом, только 46 % безалкогольных газированных напитков в своей маркировке содержат информацию о натуральности используемых ароматизаторов.

ВЫВОДЫ

Исследование «натуральности» безалкогольных газированных напитков на основе содержания в них красителей и ароматизаторов показало, что большую часть ассортимента в торговой сети «Лента» занимают напитки, подкрашенные одним или несколькими натуральными пищевыми красителями (48 %), а также напитки, не содержащие пищевых красителей (25 %). Синтетические красители содержатся в 21 % напитков; безалкогольные газированные напитки, содержащие натуральные и синтетические красители, составляют 6 % ассортимента.

В маркировке безалкогольных газированных напитков нет единообразия в сведениях об используемом ароматизаторе. В 23 газированных безалкогольных напитках на маркировке указан всего один ароматизатор, в семи напитках он является натуральным, в двух – идентичный натуральному, в семи – пищевым и в семи отсутствует информация о натуральности.

В других газированных напитках содержится несколько ароматизаторов. В 15 напитках в составе упоминаются натуральные ароматизаторы или натуральные ароматические вещества, в 9 напитках – тоже ароматизаторы, но без подписи «натуральные», а вот в маркировке одного напитка встречаются сведения о наличии в нем вкусоароматических веществ неизвестного происхождения. Только 46 % безалкогольных газированных напитков в своей маркировке содержат информацию о натуральности используемых ароматизаторов. Полученные данные могут иметь практическое значение при оценке товара при его приемке в торговую организацию по качеству, а также при формировании ассортимента продукции для здорового питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандракова, И. В. Исследование потребителей продуктов здорового питания / И. В. Сандракова, И. Ю. Резниченко // Практический маркетинг. – 2019. – № 12 (274). – С. 22–27.

2. Голубев, В. С. Здоровое питание: восприятие, динамика, популяризация / В. С. Голубев, М. И. Беркович // Теоретическая экономика. – 2020. – № 3 (63). – С. 98–104.

3. Кондратьева, М. С. Идентификация потребительских свойств газированных безалкогольных напитков / М. С. Кондратьева, И. Ю. Резниченко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 1 (60). – С. 85–91.

4. Джабоева, А. С. Маркетинговые исследования отношения потребителей к безалкогольным напиткам лечебного и профилактического назначения / А. С. Джабоева, Р. М. Жилова, Л. Ж. Ширитова, К. В. Кипова // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 229–232.

5. Кондратьева, М. С. Обзор и тенденции развития Российского рынка газированных безалкогольных напитков / М. С. Кондратьева // Инновации в пищевой биотехнологии. VII Международная конференция. – КемГУ. – 2019. – С. 423–425.

6. Логвинчук, Т. М. Теоретическое обоснование разработки функциональных растворимых напитков на основе цикория и других видов фитосырья в качестве источника биологически активных веществ / Т. М. Логвинчук, В. Ф. Добровольский // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 49–51.

7. Степакова, Н. Н. Растительное сырье дальневосточного региона как источник биологически активных веществ / Н. Н. Степакова, Т. Ф. Киселева, Н. В. Шкрабтак, Н. А. Фролова // Пищевая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 16–21.

8. Бакин, И. А. Проектирование рецептур безалкогольных напитков на основе фитоэкстрактов ягод черной смородины / И. А. Бакин, А. С. Мустафина, Л. А. Алексенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. – № 2. – С. 37–50.

9. Frolova, N. A. Analysis of the chemical composition of wildlife raw material of the far eastern region having endoecological action / N. A. Frolova, I. Yu. Reznichenko, N. V. Shkrabtak (Babii), A. V. Balandin ; в сборнике : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. – С. 72011.

10. Фролова, Н. А. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ / Н. А. Фролова, И. Ю. Резниченко // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88. – № 2. – С. 83–90.

Сандракова Ирина Валерьевна, *к.т.н., доцент, зав. кафедрой менеджмента и бизнес-технологий Кемеровского института (филиала) РЭУ имени Г.В. Плеханова; e-mail: sandrin_rgtu@mail.ru*; *раб. тел.:89039090892.*

Резниченко Ирина Юрьевна*, д.т.н., профессор, зав. кафедрой управления качеством ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, e-mail: rezni-chenko@gmail.com, тел.: (3842) 39-68-53.*

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.017
УДК 66.047.3.049.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ

И. Н. Павлов, П. С. Кузнецов, А. И. Шилов

Бактериальная наноцеллюлоза (БНЦ) получает широкое распространение благодаря преимуществам перед растительной целлюлозой, таким как чистота, высокая механическая прочность и большая удельная поверхность. Получают БНЦ в виде гель-плёнки с высоким содержанием воды – более 90 %, связанной с волокнистой структурой. Используемые методы сушки оказывают влияние на характеристики БНЦ, которые определяют ее применение для разных целей в сухом виде. В статье представлены результаты по сублимационной сушке гель-пленок БНЦ, синтезированных продуцентом Medusomycesgisevii Sa*-12. Дана оценка четырех режимов сушки. Выбор режимов проведен с учетом сохранения исходной формы пленки БНЦ. На первом, наиболее продолжительном, этапе сушки удаление большей части влаги – до 65 % – приводит к незначительному снижению влажности БНЦ – до 92,0 %. Такой эффект связан с низким содержанием абсолютно сухой массы БНЦ 0,7–0,9 % во влажной пленке. На втором этапе сушки скорость удаления влаги возрастает. В результате при меньших затратах времени удаляется наибольшее количество влаги, и влажность БНЦ снижается до 10 %. Определен оптимальный режим сушки, при котором время процесса сокращается до 36 ч при достижении остаточной влажности 3 %. Для сокращения времени первого этапа проведено предварительное удаление влаги из БНЦ центрифугированием. В ходе центрифугирования снижение влажности образцов составляет от 0,2 % до 0,8 %. При этом происходит удаление большей части влаги от 30,9 % до 50,5 %. Отмеченным недостатком центрифугирования является деформация пленки БНЦ в результате сжатия. Определены оптимальные условия удаления влаги при центрифугировании. При минимальной деформации образца на 28 % по толщине снижение начальной влажности позволит сократить время сушки на 4 часа.*

Ключевые слова: бактериальная наноцеллюлоза, методы сушки, сублимационная сушка, центрифугирование, деформация, сублиматор, полусинтетическая среда, кривые сушки, гель-пленка, продуцент Medusomycesgisevii Sa-12.

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальная наноцеллюлоза (БНЦ) получила широкое применение [1] благодаря своим уникальным физико-химическим и механическим характеристикам, отличающими ее от целлюлозы растительного происхождения [2, 3]. БНЦ характеризуется высокой чистотой, прочностью, эластичностью, высокой биосовместимостью, сорбционной способностью. Эти свойства позволяют использовать ее при создании композитных материалов [4], создании водных дисперсий с особыми реологическими свойствами [5], использовать в медицине как матрицу-носителя лекарственных препаратов для приема внутрь или в виде покрытия на раны и ожоги [6, 7].

Благодаря своим хорошим технологическим свойствам, таким как водоудерживающая способность, высокая скорость водопоглощения, кристалличность, высокая прочность на разрыв, иреологическим свойствам БНЦ широко используется в пищевой промышленности в качестве загущающей, желирующей, стабилизирующей и эмульгирующей пищевой добавки [8], а также в качестве материала для упаковки пищевых продуктов.

Различные методы сушки оказывают влияние на характеристики БНЦ, которые определяют ее применение для разных целей. Используемыми методами сушки БНЦ являются: сушка на воздухе при комнатной температуре, сушка в печи при повышенной температуре, сублимационная сушка, сверхкритическая сушка. Наблюдаемые различия заключаются в степени сохранения трехмерной структуры и влияния на физические свойства БНЦ. Сушка при комнатной температуре является самым простым методом, однако отмечается, что в этом процессе теряется исходная пористая микроструктура влажного исходного гидрогеля БНЦ [9]. В работе [10] показано, что высушенные при комнатной температуре пленки БНЦ имеют более низкую степень кристалличности, чем пленки, высушенные при сублимационной сушке.

БНЦ, высушенная в печи, имеет более компактную структуру с более высокой кристалличностью, пределом прочности на разрыв и модулем Юнга [11].

При использовании сублимационной сушки БНЦ сохраняет исходную сетчатую пористую структуру и обладает более высокой абсорбционную емкостью [11]. Высокая водоудерживающая способность БНЦ делает ее пригодной для связывания воды с пищевыми добавками [12] и биоматериалами [13].

В данной работе в качестве метода удаления влаги выбрана сублимационная сушка. К факторам, влияющим на продолжительность сублимационной сушки БНЦ, относятся: температура сушильного агента, давление в камере сублиматора, толщина пленки БНЦ, температура предварительного замораживания. Проведено исследование по определению влияния температуры сублимационной сушки на сохранение исходной пористой микроструктуры влажного образца БНЦ и продолжительность сушки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения исследований использовалась БНЦ, синтезированная продуцентом *Medusomycesgisevii* Sa-12 на полусинтетической питательной среде в лабораторных условиях ИПХЭТ СО РАН [14].

Сушка образцов проводилась в лабораторной сублимационной сушилке HR7000-M (Harvest Right, LLC, USA), в конструкцию которой входят сушильная камера, система охлаждения с охладительным блоком, заключенные в общем корпусе установки, и вакуумная система с насосом низкого давления [15]. Сушилка оснащена системой управления, которая содержит элементы управления и автоматизации процесса сушки. В камере сушилки расположены подогреваемые полки, на которых располагаются поддоны с высушиваемым материалом. Контроль температуры полок во время процесса сушки включает в себя установку до четырех различных значений температуры для нагрева полок, что позволяет сушить материал в течение одного цикла сушки в разных температурных режимах.

Поскольку сублимационная сушка представляет процесс изменения агрегатного состояния материала от твердого к газообразному, то материал должен быть предварительно заморожен. Поэтому на первом этапе проводили замораживание пленок БНЦ в камере сублиматора за счет понижения температуры в камере до минус 20 °С при скорости заморозки 20 °С/мин.

Для регулирования скорости выхода влаги из слоя пленки БНЦ сушку проводили при использовании четырех режимов настройки, на которых задавались периоды с различными значениями температуры и продолжительности. В таблице 1 приведены используемые режимы сушки.

Изменение влажности образцов БНЦ в процессе сушки контролировали весовым способом. Для этого проводили отбор образцов БНЦ каждые 6–8 ч и определение их массы на аналитических весах Ohaus Explorer EX-224/AD (OhausInsyruments Co, USA) с точностью до 0,001 мг. Влажность образцов БНЦ в процессе сушки определяли по формуле:

$$w = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{вл}} x\ 100\ \%,$$

где $m_{вл}$– масса БНЦ в ходе сушки, г;

$m_{сух}$ – масса абсолютно сухого образца БНЦ, г.

Относительную массу БНЦ в ходе процессов сушки и центрифугирования рассчитывали по формуле:

$$m = \frac{m_{БНЦ}}{m_{вл}} x\ 100\ \%,$$

где $m_{вл}$ – масса влажного образца БНЦ до сушки или центрифугирования, г;

$m_{сущ}$ – масса образца БНЦ в процессе сушки или после центрифугирования, г.

Массу абсолютно сухого образца БНЦ $m_{сух}$ определяли методом обезвоживания образца БНЦ в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение фиксированного времени до постоянной массы образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Используемая установка сублимационной сушки предназначена для работы с пищевыми продуктами фрукты, овощи, ягоды, относительная влажность которых составляет 60–70 %. Исходная влажность пленок БНЦ составляет 99,1–99,3 %, и рекомендованных режимов сушки для продуктов с такой высокой влажностью в используемом сублиматоре не приводится. В известных работах по сушке бактериальной целлюлозы отсутствует информация по параметрам сублимационной сушки. Однако говорится о важности сохранения исходной формы и структуры влажной БНЦ, полученной после выращивания и промывки. Известно, что при сублимационной сушке происходит выход влаги из толщины пленки, при этом скорость выхода влияет на продолжительность сушки и форму пленки БНЦ. Поэтому, чтобы сохранить исходную форму пленки после сушки, изначально выбран режим с низкими температурами по пе-

риодам сушки (таблица 1, режим 1). Следующие режимы назначали с повышением температуры сушки для сокращения общего времени сушки.

На рисунке 1 показаны изменения в процессе сушки массы пленок БНЦ и влажности БНЦ. После проведенной заморозки на первом этапе начинался процесс первичной сушки, при которой происходило удаление свободной влаги за счет постепенного увеличения температуры в камере и поддержания заданного вакуума в сушильной камере. Давление в камере сушилки устанавливалось автоматически в диапазоне от 3,0 до 10,0 Па.

Условия сушки оказывают влияние, прежде всего, на скорость удаления влаги из пленки БНЦ. Скорость удаления влаги из толщины пленки зависит от величины градиента между давлением над поверхностью сублимации и давлением в камере сушилки. При уменьшении температуры в пленке снижается равновесное давление над поверхностью, тем самым уменьшается движущая сила сублимации. Поэтому режим 1 характеризуется наименьшей скоростью сублимации и, соответственно, наибольшей продолжительностью процесса сушки. При повышении температуры в камере при изменении режима от 2 до 4 увеличивается давление над поверхностью пленки, что является эффективным, т. к. повышается движущая сила сублимации. Увеличение движущей силы приводит к росту скорости удаления влаги и сокращению времени сушки.

Весь процесс сушки можно разбить на три этапа. На первом этапе происходит удаление основной массы влаги до 65 %,о чем свидетельствует снижение относительной массы образцов до 35 %. На графиках изменения массы БНЦ кривые имеют наибольший угол наклона до точки перегиба в интервале от 35 %. Однако, как видно на графиках изменения влажности, на этом этапе влажность БНЦ изменяется незначительно. Так, например, при сушке по режиму 4 при снижении относительной массы образца до 35,7 % влажность снижается до 96,7 %. Кривые влажности имеют малый угол наклона до характерной точки перегиба. Снижение влажности происходит от начального содержания 99,3 % до значения приблизительно 92,0 % для каждого режима сушки. Общее время сушки во много определяется продолжительностью первого этапа. Таким образом, на первом этапе при удалении большей части влаги до 65 % приводит к незначительному снижению влажности БНЦ до 92 %. Такой эффект связан с низким содержанием абсолютно сухой массы БНЦ 0,7–0,9 % во влажной пленке БНЦ.

На втором этапе скорость удаления влаги из пленки БНЦ при снижении влажности менее 92 % значительно возрастает. На графике сушки этот этап отображается кривой с большим углом наклона. Скорость удаления влаги из пленки БНЦ также зависит от выбранного режима сушки.

Для режима 1 при низких начальных температурах сушки характерна низкая скорость выхода влаги из слоя пленки БНЦ и протекание процесса сушки в более мягких условиях. Такой подход связан с желанием сохранить нативную структуру БНЦ в процессе сушки и предотвратить ее деформацию, которая возможна при быстром удалении влаги из толщины слоя. Поэтому при использовании режима 1 угол наклона кривой сушки на втором этапе минимальный и, соответственно, скорость сушки является низкой. При повышении начальной температуры сушки от режима 2 до режима 4 угол видно, что угол наклона кривой сушки на втором этапе возрастает. Это связано с ростом движущей силы процесса и повышением скорости удаления влаги из толщины пленки БНЦ. Таким образом, при использовании режима 4 продолжительность всех этапов сушки является минимальной, и время процесса сокращается до 36 ч при достижении остаточной влажности 3 %.

Таблица 1 – Режимы сушки БНЦ

Режим	Период сушки							
	1		2		3		4	
	Температура, °С	Время, ч	Температура, °С	Время, ч	Температура, °С	Время, ч	Температура, °С	Время, ч
1	–20	48	–10	24	–2	48	10	6
2	–10	28	–2	12	10	4	–	–
3	–2	36	10	4	–	–	–	–
4	10	24	15	12	–	–	–	–

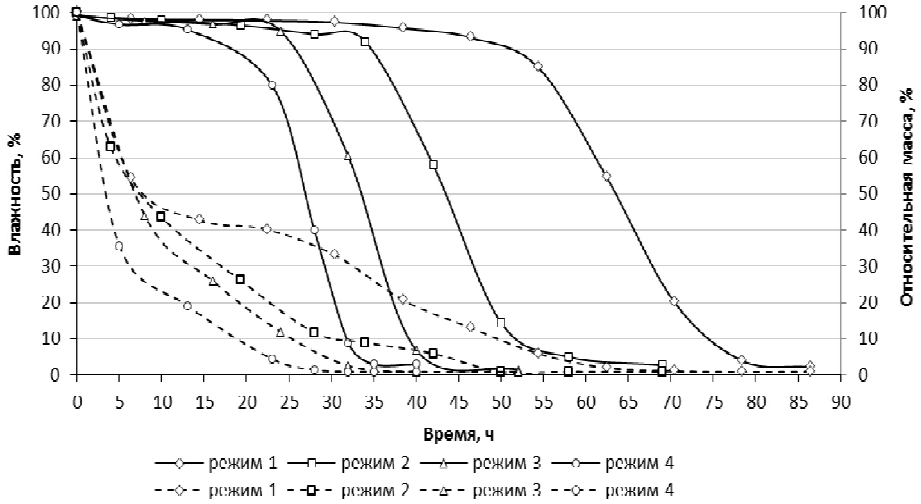


Рисунок 1 – Зависимость влажности БНЦ (сплошные линии) и относительной массы пленок БНЦ (пунктирные линии) от времени сушки

На третьем этапе происходит удаление связанной влаги из БНЦ за счет повышения температуры до максимального значения на последнем шаге. На данном этапе происходит медленный выход влаги из пленки БНЦ. На кривой удаления влаги характерным является наличие перегиба с уменьшением угла наклона до малого значения. Продолжительность сушки достигает от 8 до 12 ч в зависимости от выбранного режима.

При анализе изменения влажности для всех выбранных режимов характерным является протяженность первого этапа сушки, в ходе которого удаляется свободная влага. Для режима 1 длительность первого этапа составляет около 50 ч, при использовании режима 4 его длительность сокращается до 18 ч. Для сокращения времени первого этапа необходимо из пленки БНЦ предварительно удалить избыточную влагу и понизить содержание начальной влажности до 92–95 %. Предварительное обезвоживание осуществляли на центрифуге ЦЛУ6-3 (ПАО «ДНПП», Россия) в диапазоне изменения частоты вращения 500–3500 об/мин. При проведении обработки контролировали исходную влажность пленки БНЦ и содержание влаги после центрифугирования.

Важным показателем качества пленки после центрифугирования является минимальная деформация, которая выражается в уменьшении толщины пленки в результате действия центробежных сил. Проведены исследования по максимальной степени деформации образцов плёнки БНЦ после центрифугирования.

В таблице 2 представлены полученные результаты центрифугирования при различных частотах вращения.

Удаление влаги из пленок БНЦ происходит в результате отжима под действием центробежных сил. По результатам проведения центрифугирования видно, что при снижении относительной массы образцов до 70,1 % при частоте вращения до 500 об/мин влажность образца снижается на 0,2 %. При дальнейшем повышении частоты вращения – до 2500 об/мин – относительная масса образцов БНЦ снижается до 49,5 %. При этом происходит незначительное снижение влажности образца – на 0,8 %, Повышение частоты вращения до 3500 об/мин не приводит к увеличению удаляемой влаги из пленки БНЦ.

Незначительное снижение влажности образцов от 0,2 % до 0,8 % при удалении большей части влаги от 30,9 % до 50,5 % связано с низким содержанием в исходной влажной БНЦ абсолютно сухой массы бактериальной целлюлозы 0,7 %.

Недостатком применения центрифугирования для удаления влаги является деформация пленки БНЦ в результате сжатия. В таблице 2 показано изменение толщины пленки. Образцы, центрифугированные при частоте 500 об/мин, практически сохраняют свою толщину, однако заметна деформация высушенного образца (рисунок 2, *а*). Образец пленки БНЦ, не подверженный центрифугированию, после сушки сохраняет исходную толщину и имеет однородную поверхность и ровную толщину (рисунок 2, *б*).

Таблица 2 – Показатели образцов до и после центрифугирования в течение 10 минут

Частота, об/мин	Толщина до центрифугирования, мм	Толщина после центрифугирования, мм	Влажность начальная, %	Влажность после центрифугирования, %	Относительная масса, %
500	10	9	99,3	99,1	70,1
1000	10	6	99,3	98,9	59,5
1500	10	4–7	99,3	98,7	51,6
2000	10	3–5	99,3	98,6	49,1
2500	10	3–4	99,3	98,5	49,5
3000	10	2–3	99,3	98,5	45,8
3500	10	2–3	99,5	98,7	37,9

Таблица 3 – Показатели образцов до и после центрифугирования в течение 15 и 30 минут

Частота, об/мин	Время, мин	Толщина до центрифугирования, мм	Толщина после центрифугирования, мм	Влажность начальная, %	Влажность после центрифугирования, %	Относительная масса, %
500	15	7	6,5	99,2	98,9	71,1
1000		7	5	99,2	98,7	62,4
500	30	7	5	99,2	98,7	60,8
1000		7	4	99,2	98,4	49,5



а б

Рисунок 2 – Внешний вид плёнок БНЦ высушенных после центрифугирования

Образцы, центрифугированные при частотах 500–1500 об/мин, сжимаются, происходит неравномерная деформация образцов в диапазоне 15–30 % от изначальной толщины. В результате образцы после сушки имеют неравномерную толщину. Образцы, центрифугированные при частотах 1500–3500 об/мин, сильно деформируются, по высоте образуются неровности в диапазоне 50–80 % от изначальной толщины образца. В результате образцы после сушки имеют наименьшую толщину и плотную сжатую структуру.

При частотах вращения от 500–1000 об/мин деформация является минимальной, и пленка после сжатия имеет однородную толщину, поэтому проводилась обработка на данных частотах вращения при увеличении времени процесса обработки. В таблице 3 приведены результаты центрифугирования при различном временном интервале.

Увеличение времени центрифугирования приводит к сжатию образцов и деформации их по толщине от 7 % до 29 % после 15 минут обработки и от 29 % до 43 % после 30 минут обработки. При этом все пленки БНЦ после сушки имеют равномерную толщину. После центрифугирования достигнуто незначительное удаление влаги: при частоте вращения 500 об/мин влажность образца снижается на 0,3 %, при увеличении частоты вращения до 1000 об/мин снижение влажности составило 0,5 %. Дальнейшее увеличение времени обработки при частоте вращения 1000 об/мин позволяет снизить влажность образца на 0,8 %. Дальнейшее повышение времени обработки приведет к значительной деформации образца и уменьшению его толщины свыше 50 %.

При рациональных условиях центрифугирования при 1000 об/мин и времени обработки 15 мин достигается снижение влажности пленки на 0,5 % при минимальной деформации образца на 28 % по толщине. Такое снижение начальной влажности позволит сократить время сушки, например, при использовании режима 4 на четыре часа.

ВЫВОДЫ

Определено влияние температурных условий при разных режимах на продолжительность сублимационной сушки БНЦ. На первом этапе удаление большей части влаги до 65 % приводит к незначительному снижению влажности БНЦ до 92,0 %. Такой эффект связан с низким содержанием абсолютно сухой массы БНЦ 0,7–0,9 % во влажной пленке

БНЦ. Наиболее продолжительным является первый этап сушки, в котором происходит медленное удаление влаги при снижении влажности от начального содержания 99,3 % до значения приблизительно 92 %.

На втором этапе сушки при повышении температуры движущая сила увеличивается, и скорость удаления влаги из толщины пленки БНЦ возрастает. В результате при меньших затратах времени удаляется наибольшее количество влаги и влажность БНЦ снижается до 10 %. На третьем этапе происходит удаление абсорбционной влаги при минимальных затратах времени. Определен оптимальный режим сушки, при котором продолжительность всех этапов сушки является минимальной, и время процесса сокращается до 36 ч при достижении остаточной влажности 3 %.В ходе центрифугирования происходит незначительное снижение влажности образцов – от 0,2 % до 0,8 % – при удалении большей части влаги – от 30,9 % до 50,5 %. Это связано с низким содержанием в исходной влажной БНЦ абсолютно сухой массы бактериальной целлюлозы – 0,7 %.

Определены рациональные условия предварительного удаления влаги центрифугированием, при которых при минимальной деформации образца на 28 % по толщине снижение начальной влажности позволит сократить время сушки на 4 часа.

Исследования проводились при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №17-19-01054).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выдрина, И. В. Разработка устройства для биосинтеза бактериальной целлюлозы с заданной ориентацией микрофибрилл / И. В. Выдрина, К. С. Болотова // В сборнике «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности». Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – 2018. – С. 362–365.

2. Skvortsova, Z. N. Physicochemical mechanics of bacterial cellulose / Z. N. Skvortsova, V. S. Grachev, V. Y. Traskin, T. I. Gromovykh // Colloid Journal. – 2019. – V. 81. – № 4. – P. 366–376.

3. Болотова, К. С. Морфологические особенности фибриллярной структуры растительной и бактериальной целлюлозы / К. С. Болотова, Д. Г. Чухчин, Л. В. Майер, А. А. Гурьянова // Лесной журнал. – 2016. – № 6. – С. 153–165.

4. Шидловский, И. П. Свойства композитов бактериальной целлюлозы и наночастиц серебра / И. П. Шидловский, А. А. Шумилова, Е. И. Шишацкая, Т. Г. Волова // Биофизика. – 2018.– Т. 63. – № 4. – С. 669–676.

5. Vinogradov, M. I. Rheological properties of aqueous dispersions of bacterial cellulose / M. I. Vinogradov, I. S. Makarov, L. K. Golova, P. S. Gromovykh, V. G. Kulichikhin // Processes. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 423.

6. Жариков, А. Н. Протезирующая герниопластика с использованием бактериальной наноцеллюлозы: экспериментальное исследование / В. Г. Лубянский, Е. К. Гладышева, Е. А. Скиба, В. В. Будаева, Е. Н. Семенова, Ю. Г. Мотин, А. А. Жариков // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского. – 2018. – Т. 6. – № 2. – С. 59–66.

7. Zharikov, A. N. Enhancement of small intestinal suture by means of bacterial nanocellulose: experimental-morphological study / A. N. Zharikov, V. G. Lubyansky, E. K. Gladysheva, E. A. Skiba, V. V. Budaeva, E. N. Semenova // Bulletin of Medical Science. – 2018. – № 4 (12). – С. 44–49.

8. Wu, R-Q. Mutagenesis induced by high hydrostatic pressure treatment: a useful method to improve the bacterial cellulose yield of a Gluconoacetobacterxylinus strain / R-Q. Wu, Z-X. Li, J-P. Yang, X-H. Xing, D-Y. Shao, K-L. Xing // Cellulose. – 2010. – V. 17 (2). – P. 399–405.

9. Tang, W. The influence of fermentation conditions and post-treatment methods on porosity of bacterial cellulose membrane / W. Tang, S. Jia, Y. Jia, H. Yang // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2010. – Vol. 26. – P. 125–13.

10.Zeng, M. Bacterial cellulose films: influence of bacterial strain and drying route on film properties / M. Zeng, A. Laromaine, A. Roig // Cellulose. – 2014. – Vol. 21. – P. 4455–4469.

11.Feng, X. Characterization of bacterial cellulose by Gluconacetobacterhansenii CGMCC 3917 / X. Feng, N. Ullah, X. Wang // Journal of Food Science. – 2015. – V. 80. – P. 2217–2227.

12.Shi, Z. Utilization of bacterial cellulose in food / Y. Zhang, G. O. Phillips, G. Yang. – Food Hydrocolloid. – 2014. – V. 35. – P. 539–545.

13.Czaja, W. Microbial cellulose – the natural power to heal wounds / W. Czaja, A. Krystynowicz, S. Bielecki, Jr. R. M. Brown // Biomaterials. – 2006. – V. 27 (2). – P.145–151.

14.Gladysheva, E. K. Study of the conditions for the biosynthesis of bacterial cellulose by the producer Medusomycesgisevii Sa-12 / E. K. Gladysheva, E. A. Skiba, V. N. Zolotukhin, G. V. Sakovich // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2018. – V. 54. – I. 2. – С. 179–187.

15.Кузнецов, П. С. Лиофильная сушка гель-плёнок бактериальной целлюлозы [Текст] / П. С. Кузнецов, А. И. Шилов, Н. А. Шавыркина, И. Н. Павлов // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (20–22 мая 2020 года, г.

Бийск). – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2020. – С. 257–262.

***Павлов Игорь Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: pawlow-in@mail.ru, тел. 8-903-958-4140.*

***Кузнецов Павел Сергеевич**, лаборант лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН),e-mail: Black_Heart98@mail.ru, тел. 8-923-434-79-21.*

***Шилов Алексей Игоревич**, лаборант лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН),e-mail: Shilov_36@mail.ru, тел. 8-961-990-61-97.*

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.018
УДК 532.542

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ В КРУГЛЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБКАХ

В. И. Семихин, Р. В. Малюгин, Д. Д. Коровин

В статье представлены экспериментальные данные по определению расхода воды через горизонтальные трубки круглого сечения, имеющие различный диаметр и выполненные из разных материалов. Приводятся принципиальная схема экспериментальной установки и методика проведения экспериментов. Определена зависимость объемного расхода от перепада давления, показано, что она является нелинейной. Показано, что на характер течения воды в трубках и объемный расход жидкости существенное влияние оказывает межмолекулярное взаимодействие, которое экспериментально описывается величиной краевого угла смачивания водой материала трубок. На основе анализа зависимости объемного расхода от давления на входе трубки сделан вывод, что влияние начального участка сказывается на характере течения на больших расстояниях, по сравнению с рассчитанным теоретически. Вводится понятие калибра трубок, равного отношению длины трубки к ее диаметру. На примере трубок разного диаметра показано, что с увеличением калибра трубки происходит нелинейное уменьшение объемного расхода воды. Получены аппромаксионные зависимости объемного расхода от величины обратной калибру. Показано, что увеличение калибра трубки в 7,3 раза приводит к увеличению объемного расхода в 1,845 раз при ΔP = 1,33 кПа и в 1,75 раз при ΔP = 2,4 кПа.

Ключевые слова: *ламинарное течение, турбулентное течение, объемный расход, структура потока*.

ВВЕДЕНИЕ

Со времен Пуазейля и Гагена не ослабевает интерес к изучению течения жидкостей и газов в круглых трубах, что связано с его колоссальным влиянием на развитие технологии и техники. Практическое значение имеет исследование движения жидкости и газа в широчайшем диапазоне диаметров труб. Проводимые расчеты параметров процессов тепло- и массообмена таких течений в большинстве своем направлены на повышение гидродинамической эффективности, улучшение эксплуатационных и технических характеристик различных аппаратов и устройств, а также обеспечение требуемого режима и условий течения [1–4]. Большое количество работ посвящено изучению динамики движения газа в трубах [5–7], как правило, с диаметрами в десятки миллиметров. Это связано с интенсивным развитием приборов для измерения характеристик течения, таких как объемный расход, распределение скорости в трубах и др.

Сложнее обстоит дело с исследованием движения жидкостей, особенно в трубках малого диаметра. Основной экспериментально измеряемой характеристикой потока является объемный расход жидкости Q в зависимости от перепада давления ΔP.

В рамках данной работы на экспериментальной установке исследован режим течения дистиллированной дегазированной воды через тонкие горизонтальные трубки, показано влияние материала и внутреннего диаметра трубок на расход жидкости через них.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 1, состоящей из камеры для дегазирования воды (1), ручного редуктора (2), манометра (3), «успокоительной» камеры с ситами (4), горизонтальной трубки (5).

Используемая в экспериментах вода перед проведением опытов дистиллировалась, после чего проходила процедуру дегазирования в камере пониженного давления для удаления из нее растворенных солей и воздуха. Давление в системе задавалось гидростатически за счет разницы уровней камеры для дегазирования, в которой была вода, и остальных элементов установки, находящихся на одном уровне, что позволяло проводить эксперименты при давлении до 8 кПа. Для регулирования давления использовался редуктор. «Успокоительная» камера содержит сита с диаметром ячейки менее $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м и предназначена для устранения возможных возмущений в структуре потока до его попадания в исследуемую трубку.

Исследуемые трубки из нержавеющей стали, меди и стекла заводского изготовления имеют диаметр $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ и $3{,}8 \cdot 10^{-3}$ м, трубки из дюралюминия, фторопласта и других

материалов с диаметром $3{,}0\cdot10^{-3}$ м изготовлялись в лабораторных условиях на кафедре «Механики многофазных систем» Тюменского государственного университета. Перед проведением опытов внутренняя поверхность всех трубок обрабатывалась абразивной алмазной пастой для исключения влияния шероховатостей на характер течения.

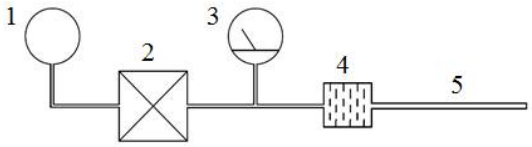


Рисунок 1 – Принципиальная блок-схема экспериментальной установки

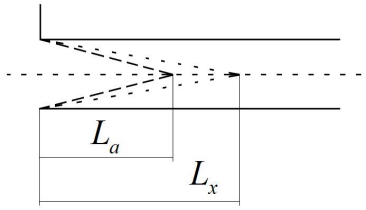
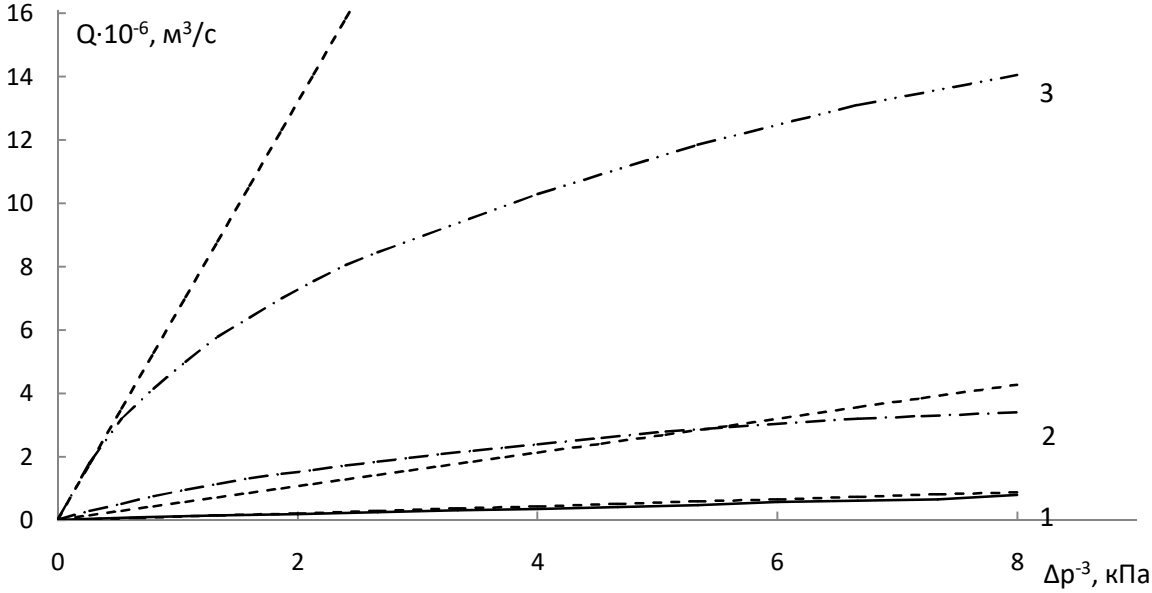


Рисунок 2 – Начальный участок



1 – трубка d1 = 0,95·10–3 м; 2 – трубка d2 = 1,6·10–3 м; 3 – трубка d3 = 3,0·10–3 м; пунктиром показаны линии, соответствующие расходу, рассчитанному по формуле Пуазейля

Рисунок 3 – Динамика изменения объемного расхода в трубках из нержавеющей стали

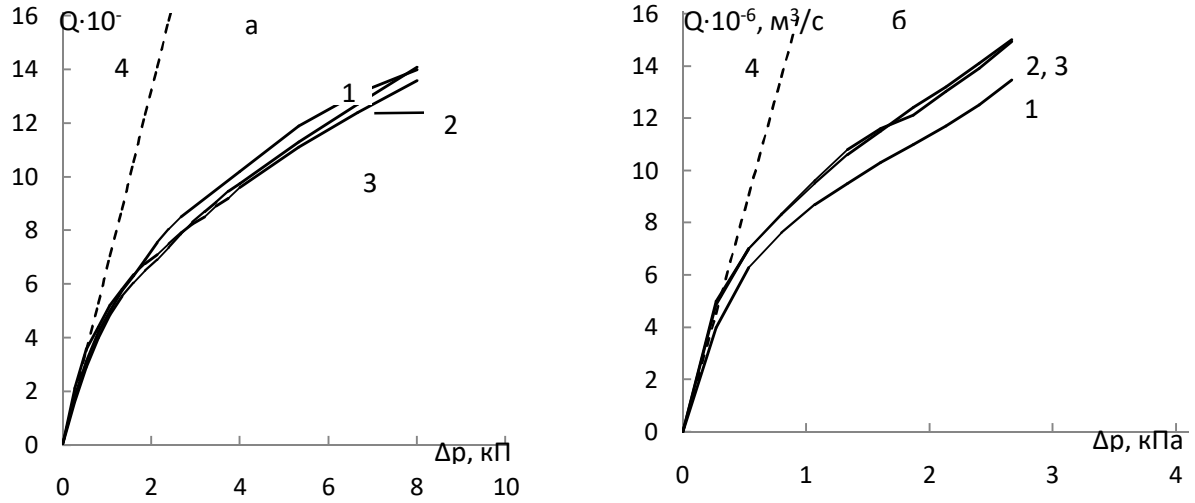
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Важнейшую роль в формировании структуры потока в круглой трубке играет начальный участок, его принципиальная схема изображена на рисунке 2 [8]. Предполагается, что на внешних кромках трубки начинается формирование пограничного слоя, которое заканчивается примерно на расстоянии L_a от начала трубки. Для оценки этого расстояния может быть использована формула $L_a = 0{,}06\cdot Re\cdot d$ [8]. Вместе с тем нет оснований считать, что сразу после этой точки распределение скорости по диаметру будет соответствовать ламинарному течению, рассчитанному по формуле Пуазейля (J. L. Poiseuille) [9], в связи с этим длина начального участка трубы L_x, на котором формируется структура течения, может быть значительно больше теоретического значения.

На рисунке 3 представлены результаты измерения объемного расхода (Q) в зависимости от перепада давления (ΔP) для трех трубок одинаковой длины $l = 0{,}3$ м с диаметрами $d_1 = 0{,}95\cdot10^{-3}$ м, $d_2 = 1{,}6\cdot10^{-3}$ м, $d_3 = 3{,}0\cdot10^{-3}$ м, рассчитанные теоретически и полученные экспериментально.

Из рисунка 3 видно, что с изменением перепада давления объемный расход воды через трубки большего диаметра становится все более нелинейным, тогда как зависимости, рассчитанные по формуле Пуазейля, является линейной. Количественное отличие реальной зависимости $Q(\Delta P)$ от теоретической связано, по-видимому, с заметным влиянием начального участка L_a на структуру течения, причем для трубки диаметром $3{,}0\cdot10^{-3}$ м до давления $P \approx 0{,}5$ кПа объемный расход воды совпадает с теоретическим. Однако существует и другая причина отличия $Q(\Delta P)$ от рассчитанного теоретически – это связано со значительным, более сильным взаимодействием между молекулами жидкостей и материала стенки [10].

Как известно, взаимодействие жидкости с твердой фазой характеризуется краевым углом смачивания. Для выяснения влияния смачивания на течение воды были приготовлены трубки одинаковой длины l = 0,3 м и диаметра $d = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ м из различных материалов. Результаты измерения зависимости $Q(\Delta P)$ представлены на рисунке 4, *а*. На рисунке 4, *б* представлены результаты аналогичных экспериментов с трубками диаметром $d = 3{,}8 \cdot 10^{-3}$ м заводского изготовления из нержавеющей стали, меди и стекла с краевыми углами смачивания ≈45°, 42° и 7° [11].

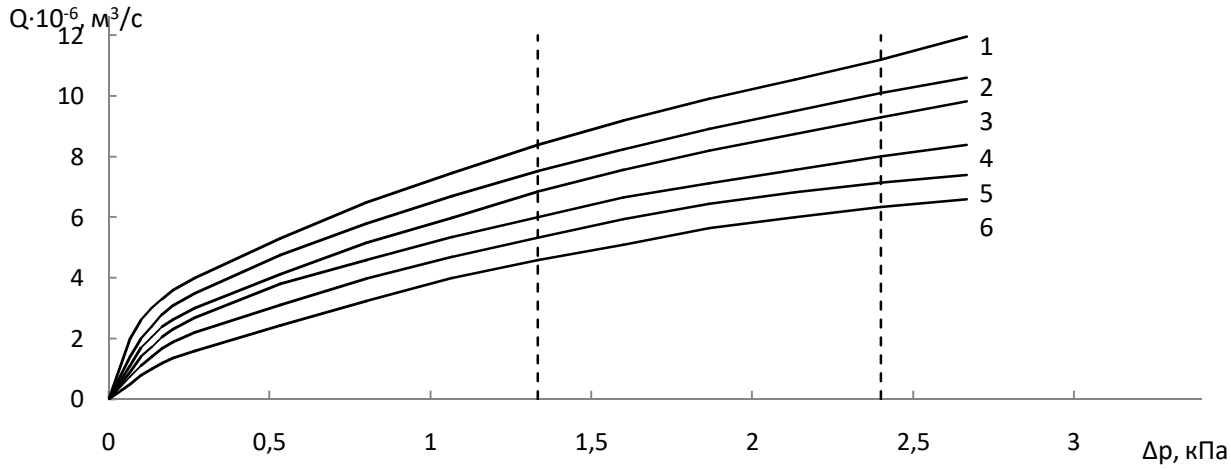


а) d = 3,0·10–3 м (1 – нерж. сталь, 2 – оргстекло, 3 – фторопласт, 4 – уравнение Пуазейля);
б) d = 3,8·10–3 м (1 – стекло, 2 – нерж. сталь, 3 – медь, 4 – уравнение Пуазейля)

Рисунок 4 – Динамика изменения объемного расхода в трубках l = 0,3 м,

Из рисунков 4, *а* и 4, *б* видно, что при изготовлении трубок в лабораторных условиях в связи со спецификой их изготовления материал, из которого они были изготовлены, практически не влияет на динамику изменения объемного расхода в зависимости от изменения давления (т. к. краевой угол смачивания можно считать постоянным), на трубках, изготовленных в заводских условиях, увеличение краевого угла смачивания материала трубки приводит к увеличению объемного расхода воды. Для дальнейшего анализа и сравнения экспериментальных данных удобно использовать понятия калибра трубки $n = l/d = l/2R$. В этом случае уравнение Пуазейля преобразуется к следующему виду:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\mu}\frac{\Delta P}{l} = \frac{\pi R^4}{8\mu}\frac{\Delta P}{2nR} = \frac{\pi R^3}{16\mu}\frac{\Delta P}{n} = \frac{\pi R^3 \Delta P}{16\mu}\frac{1}{n} \qquad (1)$$



1 – n = 24; 2 – n = 40; 3 – n = 63; 4 – n = 100, 5 – n = 150; 6 – n = 175

Рисунок 5 – Динамика изменения объемного расхода в трубках

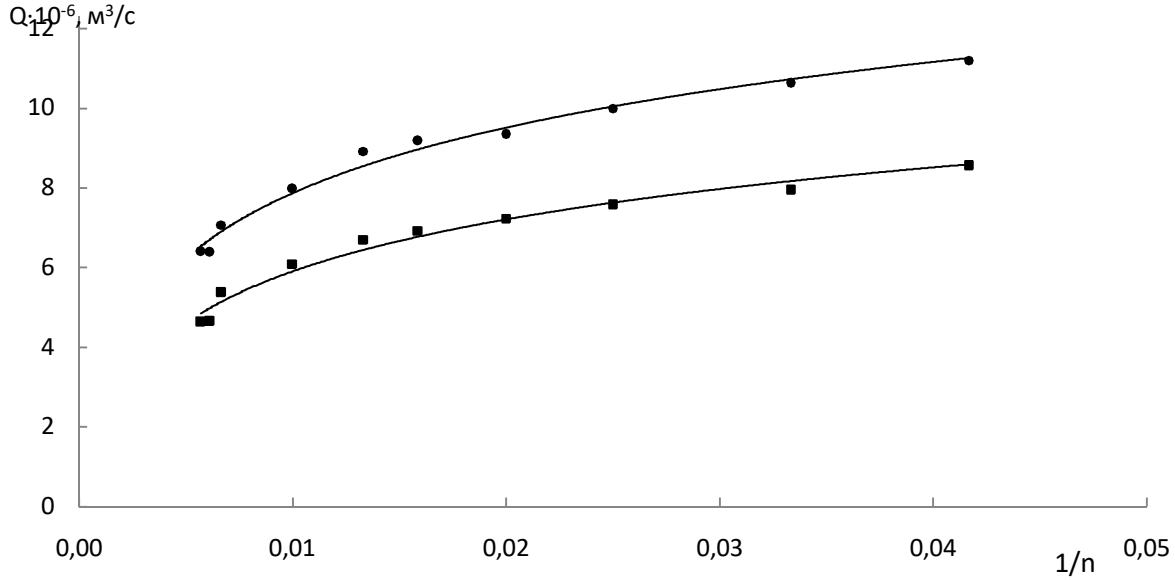


Рисунок 6 – Динамика изменения объемного расхода в трубках l = 0,3 м, d = 3,0·10–3 м, при 1 – ΔP = 1,33 кПа, 2 – ΔP = 2,4 кПа

Очевидно, что при малом радиусе и большом значении калибра трубки *n* структура потока в ней практически совпадает с Пуазейлевской кривой.

Экспериментально определенная зависимость $Q(\Delta P)$ представлена на рисунке 5, на рисунке 6 приводится изменение объемного расхода от величины обратной калибру $(1/n)$ при ΔP = 1,33 кПа и ΔP = 2,4 кПа.

Из рисунков 5 и 6 видно, что с увеличением калибра трубки происходит нелинейное уменьшение объемного расхода воды. Увеличение калибра трубок в 7,3 раза приводит к увеличению объемного расхода в 1,845 раз при $\Delta P = 1{,}33 \cdot 10^{-3}$ Па и в 1,75 раз при $\Delta P = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ Па. С использованием метода наименьших квадратов [12] получены следующие аппроксимационные зависимости экспериментальных данных:

$$Q = A_1 \cdot \ln\left(\frac{1}{n}\right) + A_2 , \qquad (2)$$

где $A_1 = 1{,}878 \cdot 10^{-6}$ м/с^3, $A_2 = 14{,}55 \cdot 10^{-6}$ м/с^3 при ΔP = 1,33 кПа, $A_1 = 2{,}3756 \cdot 10^{-6}$ м/с^3, $A_2 = 18{,}807 \cdot 10^{-6}$ м/с^3 при ΔP = 2,4 кПа.

Коэффициент корреляции для уравнения (2) при ΔP = 1,33 кПа равен 0,9768, при ΔP = 2,4 кПа – 0,9851, что свидетельствует о достаточной точности аппроксимации.

ВЫВОДЫ

Анализируя зависимость объемного расхода $Q(\Delta P)$ от давления на входе трубки, можно сделать вывод, что влияние начального участка сказывается на характере течения на больших расстояниях, чем рассчитанное теоретически $L_a = 0{,}06 \cdot Re \cdot d$.

Установлено, что на характер течения воды в трубках существенное влияние оказывает межмолекулярное взаимодействие, которое экспериментально описывается величиной краевого угла смачивания.

Показано, что увеличение калибра трубки в 7,3 раза приводит к увеличению объемного расхода в 1,845 раз при ΔP = 1,33 кПа и в 1,75 раз при ΔP = 2,4 кПа.

Получены аппромаксимационные зависимости объемного расхода от величины обратной калибру.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

R – число Рейнольдса, *l* – длина трубки, *d* – диаметр трубки, *R* – радиус трубки, *Q* – объемный расход жидкости, ΔP – перепад давления, L_a – длина начального участка, рассчитанная теоретически, L_x – реальная длина начального участка, *n* – калибр трубки, μ – динамическая вязкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Semikhin, V. I. The study of adsorbing sodium and potassium chlorides through natural adsorbents: sand and peat / V. I. Semikhin, R. V. Malyugin // Tyumen State University Herald. – 2013. – № 4. – P. 107–113.

2. Чиннов, Е. А. Двухфазные течения в трубах и капиллярных каналах / Е. А. Чиннов, О. А. Кабов // Теплофизика высоких температур. – 2006. – Т. 44. – № 5. – С. 777–795.

3. Валуев, Е. П. Численное моделирование процессов теплообмена и турбулентного течения в трубах при сверхкритическом давлении / Е. П. Валуев // Тепломассообмен и физическая газодинамика. – 2012. – Т. 50. – № 2. – С. 298–306.

4. Чиннов, Е. А. Режим двухфазного течения в микро- и миниканалах (обзор) / Е. А. Чиннов, Ф. В. Роньшин, О. А. Кабов // Теплофизика и аэромеханика. – 2015. – Т. 22. – № 3. – С. 275–297.

5. Павельев, А. А. Влияние структуры начальных возмущений на режим установившегося течения в трубе / А. А. Павельев, А. И. Решмин, В. В. Трифонов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2006. – № 6. – С. 68–76.

6. Павельев, А. А. О нижнем числе Рейнольдса для течения в круглой трубе / А. А. Павельев, А. И. Решмин, С. Х. Тепловодский, С. Г. Федосеев // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2003. – № 4. – С. 47–55.

7. Павельев, А. А. Переход к турбулентности на начальном участке круглой трубы / А. А. Павельев, А. И. Решмин // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2001. – № 4. – С. 113.

8. Фабер, Т. Е. Гидроаэродинамика / Пер. с англ. под ред. А. А. Павельева. – М. : Постмаркет, 2001. – 560 с.

9. Воларович, М. П. Работы Пуазейля о течении жидкости в трубах / М. П. Воларович // Известия Академии наук СССР. Серия физическая. – 1947. – Т. 11. – № 1. – С. 7–18.

10. Миллионщиков, М. Д. Турбулентные течения в пристеночном слое и в трубах / М. Д. Миллионщиков // Атомная энергия. – 1970. – Т. 26. – Вып. 3. – С. 207–220.

11. Семке, А. В. Исследование краевого угла смачивания поверхности фильтрующего элемента / А. В. Семке // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева (г. Томск, 29 мая–01 июня 2017 г.). – Томск : Изд-во ТПУ, 2017. – С. 91–92.

12. Линник, Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений ; 2-е издание / Ю. В. Линник. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит, 1962. – 354 с.

***Семихин Виталий Иванович**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры прикладной и технической физики Тюменского государственного университета Физико-Технического института, v.i.semikhin@utmn.ru.*

***Малюгин Роман Владиславович**, кандидат физико-математических наук, инженер I категории научно-исследовательской лаборатории гидродинамического моделирования, научно-исследовательского отдела математического моделирования нефтегазовых месторождений, Тюменского отделения СургутНИПИнефть, ПАО Сургутнефтегаз, roma_malyugin@mail.ru.*

***Коровин Даниил Дмитриевич**, студент кафедры Моделирования физический процессов и систем Тюменского государственного университета Физико-Технического института, danil7b@mail.ru.*

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.019
УДК 663.1

ТЕПЛООБМЕН МЕЖДУ ТВЁРДОЙ ЧАСТИЦЕЙ С ВНУТРЕННИМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ ЕЁ СРЕДОЙ

В. Б. Тишин, А. Г. Новосёлов, Ю. Н. Гуляева, А. А. Федоров

Процессы тепломассообмена между мелкими твёрдыми частицами с внутренним источником тепловой энергии и окружающей их средой встречаются в различных отраслях промышленности. Вопросы теплообмена между этими частицами и окружающей её средой микробиологических производств изучены мало. Выполнен анализ уравнений, используемых для описания процессов производства полимеров. Основываясь на данных аналитических исследованиях, предложены аналогичные зависимости для микробиологических производств, описывающие теплообмен между клетками микроорганизмов, являющимися внутренним источником тепловой энергии и жидкой средой. Показано, что, согласно этим уравнениям, при неограниченном снижении размеров частиц происходит неограниченный рост коэффициента теплообмена между ними и средой. Введено понятие «большая и малая частица». Граница между ними устанавливается с помощью специального характерного размера цы $\nu/u'_* = L_*$, определяемого физическими свойствами жидкости и параметрами турбулентности в пределах пограничного слоя. Выполненная аналитическая проверка представленных предположений и полученных уравнений по расчету коэффициента от клеток микроорганизмов в питательную среду показала более реальную картину протекания данного процесса. Введение в критерий Нуссельта в качестве характерного линейного размера L_* позволило устранить противоречащий действительности результат.

Ключевые слова: полимеризация, частица, клетка, культивирование, теплообмен, турбулентность, пульсации, динамическая скорость.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы тепломассообмена между мелкими твёрдыми частицами с внутренним источником тепловой энергии и окружающей их средой встречаются в различных отраслях промышленности, в частности, в химической (суспензионный метод производства полимеров) и в микробиологической (культивирование микроорганизмов). И если в литературе, связанной с химической отраслью, вопросы гидродинамики и теплообмена в указанных средах освящены достаточно широко и обстоятельно [1, 2, 3, 4], то подобных работ в микробиологических исследованиях значительно меньше [5, 6, 7].

Перенос результатов исследований из химической отрасли в микробиологическую без какой-либо проверки вызывает сомнение, т. к. размеры клеток микроорганизмов на несколько порядков меньше, чем, скажем, капель стирола или гранул полистирола. Поскольку подтвердить экспериментально сомнения невозможно, т. к. нет возможности измерить температуру как ни внутри клетки, так и в слоях, прилегающих к её поверхности, то остаётся путь теоретического анализа.

Культивирование микроорганизмов связано с постоянным отводом в культуральную среду тепловой энергии, образующейся в результате протекания биохимических процессов в клетках [8, 9]. В качестве примера рассмотрим аэробное культивирование хлебопекарных дрожжей, когда количество тепловой энергии, выделяемой клетками, максимально по сравнению с анаэробным процессом.

Среда, в которой развиваются клетки, представляет собой многокомпонентную жидкостную суспензию, с высокой степенью турбулентности, источником которой могут быть различного рода перемешивающие устройства. При аэробном культивировании микроорганизмов в барботажных колоннах это движение воздушных пузырей относительно жидкой фазы. Среду можно рассматривать в зависимости от решаемой задачи: как двухфазной (газ – жидкая суспензия, в которой твёрдой фазой являются клетки микроорганизмов), так и трёхфазной (жидкость-газ-клетка).

Первый вариант необходим при расчёте затрат энергии на транспортирование суспензии по трубам теплообменных устройств, предназначенных для их охлаждения. Этот вариант нами не рассматривается, т. к. он уже достаточно подробно и глубоко изучен и широко освещён в литературе [2, 3, 10, 11, 12].

Второй вариант возникает при изучении и расчёте теплообменных и массообменных процессов между клеткой и газожидкостной

смесью. По физическим свойствам клеточная суспензия может несколько отличаться от аналогичных свойств жидкости в зависимости от концентраций в ней клеток и продуктов метаболизма. В качестве примера рассмотрим аэробное культивирование хлебопекарных дрожжей, т. к. количество выделяемой тепловой энергии клетками значительно больше по сравнению и анаэробным процессом.

При аэробном культивировании, во-первых, фазовое состояние поверхности клетки не меняется, и мы будем считать её условно твёрдой, и турбулентные пульсации на её поверхности примем равными нулю. Во-вторых, развитие клетки сопровождается постоянным поступлением в неё продуктов питания и выводом из нее продуктов метаболизма. Все эти тепло-массообменные процессы протекают на встречных потоках через плазматическую мембрану и, вполне очевидно, участвуют в переносе тепловой энергии (вопрос особый и нами не рассматривается). Желающим ознакомиться с этой проблемой следует обратиться к специальной литературе [8, 9]. В-третьих, в процессе культивирования количество клеток увеличивается и, как следствие, изменяется количество теплоты, выделяемой клетками.

Пожалуй, наиболее близким к рассматриваемому нами случаю переноса теплоты являются процессы суспензионной полимеризации (стирола или других мономеров) в водной среде, когда капля мономера превращается в твердый шарик полимера (размером во много раз большим клетки), с выделением значительного количества тепловой энергии. Этот вариант подробно и глубоко рассмотрен в работе [2, С. 178–180]. В ней же отмечается отсутствие существенного влияния внутренних источников теплоты на коэффициент теплоотдачи. Однако на этом сходство между клеткой и каплей-частицей мономера-полимера по наличию внутреннего источника энергии заканчивается.

Процессы полимеризации протекают с изменением фазового состояния поверхности капли от жидкого до твёрдого. В таком случае условия теплообмена будут меняться, т. к. поверхность капли может колебаться под действием турбулентных пульсаций, твёрдая частица полимера такой возможности не имеет.

Отмеченные отличительные особенности в развитии живых организмов ставят ряд вопросов, требующих разъяснения:

1) влияет ли гидродинамическая обстановка в культиваторе на интенсивность теплообмена между твёрдой частицей (клеткой) и жидкостью;

2) какова величина коэффициента теплоотдачи между поверхностью твёрдой частицы (клетки) и жидкостью, хотя бы ориентировочно;

3) намного ли отличается температура внутри твёрдой частицы (клетки) от температуры вне её;

4) где граница между большой и малой частицей;

5) можно ли имеющиеся в литературе данные по теплообмену между твёрдыми частицами и жидкой средой переносить на клетки микроорганизмов.

Как это может показаться ни странным, но чётких ответов на поставленные вопросы в литературе мало. Возможно, они и не имеют особого прикладного значения, но ответы на них (на наш взгляд) представляют общенаучный интерес.

Цель данной статьи и состоит в попытке ответа на поставленные вопросы, а также в поиске иных подходов к решению задачи, поставленной в заголовке к статье.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для расчета коэффициентов теплообмена между частицами и жидкой средой многие авторы приводят уравнение [1, 2, 4, 12]

$$Nu_{\text{К}} = \frac{\alpha_k \cdot d_k}{\lambda} = A + C\, Re_k^n\, Pr^m, \qquad 1$$

где $\alpha_{\text{К}}$ – коэффициент теплоотдачи от клетки в окружающую ее жидкость, Вт/(м^2·К); d_k – эквивалентный диаметр частицы (клетки), м, d_k определяется как отношение объема частицы (клетки) к ее площади поверхности; коэффициент A, как правило, берётся равным двум; $Re_{\text{К}} = \frac{u \cdot d_{\text{К}}}{\nu}$ – критерий Рейнольдса.

Из уравнения (1) следует, что размер частиц в определённой мере влияет на гидродинамические условия в аппарате и, следовательно, – на скорость протекания тепломассообменных процессов между частицей и окружающей её средой. Это влияние численно выражается через второе слагаемое в правой части уравнения (1), а, точнее, через критерий Re_k. Для удобства последующего анализа уравнения (1) обозначим указанное выражение в правой его части через *P*. Тогда уравнение (1) примет более простой вид

$$Nu_{\text{К}} = A + \text{P} = \text{P}(\frac{A}{P} + 1) \qquad 1, \text{а}$$

Проанализируем последнее выражение. При $d_k \to 0$, $Re_k = \frac{u d_k}{\nu} \to 0$, $P \to 0$, т. е. правая часть равенства (1, *а*) стремится к значе-

нию A, а левая – $Nu_к \to 0$, и получаем несогласованность – $0 = A$. Конечно, надо понимать, что выражение $d_k \to 0$ в пределе лишено какого-либо реального смысла, т. к. равенство $d_k = 0$ изменяет всю физическую картину описываемого процесса, в котором нет объекта исследований. Это всего лишь приём математического анализа в попытке ответа на поставленные вопросы.

Можно сказать, что влияние гидродинамики будет существенно сказываться при условии $A/P < 1$, т. е. для крупных частиц. Для мелких частиц $A/P \geq 1$ и влиянием гидродинамики можно пренебречь. На вопросе о границе между крупными и мелкими частицами мы остановимся позднее и несколько подробнее. Но здесь появляется другое противоречие – при $Nu = A$ и$d_k \to 0$, $\alpha_k \to \infty$, чего быть не может.

Несмотря на указанные несогласованности, уравнение (1) позволяет оценить порядок величины α_k для мелких частиц. В работе [2, С. 179] для процессов полимеризации принято $Nu = A = 2$,$d_k \approx 2{,}5 \cdot 10^{-3}$м, $\lambda \approx 0{,}1$ Вт/(м К). В таком случае из уравнения (1) находим $\alpha_k \approx 100$ Вт/(м^2 К). Для частицы размером, равной среднему диаметру дрожжевых клеток $d_k \approx 7 \cdot 10^{-6}$м [8, С. 264], при том же значении $\lambda \approx 0{,}1$ Вт/м К, α_k может достигать $3{,}5 \cdot 10^4$Вт/(м^2 К). Как видно, разница весьма значительна.

Таким образом, мы уже ответили на первые два вопроса: гидродинамические условия в аппарате (они зависят не только от размеров частиц) при определённых условиях могут влиять на скорость теплообмена между твёрдой частицей (клеткой) и средой; влияние размеров частиц на коэффициент α_k весьма существенно.

Уравнение вида (1) имеет и ряд других недостатков. Во-первых, возникают сложности при расчёте критерия $Re = ud/\nu$, где u – скорость у разных авторов определяется поразному. У одних это скорость движения частицы относительно жидкости [2], у других – скорость обтекания частицы жидкостью. Методы их расчёта тоже разные и довольно сложные [1, 4].

В выборе значений коэффициентов A, C, показателей степеней n и m единогласия тоже нет. Большинство авторов, следуя рекомендации работы [4], принимают $A = 2$, хотя это и не совсем точно. Правда, автор работы [2] для мелких частиц делает это только в предположительной форме. В работе [1] коэффициент A может опускаться и до 0,5. Все эти разногласия затрудняют применение уравнений типа (1) в анализе теплообмена в случаях, отличных от указанных в работах [1, С. 165; 2, С. 168; 4, С. 252].

Следует отметить и ещё одно важное обстоятельство – в работах [1, 2, 4, 12] в основном рассматриваются течения, подчиняющиеся закону Стокса, т. е. разговор идёт о ламинарном режиме обтекания дисперсной фазы потоком жидкости, несмотря на то, что большей частью процессы ведутся в аппаратах с мешалками в турбулентной среде.

Чтобы избежать сложностей, свойственных уравнению (1), попытаемся подойти к решению задачи теплообмена между клеткой и газожидкостной смесью с позиций общей теории турбулентного переноса теплоты и импульса, основываясь на методе, разработанном авторами работ [10, 11].

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Теплообмен между поверхностью любого теплообменного элемента и турбулентным потоком жидкости описывается уравнением вида [11]

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_k}{\lambda} = \eta_m \frac{Pr}{\psi}\,. \qquad 2$$

В уравнении (2) безразмерная разность температур $\psi = \rho c_p u_* \Delta T/q_f$, где q_f – удельный тепловой поток через поверхность частицы Вт/м^2; $\Delta T = T_f - T_c$, где T_f – температура на поверхности частицы; T_c – температура среды (задаётся технологическими условиями). Введём обозначение для мелких частиц $\eta_m = \eta_k$ – безразмерное значение диаметра частицы или иначе максимальный масштаб турбулентности для случая мелких частиц.

Полагая закон изменения турбулентных пульсаций у твёрдой поверхности независимым от её размеров и места нахождения, попытаемся использовать уравнение (2) и при решении рассматриваемой нами задачи. Малый размер частиц (клеток) предопределяет и масштаб турбулентных пульсаций η (безразмерное расстояние от поверхности частицы до произвольной точки), которые могут проникнуть в её тепловой приповерхностный слой, способствуя тем самым интенсификации теплообмена между частицей и окружающей её средой. Под действием же пульсаций масштаба большего, чем максимальный масштаб η_k, частицы будут просто перемещаться в пространстве из одной точки среды в другую. То есть, должно соблюдаться условие $\eta < \eta_k$. Масштаб частицы η_k выражается уравнением:

$$\eta_k = \frac{\tilde{u}_* \cdot L}{\nu}\,, \qquad 3$$

где L – характерный размер изучаемого объекта, для клетки $L = d_K$, $\overline{u}_*$ – осреднённое по объёму среды V_c значение динамической скорости, которая по выражению Шлихтинга [12, С. 543] характеризует скорость турбулентных пульсаций и определяется согласно теории изотропной турбулентности А. Н. Колмогорова [13], мощностью источника диссипации энергии N и выражается уравнением (4) [10, 11]:

$$\bar{u}_* = \chi\left(\frac{\nu \cdot N}{\rho V_c}\right)^{0,25}, \quad 4$$

где χ – коэффициент пропорциональности находится экспериментально.

Для барботажных аппаратов колонного типа, наиболее часто применяемых для культивирования микроорганизмов, уравнение (4) приводится к виду:

$$\bar{u}_* = \chi(\nu g w)^{0,25}. \quad 5$$

Задача по определению безразмерной разности температур ψ решается авторами на основе трехслойной модели затухания турбулентных пульсаций в жидкости в виде суммы трёх интегралов с пределами интегрирования от $\eta = 0$ до $\eta = 6$; то $\eta = 6$ до $\eta = 30$ и от $\eta = 30$ до $\eta = \eta_k$ [10, 11, 14, 15]:

$$\psi = \sum \int_0^{\eta_k} \frac{Pr\, d\eta}{1 + Pr \cdot (\varepsilon/\nu(\eta))},$$

где $\mathcal{E}$ – турбулентная кинематическая вязкость.

В слое, непосредственно прилегающем к твёрдой поверхности, затухание турбулентных пульсаций примем подчиняющемуся закону четвёртой степени [10, 14, 15]. Для дрожжевых клеток, размеры которых лежат в пределах 5–10 мкм, η_k<< 6 и от трёх интегралов останется один:

$$\psi = \int_0^{\eta_k} \frac{Pr\, d\eta}{1 + Pr(0{,}124 \cdot \eta)^4}. \quad 6$$

Согласно уравнениям (2), (4) и (6), при $d_k \to 0, \eta_k \to 0$, произведение $\eta_k\, Pr/\psi = P_1 \to 1$ и $Nu \to 1$. Параметр P_1 так же, как и параметр P, в уравнении (1) отражает влияние гидродинамических условий на процессы тепломассообмена при изменении размеров частиц. Однако в отличие от параметра P, $P_1 \to 1$, а не к нулю. Таким образом, полуэмпирическое уравнение (2) по характеру изменения функции $Nu(\eta)$ находится в соответствии с эмпирическим – (1). Различие лишь в том, что в уравнении (2) $Nu \to 1$, а в уравнении (1) $Nu \to A$.

В принципе уравнение (2) можно привести к виду, в котором Nu будет стремиться к коэффициенту χ, также как $Nu \to A$ в уравнении (1), записав:

$$Nu = \chi \eta_k' \frac{Pr}{\psi}. \quad 7$$

Можно предположить, что в уравнении (7) величина

$$\eta_k{}' = u_*' d_k / v \quad 8$$

определяет масштаб турбулентных пульсаций в гидродинамическом слое жидкости у поверхности частицы (клетки), а $u_*' = (vgw)$ – динамическая скорость, характеризующая скорость пульсаций в нём. Таким образом, согласно уравнению (7), при $d_k \to 0, \eta_k{}' \to 0$, а произведение $\frac{\eta_k{}' Pr}{\bar{\psi}} = P_1 \to 1$ и $Nu \to \chi$.

Коэффициент χ в уравнениях (4), (5), (7) зависит от конструкции аппаратов и направления движения фаз. В барботажных аппаратах колонного типа $\chi \approx 2{,}2$. В аппаратах трубчатого типа при вертикальном расположении труб, при восходящем течении газожидкостных потоков – 1,9, при нисходящем – 2,6 [11]. В пластинчатых аппаратах, в зависимости от конструкции и типа пластины (формы гофр), χ меняется от 0,6 до 1,5 [16].

Таким образом, величина χ изменяется в тех же пределах, что и значение коэффициента A в работах [1, 2, 4]. Можно допустить, что оба коэффициента отражают конструктивные особенности аппаратов, которые, в свою очередь определяют гидродинамические условия в них, а, следовательно, и скорости протекания тепло-массообменных процессов. Не исключено, что примеры различных значений коэффициентов A, приведённых в работе [1], связаны с указанными причинами.

Для определения разности температур ΔT (уравнение 2) необходимо знать температуру T_f. Ее можно найти из уравнения

$$T_f - T_K = \Delta T_K.$$

Для оценки величины ΔT_K воспользуемся уравнением, приведённым в работе [2, С. 178].

$$\Delta T_K = \frac{1}{6}\frac{q}{\lambda_k} R_f^2. \quad 9$$

В работе [2, С. 179], в зависимости от условий полимеризации, приводятся значения ΔT_K, равные 3 и 12,5 градусов.

Поиск по уравнению (9) величины ΔT_K в клетках микроорганизмов требует предварительного определения значения q. При культивировании теплоту выделяет популяция, в которой концентрация биомассы X (кг/м^3) и количество клеток Z постоянно меняются. Следовательно, будет меняться и общая удельная мощность теплового источника $\mathrm{E} = qZ$, величина которой зависит от скорости

прироста биомассы $X' = dX/dt$. Связь между E (Вт/м^3) и X' выражается уравнением

$$E = Q_m X' \,, \qquad 10$$

где Q_m – общее количество выделенной клетками теплой энергии, отнесённой к единице прироста биомассы, Дж/кг. Вид производной в уравнении (10) зависит от выбора математической модели кинетики прироста биомассы.

Остановимся на модели степенного вида [17]:

$$X = X_0(1 + (\gamma t)^n) \,, \qquad 11$$

где X_0 – начальная концентрация биомассы в культуральной жидкости; γ – удельная скорость прироста биомассы; отношение $1/\gamma$ – время удвоения биомассы. Производная от функции (11), характеризующая скорость прироста биомассы (клеток), будет иметь вид $X' = X_0 n \gamma^n t^{n-1}$. В таком случае уравнение (10) приводится к виду:

$$\mathrm{E} = Q_m X_0 n \gamma^n t^{n-1} \,. \qquad 12$$

В уравнениях (10) и (12) Q_m зависит от многих факторов [5, 8, 16], в т. ч. от вида микроорганизма, расхода воздуха и т. п. Для оценочных расчётов воспользуемся данными авторов работы [16]. При испытании промышленного культиватора на дрожжах Saccharomycescerevisiae ими было получено $Q_m = 4{,}17 \cdot 10^6$ Дж/кг. Количество клеток в одном килограмме биомассы $Z = 6/\pi d_k^3 \rho_k$. При ρ_k = 1080 кг/м^3, получим $Z \approx 5{\cdot}10^{12}$, и для одной клетки $q_m = Q_m/Z \approx 10^{-6}$ Дж/кг. Предположив время удвоения клеток $t_u = 3$ ч, найдём удельную мощность источника тепловой энергии одной клетки $q_k = 1080 q_m/(3 \cdot 3600) \approx 10^{-7}$ Вт/м^3. В таком случае из уравнения (9) – $\Delta T_\mathrm{K} \approx 10^{-19}$, разность между температурами внутри клетки и на её поверхности чрезвычайно мала, т. е. $T_K \approx T_f$. Это и есть ответ на третий вопрос.

Сравнивая разности температур, приведенные в работе [2] со значениями ΔT_K, полученными для клеток расчётным путём, видим огромную разницу между ними. Общий вывод таков: размер частиц оказывает большое влияние на скорость теплообмена между ними и средой, окружающей их.

Безусловно, расчёты для клеток весьма приблизительны, т. к. недостаточно точен метод определения величины Q_mавторами работы [16]. Но даже если мы ошиблись на несколько порядков, то для мелких частиц это мало что меняет, ΔT_K всё равно останется небольшим.

Таким образом, эмпирические уравнения типа (1) и полуэмпирические – типа (2) дают близкие результаты как по величине коэффициентов теплоотдачи, так и по характеру их зависимости от гидродинамических условий в аппаратах для любых технологических процессов. Сравнительный анализ уравнений (1) и (2) показывает, что по внешнему виду уравнение (2) проще уравнения (1), но по внутреннему содержанию оно сложнее, однако эта сложность даёт ему ряд преимуществ:

- во-первых, уравнение (2) носит более общий характер, т. к. основывается на общей теории турбулентного переноса импульса и теплоты, и потому более глубоко позволяет вникнуть в суть влияния турбулентности на теплообмен между жидкостью и твёрдым телом, независимо от его размеров;

- во-вторых, оно не требует знания коэффициента C и показателей степеней n и m (уравнение 1). Что касается коэффициента A, то он будет зависеть от тех же факторов, что и коэффициент χ. Скорее всего, величина A будет находиться в пределах 1–2.

Учитывая вышеизложенное, мы в дальнейших рассуждениях и расчётах будем ориентироваться на уравнение (2).

Общим недостатком уравнений (1) и (2) является то, что при $d_k \to 0, \alpha_k \to \infty$. Ограничить величину d_k каким-то объяснимым минимальным значением пока не видится возможным. Скорее всего, для мелких частиц в критерии Нуссельта за характерный размер следует принимать не их абсолютное значение размера, а некую величину, имеющую размерность длины и определяемую физическими свойствами жидкости и параметрами турбулентности в пределах теплового приповерхностного слоя. К такому приёму часто прибегают при исследовании процессов переноса в двухфазных системах газ–жидкость, жидкость–жидкость, когда размеры дисперсной фазы постоянно меняются. В этом случае в качестве линейного размера часто используют капиллярную постоянную – $(\sigma/\rho g)^{0{,}5}$ [10].

Применительно к рассматриваемому нами случаю таким характерным размером может служить отношение

$$\nu/u'_* = L_* \,. \qquad 13$$

В процессах культивирования при $w = const$ и постоянных физических свойств среды, величина $L_* = const$. В таком случае при $Nu_* = const = A = \chi$, коэффициент теплообмена α_k становится зависимым от физических свойств среды. Этот вывод в определённой мере подтверждает сомнение автора работы [5] о влиянии перемешивания на интенсивность теплообмена между клетками и средой.

С учётом уравнений (7, 8, 13) критерий Нуссельта для мелких частиц приведём к виду:

$$Nu_* = \frac{\alpha_k \cdot L_*}{\lambda} = \chi \,. \qquad 14$$

Введение в критерий Нуссельта параметра L_* позволило устранить противоречащую реальной действительности некорректную тенденцию изменения α_k. С изменением размера частиц, свойственная уравнениям (1) и (2) тенденция, изменяется и показывает, что при$d_k \to 0, \alpha_k \to const$. Конечно, всё вышеизложенное требует экспериментального подтверждения, но с уверенностью можно сказать, что последний вариант ближе к истине, чем первый.

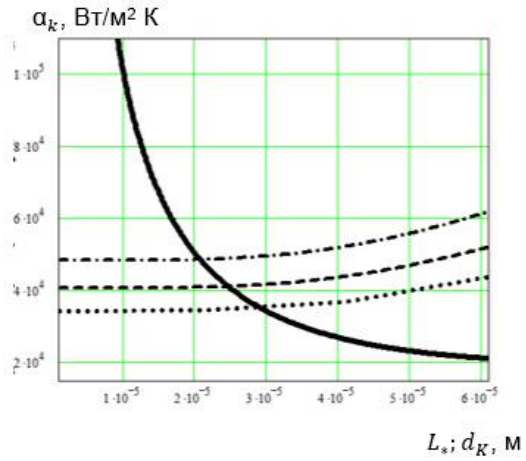


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от клетки к культуральной жидкости α_K от характерного размера частиц L_K при различных приведенных скоростях газа:
w_Γ, м/с: 0,1 • • •; 0,2 - - - ; 0,3 • — • —; 0,4 ▬▬
Расчеты выполнены по уравнению (14), (прерывистые линии) и по уравнению (2) (сплошная линия)

Границу между большими и малыми частицами определяет условие – $d_k = L_*$. При $d_k \geq L_*$ – частица считается большой, и α_k можно рассчитывать либо по уравнению (2), либо по уравнению (7). При $d_k \leq L_*$ – частица считается малой, и α_k, рассчитывается по уравнению (14). По сути это и есть ответ на пятый вопрос.

В качестве примера на рисунке 1 в графическом виде показана функциональная зависимость α_k от L_* и d_k. Сплошная линия соответствует расчётам, выполненным по уравнению (2), штриховые – по уравнению (14). Точки пересечения сплошной линией со штриховыми являются граничными при переходе в расчётах от использования L_* к d_k.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Задача определения коэффициента теплообмена между твёрдыми частицами и окружающей их средой может быть решена на основе полуэмпирической теории турбулентного переноса теплоты и трехслойной модели затухания турбулентных пульсаций у твёрдой поверхности частицы.

2. Уравнения (1) и (2) одинаково отражают стремление к постоянству критерия Нуссельта при стремлении Re_k и η_k к нулю, что подтверждает правомерность полуэмпирического решения задачи. Однако предпочтение следует отдать уравнению (2), т. к. оно в большей мере отражает реальные условия течения процессов в полидисперсных средах.

3. Сделано предположение, что коэффициент пропорциональности A в уравнении (1) так же, как и χ в уравнениях (2) и (7), зависит от конструктивных особенностей аппаратов и гидродинамических условий в них.

4. Введено понятие «большая и малая частицы». Граница между ними устанавливается с помощью специального характерного размера частицы $L_* = \nu/u'_*$, определяемого физическими свойствами жидкости и параметрами турбулентности в пределах теплового приповерхностного слоя. Предложено считать частицу большой $d_k > L_*$, и α_k рассчитывается по уравнению (7); для малой частицы $d_k \leq L_*$, и α_k, рассчитывается по уравнению (14).

5. Возможность использования полученных ранее в химической отрасли промышленности результатов экспериментальных и теоретических исследований теплообмена в микробиологической отрасли ограничено предыдущим условием.

6. Введение в критерий Нуссельта в качестве характерного линейного размера величину L_* позволило устранить противоречащий реальной действительности результат: при $d_k \to 0 \alpha_k \to \infty$, свойственный уравнениям (1) и (2), и показать, что при $d_k \to 0 \alpha_k \to const$.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2 К);

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м К);

w – приведённая средняя скорость воздуха в культиваторе, м/с;

u – скорость обтекания частицы жидкостью, м/с;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па с;

ρ – плотность, кг/м^3;

d – диаметр частицы (клетки), м;

ψ – безразмерная разность температур;

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м^2/с;

η – безразмерная координата;

η_k – масштаб турбулентности (безразмерный диаметр частицы);

L_* – характерный размер дисперсной фазы;

q_f – удельный тепловой поток Вт/м^2;

q – удельная мощность внутреннего источника теплоты, Вт/м^3;

Q_m – количество тепловой энергии, выделенное 1 кг биомассы, Дж/(кг К);

R – радиус, м;

T – температура, К;

u_* – динамическая скорость, м/с;

g – ускорение свободного падения м/с^2;

V – объем, м^3;

X – концентрация биомассы в культуральной жидкости, кг/м^3;

C_p – теплоемкость жидкости, Дж/кг К;

Nu – критерий Нуссельта;

Pr – критерий Прандтля;

Re – критерий Рейнольдса.

ИНДЕКСЫ

f – относится к наружной поверхности частицы;

c – относится к суспензии;

v – относится к объёму клетки;

k – относится к клетке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов, А. М. Химическая гидродинамика : справ. пособие / А. М. Кутепов, А. Д. Полянин, З. Д. Запрянов. – М. : Бюро Квантум, 1996. – 356 с.

2. Будтов, В. П. Тепломассоперенос в полимеризационных процессах / В. П. Будтов, В. В. Консетов – Л. : «Химия», 1983. – 256 с.

3. Фролов, В. Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В. Ф. Фролов. – СПб. : Химиздат, 2003. – 607 с.

4. Шервуд, Г. Массопередача / Г. Шервуд, Р. Пигфорд, У. Уилки. – М. : Химия, 1982. – 696 с.

5. Гапонов, К. П. Процессы и аппараты микробиологических производств / К. П. Гапонов. – М. : Лёгк. и пищ. пром-ть, 1981. – 237 с.

6. Тишин, В. Б. Культивирование микроорганизмов. Кинетика, гидродинамика, тепло- и массообмен / В. Б. Тишин. – СПб. : РАПП, 2012. – 180 с.

7. Тишин, И. Б. Процессы переноса в технологических аппаратах пищевых и микробиологических производств / И. Б. Тишин, А. Г. Новосёлов, О. В. Головинская – СПб. : Унив. ИТМО, 2016. – 194 с.

8. Елинов, Н. П. Основы биотехнологии / Н. П. Елинов. – СПб. : Наука, 1995. – 600 с.

9. Теоретические основы биотехнологии / И. М. Грачева [и др.]. – 2003. – С. 553.

10. Доманский, И. В. Обобщение различных случаев конвективного теплообмена с помощью полуэмпирической теории турбулентного переноса / И. В. Доманский, В. Н. Соколов // Теорет. основы хим. технологии. – 1968. – № 5. – С. 761–768.

11. Соколов, В. Н. Газожидкостные реакторы / В. Н. Соколов, И. В. Доманский. – Л. : Машиностроение, 1976. – 214 с.

12. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1969. – 742 с.

13. Колмогоров, А. Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А. Н. Колмогоров // Докл. АН СССР. – 1941. – Т. 30. – № 4. – С. 299–303.

14. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1978. – 736 с.

15. Кишиневский, М. Х. Экспериментальное исследование закономерностей турбулентного переноса в вязком подслое электрохимическим методом / М. Х. Кишиневский, А. В. Логинов, Т. С. Корниенко // Материалы к 5 Всесоюз. конф. по тепломассообмену. – Минск. – 1976. – Ч. 1. – С. 43–47.

16. Сабуров, В. А. Обобщение результатов исследований теплообмена в аппаратах пластинчатого типа / В. А. Сабуров, В. Б. Тишин // Межвуз. сб. трудов «Процессы, аппараты и машины пищ. технол». – СПбАХ. – 1999. – С. 32–35.

17. Tishin, V. B. Mathematical Models of the Kinetics of the Cultivation of Microorganisms / V. B. Tishin, Y. N. Ismailova // Biophysics. – 2018. – V. 63. – № 2. – P. 197–200.

18. Шишацкий, Ю. И. Современные конструкции дрожжерастильных аппаратов и пути повышения эффективности их работы / Ю. И. Шишацкий, В. А. Фёдоров, С. В. Востриков. – М. : ЦНИИ и ГЭИ пищ. пром-ть. Серия : Дрожжевая промышленность, 1977. – 20 с.

Тишин Вячеслав Борисович, *доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербург, e-mail: tishinvb@mail.ru.*

Новоселов Александр Геннадьевич*, доктор технических наук, профессор, преподаватель факультета биотехнологий, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, e-mail: dekrosh@mail.ru.*

Гуляева Юлия Николаевна*, кандидат технических наук, доцент, преподаватель факультета биотехнологий, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, e-mail: guliaeva.uyl @itmo.ru.*

Федоров Алексей Александрович, *аспирант 2 года обучения факультета биотехнологий, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, e-mail: alex2829735@yandex.ru.*

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.020
УДК 620.193

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ (СОПРОТИВЛЕНИЕ КОРРОЗИИ) СВОЙСТВА ПРОКАТА ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ И ЦИРКОНИЕМ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Mg

А. А. Рагазин, А. Ф. Халимова

В статье проводилось исследование механических и эксплуатационных свойств (испытания на склонность к различным видам коррозии) алюминиевого сплава 1570. Образцы изучали в состоянии Н116, полученные по следующему маршруту: литье в промышленный кристаллизатор скольжения, гомогенизация, горячая прокатка и холодная прокатка на лабораторном стане. По окончанию режимов обработки были отобраны образцы и проведены исследования механических свойств на растяжение плоских образцов, коррозионные испытания на межкристаллитную и расслаивающую коррозию, исследование микроструктуры. В ходе работы установлено, что режим гомогенизации 360–380 °С – 8 часов позволяет получить структуру слитка с достаточной плотностью распределения частиц для блокировки рекристаллизации при температурах обработки до 400 °С; механические свойства листов сплава 1570 в состоянии поставки Н116 со степенью нагартовки 7 % превосходят механические свойства сплава АМг6 (нагартованного при степени холодной деформации 25 %); прокат из сплава 1570 в состоянии поставки Н116 соответствует высокому сопротивлению к межкристаллитной и расслаивающей коррозии в соответствии со стандартами ASTM G 67 и ASTM G 66.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, гомогенизация, горячая прокатка, холодная прокатка, коррозия.

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития научно-технического прогресса металлургической и машиностроительной отраслей предъявляет повышенные требования к качеству слитков, полуфабрикатов и конечных изделий из алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы на основе системы А1–Mg широко используются во всех отраслях промышленности. На современном этапе развития техники большое внимание уделяется изучению комплексного легирования сплавов переходными металлами, такими как Sc и Zr и их влияния на структуру и свойства деформируемых алюминиевых сплавов. Но из-за высокой стоимости алюминиевых деформируемых сплавов, легированных скандием, они нашли применение только в космической промышленности, а существующие исследования сплавов со скандием сосредоточены только для изучения физико-механических свойств. Небольшое количество работ посвящено изучению поведения алюминиевых сплавов со скандием в агрессивной среде [1–5]. При рассмотрении вопроса об эксплуатации данного сплава в агрессивной среде, а именно в морской среде, требуются исследования на сопротивление коррозии в данной среде, поэтому изучение коррозионных свойств сплавов со скандием является актуальным в настоящее время.

Цель работы: исследование влияния различных режимов прокатки на механические и коррозионные свойства катаных листов из сплава марки 1570. Данный сплав относится к системе Al–Mg, легированной переходными металлами цирконием и скандием. Благодаря присутствию в сплаве этих переходных металлов, при нагреве в структуре сплава образуются интерметаллиды $Al_3(Sc_x, Zr_{x-1})$, которые блокируют процесс рекристаллизации и дополнительно повышают прочностные свойства за счет дисперсионного твердения [6–10]. Алюминиевые сплавы системы Al–Mg являются термонеупрочняемыми, прочностные свойства достигаются в процессе нагартовки. Самое привлекательное сочетание свойств в листах и плитах достигается в состоянии, которое по прочностным характеристикам выше полностью отожжённого состояния, но ниже на четверть нагартованного, обозначаемого Н116. В цикле производства листов и плит в состояния Н116 возможно обойтись только одной операцией термической обработки – гомогенизация плоского слитка для снятия внутренних напряжений и получения однородной струк-

туры, в современном производстве процесс гомогенизации совмещают с процессом нагрева слитка перед прокаткой. Таким образом, при гомогенизации требуется получить оптимальную фазовую структуру, которая позволит получить наиболее высокие прочностные свойства.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

Работа проводилась на образцах, полученных в промышленных условиях полунепрерывным литьем в кристаллизатор скольжения, химический состав образцов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав опытных образцов

Химический элемент	Массовая доля элемента, % масс
Mg	6
Mn	0,45
Zr	0,06
Sc	0,248
Zn	0,01
Ti	0,02
Cu	0,01
Si	0,08
Fe	0,25

Из слитков вырезали темплеты размерами 40 х 100 х 200 мм^3, подвергали гомогенизации при температуре 360–380 ºС в течение 8 часов.

Для получения состояния поставки Н116 образцы после гомогенизации обрабатывали прокаткой на лабораторном стане, сначала многопроходной горячей прокаткой в толщину 5 мм (Т = 380–400 ºС; ε = 90 %), затем холодной прокаткой на определенную степень деформации (ε = 7 %, 9 %, 13 %, 25 %, 60 %). Степень деформации ε = 60 % была взята для дополнения кривой упрочнения, приведенной на рисунке 4 [13].

После горячей прокатки и на каждой степени нагартовки были отобраны образцы и проведены исследования механических свойств на растяжение плоских образцов, в состоянии Н116 (ε = 9 %) проведены коррозионные испытания на межкристаллитную коррозию (МКК) по ASTMG 67 [11] и расслаивающую коррозию (РСК) по ASTMG 66 [12].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания на склонность к коррозии

Испытания на определение восприимчивости к МКК по ASTMG67 проводили методом определения потери массы после воздействия азотной кислоты. Данный метод испытания заключается в погружении образцов в концентрированную азотную кислоту при 30 ºС на 24 часа и последующем определении потери массы на единицу площади, как степени подверженности межкристаллитной коррозии. Допустимой величиной считается потеря массы не более 15 мг/см^2 [14].

Чувствительность к расслаивающей коррозии определялась методом визуальной оценки образцов после погружения в испытательный раствор, содержащий аммоний хлористый, аммоний азотнокислый, аммоний виннокислый и перекись водорода, на 24 часа при 65 ºС. Подверженность расслоению определялась сравнением полученных образцов с фотографиями шаблонов [ASTMG 66-99].

Испытания механических свойств

Механические свойства определялись одноосным растяжением в соответствии с ISO 6892-1 [15] при комнатной температуре. Образцы отбирали в поперечном направлении под углом 90º к направлению прокатки. При исследовании листов образцы изготавливали плоскими, с головками для зажимных клиньев, в соответствии с ГОСТ 11701-84 [16]. Для исследования слитков изготавливали цилиндрические образцы в соответствии с ГОСТ 1497-84 [17]. Испытания проводили на универсальной испытательной машине (Zwick/Roell Z050).

Анализ интерметаллидов проводился на сканирующем электронном микроскопе FEI InspectS с датчиком упруго-отраженных электронов (BSED) с разрешением изображения 10 нм и приставкой энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора EDAX с возможностью определения элементов от B до U.

Микроисследование

Исследование микроструктуры проводилось методом металлографии на микроскопе Axiovert-40 MAT.

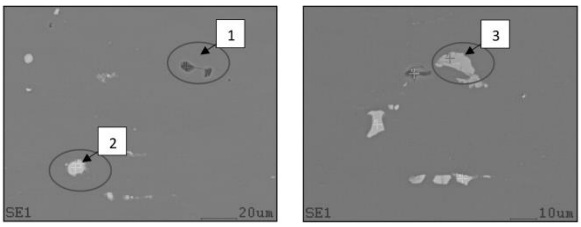
Анализ интерметаллидов проводился на сканирующем электронном микроскопе FEI InspectS с датчиком упруго-отраженных электронов (BSED) с разрешением изображения 10 нм и приставкой энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора EDAX с возможностью определения элементов от B до U.

Анализ дисперсионных частиц был проведен на просвечивающем микроскопе (Tecnai G2 F20 S-TWIN TMP с термополевым катодом при ускоряющем напряжении 200 кВ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследуемые образцы прошли три вида обработки: гомогенизацию, горячую и холодную прокатки.

Главная задача гомогенизационного отжига – повышение технологической пластичности слитков при последующем горячем и холодном деформировании. Вторая самостоятельная задача – улучшение механических и коррозионных свойств готовых полуфабрикатов. Обе эти задачи решаются путем устранения литой, как правило, дендритной структуры и формирования новой зеренной структуры [18]. Микроструктура сплава 1570 после литья состояла из равноосных зерен со средним размером ~ 40 ± 2 мкм и процесс гомогенизации следует в них рассматривать с точки зрения растворения крупных (> 1 мкм) интерметаллидов на основе Al, содержащих Mg (β-фаза), выравнивание содержания легирующих компонентов по сечению зерна и коагуляцию трудно растворимых железно-марганцевых интерметаллидов Al(MnFe). Микроструктура и фазовый состав играют доминирующую роль в сопротивлении коррозии в алюминиевых сплавах. На рисунке 1 показаны изображения со сканирующего микроскопа, с определением химического состава EDS-анализом.

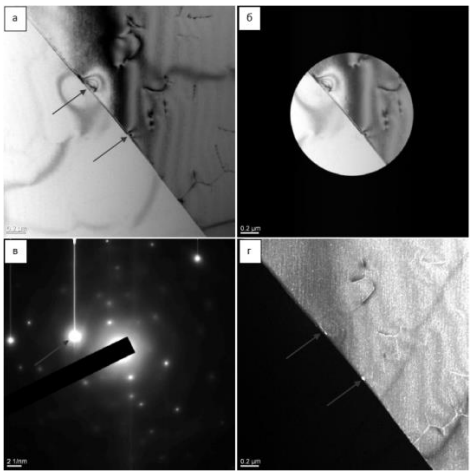


а) б)

а) темные включения, соединения с магнием (1) и светлые включения, как правило, правильной формы, либо квадратной, либо округлой после термообработки, соединения $Al_3(Sc_xZr_{1-x})$ (2);
б) соединения типа Al(FeMn) (3) – первичные интерметаллиды, после кристаллизации имеют скелетообразную форму, после термообработки коагулируют и частично растворяются

Рисунок 1 – Исследования микроструктуры SEM

За счет распада образовавшихся после литья аномально пересыщенных по переходным элементам твердых растворов при гомогенизации формируются дисперсные частицы выделения частиц фаз, содержащих переходные элементы (Mn, Zr и Sc). На рисунках 2, ***а*** и 2, ***г*** стрелками указаны частицы Al_3Zr, 2, ***в*** – рефлекс, в котором получено темное поле. Размеры частиц на границах зерен 25–30 нм. Частицы состава Al3Sc не выявлены.



а) и б) светлые поля;
в) микроэлектронограмма;
г) темное поле в совпадающих рефлексах [220] Al + [208] Al3Zr

Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение 1570 в литом состоянии:

Возникающие в результате гомогенизации литых заготовок, фазовый состав и морфология дисперсионных частиц блокируют рекристаллизации, и структура металла даже при обработке при температуре 400 ºС остается деформированной (рисунок 3).

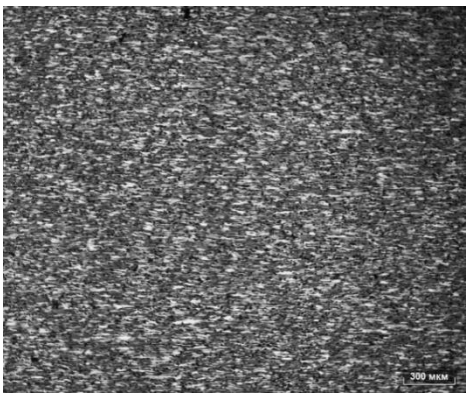


Рисунок 3 – Микроструктура горячекатаной заготовки

Состояние Н116 действительно для изделий, которые после окончательного отжига подвергаются упрочнению наклепом в такой мере, что для них уже не действительно состояние полностью отожжённого металла, однако они не упрочнены наклепом так сильно или так равномерно, чтобы можно было придать им состояние нагартованный на чет-

верть или выше. Если взглянуть на диаграмму упрочнения листов из сплава 1570 (рисунок 4), то видно, что четверть нагартовки (предел прочности 445 МПа) набирается уже при ≈ 14 % деформации, соответственно, степень деформации на состояние Н116 должна быть менее 14 %.

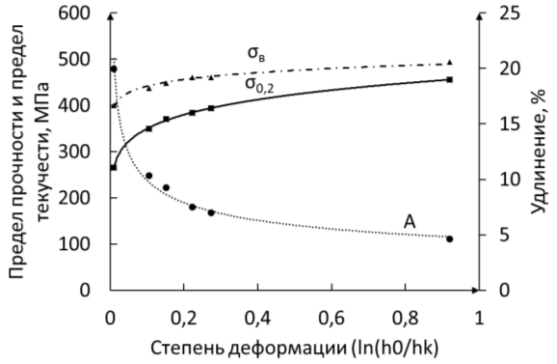


Рисунок 4 – График упрочнения листов из сплава 1570

Полученные механические свойства на опытных листах показаны на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что предел прочности (420–443 МПа) состояния Н116 достигается уже при степени нагартовки 7 %. Предел текучести выше 360 МПа и относительное удлинение около 6 %, что превышает минимальные требования к традиционно используемому сплаву АМг6 НПП ($\sigma_{0,2}$ не менее 313 МПа, относительное удлинение не менее 5 %).

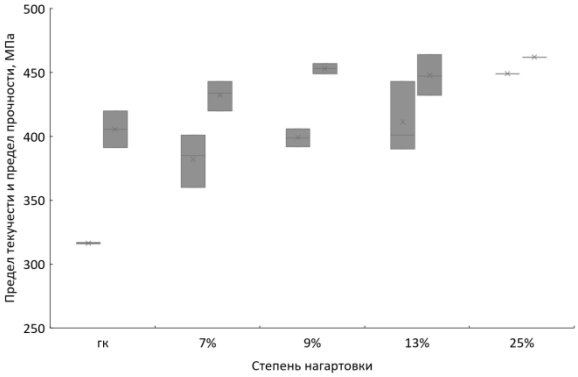


Рисунок 5 – Прочностные свойства опытных образцов

Таблица 2 – Результаты испытаний на стойкость к МКК и РСК образцов в состоянии Н116

Наименование проводимых испытаний	Сплав	Количество образцов	Результаты испытаний	
МКК по ASTM G 67	1570	№1	Значение потери массы образца составляет 3,39 мг/см^2	
		№ 2	Значение потери массы образца составляет 3,23 мг/см^2	
РСК по ASTM G 66		№ 1	Образец соответствует коду РС	Точечная коррозия
		№ 2	Образец соответствует коду РС	Точечная коррозия
		№ 3	Образец соответствует коду РС	Точечная коррозия

ВЫВОДЫ

На основе результатов исследований ниже приводятся основные выводы:

1. Предложенный режим гомогенизации 360–380 ºС с выдержкой 8 часов, благодаря формированию высокой плотности выделения $L1_2$ дисперсионных частиц позволяет получить структуру для блокировки процессарекристаллизации при горячей обработке (температура 380–400 ºС), что обеспечивает повышение уровня механических свойств.

2. Для получения листов из сплава 1570 в состоянии поставки Н116 после горячей прокатки достаточно степени нагартовки 7 %.

В этом состоянии механические свойства листов превосходят механические свойства традиционно используемого сплава АМг6 в полностью нагартованном состоянии.

3. Прокат из сплава 1570 в состоянии поставки Н116 соответствует высокому сопротивлению к межкристаллитной коррозии в соответствии со стандартом ASTMG67 и устойчивы к коррозионному расслаиванию в соответствии со стандартом ASTMG66.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синявский, В. С. Влияние добавок скандия и циркония на коррозионные свойства Al–Mg сплавов [Текст] / В. С. Синявский, В. Д. Вальков, Е. В. Титкова // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. – № 6. – С. 613.

2. Ahmad, Z. The corrosion behavior of scandium alloyed Al 5052 in neutral sodium chloride solution

[Text] / Z. Ahmad, A. Ul-Hamid, B. J. Abdul-Aleem // Corrosion Science. – 2001. – Т. 43. – № 7. – С. 1227–1243.

3. Argade, G. R. Stress corrosion cracking susceptibility of ultrafine grained Al–Mg–Sc alloy [Text] / G. R. Argade, N. Kumar, R. S. Mishra // Materials Science and Engineering: A. – 2013. – Т. 565. – С. 80–89.

4. Li, Z. Influence of Scandium Addition on Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Al–Zn–Mg Alloy in Different Corrosive Environments [Text] / Z. Li, H. Jiang, D. Yan, L. Rong // Metals. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 225.

5. Royset, J. Scandium in aluminium alloys / J. Royset, N. Ryum // International Materials Reviews. – 2005. – V. 50. – № 1. – P. 19–44.

6. Правила классификации и постройки морских судов [Текст]: НД N 2-020101-124, Российский морской регистр судоходства. – СПб. – 1995. – Т. 2. – С. 442.

7. Белов, А. Ф. Перспективные технологии легких и специальных сплавов [Текст] / А. Ф. Белов // К 100-летию со дня рождения академика. Сборник статей – М. : Физматлит. – 2006. – 432 с.

8. Захаров, В. В. Алюминиевые сплавы. Влияние гомогенизации на структуру и свойства сплава системы Al–Zn–Mg–Sc–Zr [Текст] / В. В. Захаров, И. А. Фисенко // МиТОМ. – 2017. – № 5. – С. 15–22.

9. Patent 3619181 USA. Aluminum Scandium Alloy / Lowell A. Willey (USA); Applicant Aluminum Company of America. – № 771669; declared 10.29.68; publ. 09.11.71 (USA). – 14 p.

10. Филатов, Ю. А. Исследование и разработка новых высокопрочных свариваемых сплавов на основе системы Al–Mg–Sc и технологических параметров производства из них деформированных полуфабрикатов: автореф. дис… д-ра. тех. наук: 05.16.01 / Филатов Юрий Аркадьевич. – М. – 2000. – 50 с.

11. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss After Exposure to Nitric Acid (NAMLT Test). – ASTM International, 2004.

12. Standard Test Method for Visual Assessment of Exfoliation Corrosion Susceptibility of 5XXX Series Aluminum Alloys (ASSET Test). – 2013.

13. Соседков, С. М. Деформационное упрочнение плит из сплавов 1565ч, АМг6, 01570 и 1580 при холодной прокатке [Текст] / С. М. Соседков, А. М. Дриц, В. Ю. Арышенский, В. В. Яшин // Технология легких сплавов. – 2020.– № 1. – С. 39–43.

14. ASTM B928/B928M-15. Standard Specification for High Magnesium Aluminum-Alloy Products for Marine Service and Similar Environments // ASTM International. – 2013.

15. ISO E. N. 6892-1. Metallic materials-Tensile testing-Part 1: Method of test at room temperature //International Organization for Standardization. – 2009.

16. ГОСТ 11701-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент [Текст]. – Введ.1986-01-01. – М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1993. – 12 с.

17. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение [Текст]. – Введ.1986-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 12 с.

18. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст] : учеб. / Б. А. Колачев, В. И. Елагин // МИСИС. – 2001. – 414 с.

***Рагазин Александр Алексеевич**, магистрант «Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева», ведущий инженер-технолог АО «Арконик СМЗ», г. Самара, Россия, aleksander.ragazin@arconic.com, тел. 89376482533.*

***Халимова Алия Фаисовна,** магистрант «Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева», ведущий инженер АО «Арконик СМЗ», г. Самара, Россия, aliya.khalimova@mail.ru, тел. 89272645861.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.021
УДК 621.762

KINETIC PARAMETERS OF PRODUCING NICKEL METAL POWDER UNDER ISOTHERMAL CONDITIONS

T. H. Nguyen, Nguyen Van Minh, Nguyen Thai Ha, Do Thanh Lich

The kinetic parameters of producing nickel metal powder, which is obtained through hydrogen reduction from NiO micron powder under isothermal conditions were studied. The hydrogen reduction process of NiO micron powder under isothermal conditions was carried out in a tube furnace in the temperature range 275–316 °C. The study of the crystal structure and composition of the powders was performed by XRD phase analysis. The specific surface area of the samples was measured using BET method with adsorption of nitrogen in low temperature. The average particle size of powders was determined via the measured specific surface area. The size characteristics and shape of the particles were investigated by scanning electron microscope. The calculation of the kinetic parameters of synthesizing process of nickel metal powder under isothermal conditions, was carried out using the Gray-Weddington model and Arrhenius equation. It was found that the rate constant of the reduction process at 316 °C is approximately 2,6 times larger than in the case of reduction at 275 °C, while the duration of the process was reduced by more than 2 times. The activation energy of hydrogen reduction process of NiO micron powder under isothermal conditions equal to ~ 48 kJ/mol, which indicates a mixed reaction mode. In this mode, increasing the temperature as well as eliminating the diffusion layer of the reduction product by intensive mixing are two rational ways to accelerate the process.

Keywords: nickel, nickel oxide, micron powder, kinetic parameters, hydrogen reduction, isothermal conditions.

INTRODUCTION

Today, nickel powder and materials based on it have found wide applications in many fields of science, technology and medicine. For example, in the metallurgical industry, nickel is especially important for the production of heat-resistant and heat-resistant alloys, stainless steels, etc. In addition, nickel powder has shown great advantages in printing electrically conductive pastes due to its excellent properties [1, 2]. In the field of powder metallurgy, nickel-based powders are used in the manufacture of products with complex shapes and excellent characteristics, to obtain products by selective laser melting [3–5].

Metallic nickel powder (NiMP) is obtained by various mechanical and physicochemical methods, which generally have major drawbacks, such as high energy consumption, difficulties in controlling product properties, low productivity, environmental hazard, etc. [1, 6–9]. The chemical and metallurgical methodwhich includes the stage of hydrogen reduction, is a highly efficient method in terms of saving energy, enhancing the quality of the obtained powder metals (homogeneity, stability, narrow particle size distribution), environmental friendliness [10–14].

Hydrogen reduction of hydroxide or oxide compounds is an important way to obtain nickel powders. The widespread introduction of reduced nickel-based powders is constrained by their high cost, which is a consequence of the slow reduction process due to kinetic limitations when it is necessary to obtain products with specified properties in size and shape [15, 16].

Thus, the study of the kinetics of synthesizing process of Ni MP by hydrogen reduction in the search for ways to accelerate the process while guaranteeing the necessary properties of the products obtained, is an important scientific and practical problem.

In connection with the above, the aim of this work is to study the kinetic parameters of the process of obtaining Ni MP by hydrogen reduction under isothermal conditions and to study the properties of the products obtained.

MATERIALS AND METHODS

Micron powder (MP) NiO (nickel (II) oxide; MRTU: 6-09-6600-70, Ural factory of chemical reagents, Verkhnyaya Pyshma, Russia) was used as a starting material for studying the kinetic parameters of the process of obtaining nickel powder.

The NiO MP reduction process was carried out in a SNOL 0,2/1250 tube furnace (Lithuania) in a hydrogen atmosphere at various temperatures. During the process, the following reaction took place:

$$NiO + H_2 = Ni + H_2O. \quad (1)$$

To select a suitable temperature for the hydrogen reduction process, the initial sample was investigated by the thermogravimetric (TG) method on an SDT Q600 analyzer (USA) in a hydrogen atmosphere with linear heating at a

rate of 5 ºC/min in the temperature range 25–450 ºC.

The phase of the powder samples was determined by X-ray phase analysis on a Difrey-401 diffractometer (Russia) (CrK_α radiation) at room temperature.

The specific surface area (S) of the samples was measured by the BET method with adsorption of nitrogen in low temperature, on a NOVA 1200e analyzer (USA). The measurement accuracy is ± 5%. The average particle size of the powders was calculated from the measurement data of the S value using the formula:

$$D = \frac{6}{\rho \cdot S}, \quad (2)$$

where ρ – the pycnometric density of the material, kg/m^3; D – average particle size, m.

The dimensional characteristics and morphology of the powders were investigated by electron microscopy using a HITACHI TM 1000 scanning electron microscope (SEM) (Japan).

The calculation of the degree of reduction α(i.e.) during the reduction of samples was carried out by the formula:

$$\alpha = \frac{m_t}{m_o}, \quad (3)$$

where m_o – the initial weight of the NiO sample, g; m_t – the reacting mass of NiO after time t, g.

The kinetics of producingnickel metal powder by hydrogen reduction of NiO was studied using the Gray-Weddington equation [17]. Using this model allows a calculation of the rate constant (k) of the process by the formula:

$$k \cdot t = 1 - (1 - \alpha)^{1/3}, \quad (4)$$

where k – the rate constant, s^{-1}; t – the reaction time, s.

The calculation of the activation energy E_a (J/mol) was carried out according to the experimental data obtained under isothermal conditions using the integral form of the Arrhenius equation:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A, \quad (5)$$

where A – preexponential factor, s^{-1}; T – temperature, K; R – gas constant, J/(mol·K).

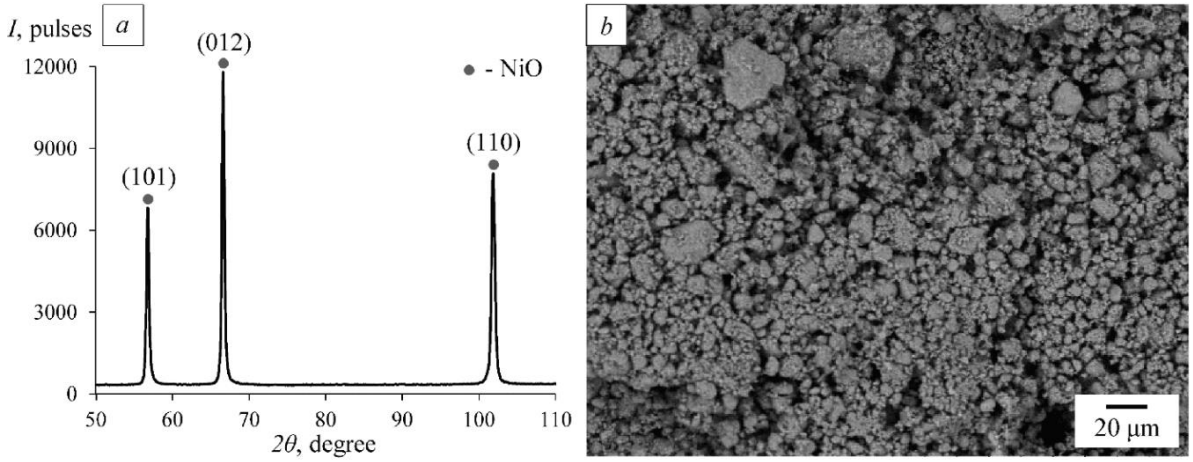


Figure1 – XRD pattern (*a*) and SEM image (*b*) of the initial sample of NiO MP

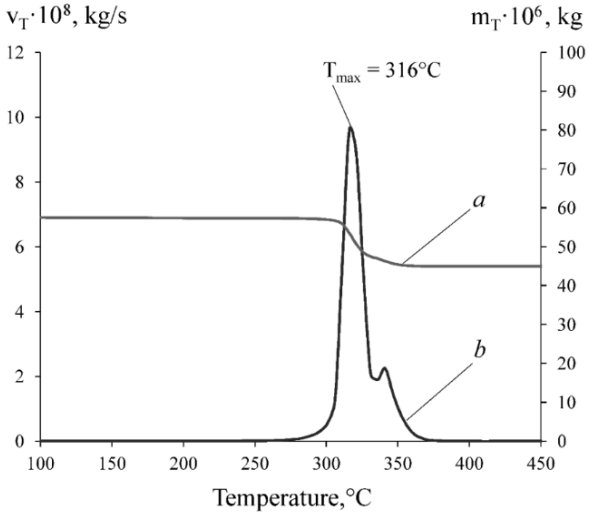
RESULTS AND DISCUSSION

The XRD pattern and SEM image of the initial sample NiO MP are shown in Figure 1.

The result of XRD phase analysis (Fig. 1, *a*) shows that the sample under study contains a purely crystalline oxide phase NiO with a trigonal lattice, no other phases were found. The SEM image (Fig. 1, *b*) reveals that the NiO MP sample mainly consists of polydisperse particles less than 20 μm in sizewith a tendency to aggregate.

According to the BET data, the specific surface area S of the sample of the initial NiO powder was 6,0 m^2/g. Accordingly, the average particle size which results from the specific surface area is 0,15 μm.

Analysis of the TG curves (Fig. 2) obtained through the hydrogen reduction of the NiO MP sample according to the reaction (1) under the condition of linear heating shows that the reduction proceeds in two stages. At the first stage, under the temperature range 275–330 ºC, the reduction of the smallest particles of NiO MP occurs. The maximum specific rate of the process was achieved at a temperature of 316 ºC and its value was 9,7·10^{-8} kg/s. At the second stage, the bifurcation of the peak is a consequence of the fact that large oxide particles take longer to recover than small ones.



a – mass change; b – the rate of mass change

Figure 2 – TG curves of the hydrogen reduction Of NiO MP

In order to determine the rate constants and activation energy of the reduction process under isothermal conditions, the dependences of the degree of the reduction (*α*) on time (*t*) were obtained at different temperatures. Based on the TG data (Fig. 2), the temperatures of the reduction process were selected: 275, 285, 295, 305, 316 ºC. These temperatures are in the range of intensive reduction processes. In Figure 3 the graph illustrates the dependence of the degree of conversion on time *α* (*t*) at different temperatures. The figure shows that the recovery process at a temperature of 275 ºC is slowest with an incubation period from the begin to the fortieth minute. At a temperature of the maximum rate of reduction (316 ºC), the complete reduction time was 72 min, that is approximately more than 2 times compared with the case of recovery at 275 ºC (at this temperature, the complete reduction time was 136 min). The reduction process of NiO MP at temperatures above 300 ºC proceeds practically without an incubation period.

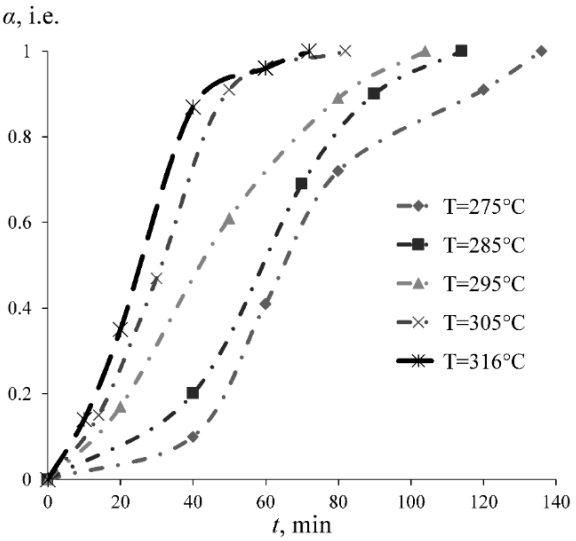


Figure 3 – Dependence *α (t)* of the reduction process of NiO MP at different temperatures

The rate constant *k* of the reduction process at different temperatures was determined using the Gray-Weddington model (4). The values of the rate constant (depending on temperature) are presented in Table 1.

Table 1 – The rate constant of the reduction process of NiO MP

Sample / process	NiO MP / hydrogen reduction				
T, ºC	275	285	295	305	316
$k \cdot 10^3$, s^{-1}	1,159	1,398	1,579	2,118	2,333

According to the data in Table 1, it can be seen that the rate constant of the reduction of NiO MP at 316 ºC is approximately 2 times higher than the value obtained in the case of reduction at 275 ºC, therefore, the duration of the process decreased by more than 1.89 times.

To determine the value of the activation energy E_a of the reduction process of NiO MP under isothermal conditions, a graph of the dependence ln*k*(1/*T*) was plotted according to equation (5).

It has been shown that the value E_a of producing Ni MP under isothermal conditions, is calculated from the kinetic data, equal to ~ 48 kJ/mol.

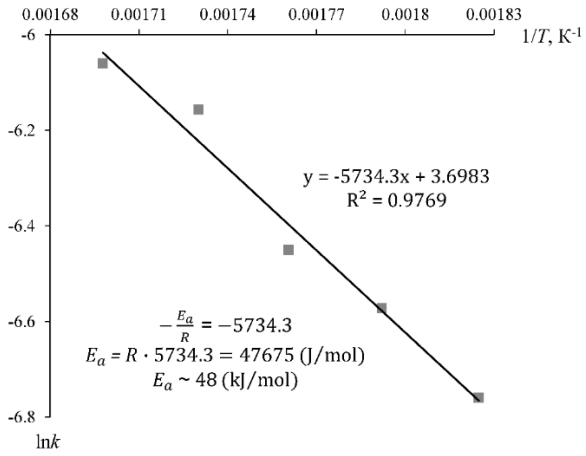


Figure 4 – Calculation of the activation energy in the coordinates of the Arrhenius equation

Comparing the obtained E_a value with the literature data [18], it can be confirmed that the reduction proceeds in a mixed reaction mode (in this case, the rate of chemical transformation and diffusion rate are approximately equal, and both stages simultaneously limit the reduction process as a whole). In this mode, increasing the temperature and eliminating the diffusion layer of the reduction product by intensive mixing are two rational ways to accelerate the process.

It should be noted that, although in this case an increase in temperature is a solution to accelerate the reduction of NiO MP, carrying out the reduction at high temperatures can lead to an accelerated aggregation and sintering of the obtained metal particles.

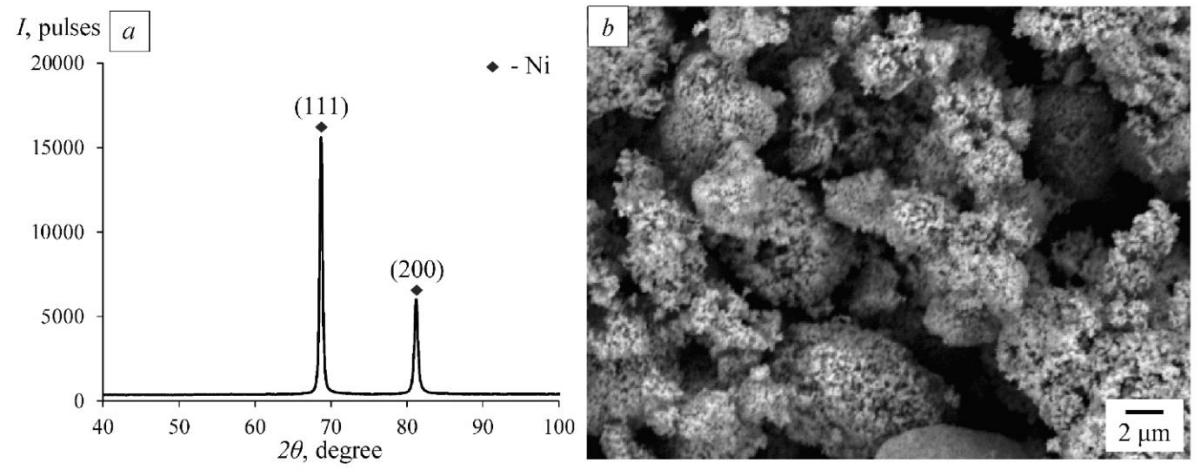


Figure 5 – XRD pattern (*a*) and SEM image (*b*) of the product of the hydrogen reduction Of NiO MP at 316 ºC

The following are the results of studying the properties of the product obtained by hydrogen reduction of NiO MP with the maximum rate of reduction, at 316 ºC.

Figure 5 shows the XRD pattern and SEM image of the hydrogen reduction product of NiO MP at 316 ºC.

The result of XRD phase analysis of the product (Fig. 5, *a*) shows that the obtained sample contains only the (fcc) nickel phase. Analysis of the SEM image in Figure 5, *b* reveals that the powder of metallic nickel is a highly porous material, and Ni particles are collected in large porous aggregates up to 10 μm in size.

The result of measuring the specific surface area of the obtained nickel powder by the BET method is in good agreement with the result of microscopic analysis. It was found that, in the course of reduction, the processes of sintering and aggregation of the formed metal particles lead to a significant decrease in the value of *S* in comparison with the initial material (from 6,0 for NiO MP to 1,8 m^2/g for Ni MP).

CONCLUSION

The kinetic parameters of producing Ni MP by hydrogen reduction are investigated. It was found that the rate constant of reduction at 316 ºC is approximately 2 times higher than in the case of reduction at 275 ºC, accordingly, the duration of the process was reduced by more than 1,89 times.

The value of the activation energy of the hydrogen reduction of NiO MP equal to ~ 48 kJ/mol, which indicates a mixed reaction mode. In this mode, to accelerate the process, increasing the temperature and eliminating the diffusion layer of the reduction product by intensive mixing are recommended.

It was established that the Ni MP, obtained by hydrogen reduction of nickel oxide at 316 ºC, is a

highly porous material, while Ni particles are collected in large porous aggregates up to 10 μm in size.

REFERENCES

1. Nguyen, V. M. Some features of nanodispersed and micron-size nickel powders produced by hydrogen reduction in the eddy magnetic field / V. M. Nguyen, Yu. V. Konyukhov, D. I. Ryzhonkov, S. I. Kotov // Universities' Proceedings. Powder Metallurgy and Functional Coatings. – 2016. – № 1. – P. 4–11. (in Russian). https://doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-4-11.

2. Nguyen, V. M. Enhancement of structural and mechanical properties of Fe + 0,5 % C steel powder alloy via incorporation of Ni and Co nanoparticles / V. M. Nguyen, G. Karunakaran, T. H. Nguyen, E. A. Kolesnikov, M. I. Alymov, V. V. Levina, Yu. V. Konyukhov // Letters on Materials. – 2020. – V. 10 (2). – P. 174–178. https://doi.org/10.22226/2410-3535-2020-2-174-178.

3. Kagakin, E. I. Influence of the temperature of reduction process of nickel carbonate on the characteristics of ultrafine nickel / E. I. Kagakin, P. V. Lapsina, V. G. Dodonov, V. M. Pugachev // Bulletin of Kemerovo State University. – 2012. – V. 52. – № 4–1. – P. 264–267.

4. Sidorova, E. N. Disperse characteristics of nickel nanopowder / E. N. Sidorova, E. L. Dzidziguri, V. V. Levina // Metally. – 2008. – № 6. – P. 78–82.

5. Yap, C. Y. Selective laser melting of nickel powder / C. Y. Yap, H. K. Tan, Z. Du, C. K. Chua, Z. Dong // Rapid Prototyping Journal. – 2017. – V. 23. – № 4. – P. 750–757. https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2016-0006.

6. Surovaya, V. E. Study of nanosized nickel films by the sauerbay method / V. E. Surovaya, L. N. Bugerko, E. P. Surovoi, S. V. Bin // Polzunovskyvestnik. – 2015. – № 4–2. – P. 90–94.

7. Nguyen, T. H. The effect of surfactants on the particle size of iron, cobalt and nickel nanopowders / T. H. Nguyen, V. M. Nguyen // Universities' Proceedings. Powder Metallurgyand Functional Coatings. – 2020. – № 1. – P. 22–28. https://doi.org/10.17073/1997-308X-2020-22-28.

8. Lapsina, P. V. Nanostructured nickel powders: preparation and some properties / P. V. Lapsina, E. I. Kagakin, V. G. Dodonov, V. M. Pugachev, S. A. Sozinov // Polzunovskyvestnik. – 2014. – № 3. – P. 147–150.

9. Zakharov, Yu. A. Obtaining nano-sized nickel and cobalt powders for modern industry / Yu. A. Zakharov, R. P. Kolmykov // Polzunovskyvestnik. – 2008. – № 3. – P. 137–140.

10. Nguyen, V. M. Investigation of the influence of the electromagnetic field and energy-mechanical treatment on the process of obtaining nanosized powders of metallic cobalt by hydrogen reduction / V. M. Nguyen, Yu. V. Konyukhov, D. I. Ryzhonkov // Izvestiya. Ferrous Metallurgy. – 2018. – V. 61. – № 2. – P. 96–101. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-2-96-101.

11. Nguyen, T. H. Magnetic properties of Fe, Co, Ni nanopowders produced by chemical-metallurgy method / T. H. Nguyen, Y. V. Konyukhov, V. M. Nguyen, V. V. Levina, D. Y. Karpenkov // 22th International conference on permanent magnets. – 2019. – P. 105.

12. Konyukhov, Yu. V. Kinetics of reduction of α-Fe_2O_3 nanopowder with hydrogen under power mechanical treatment in an electromagnetic field / Yu. V. Konyukhov, V. M. Nguyen, D. I. Ryzhonkov // Physics and chemistry of materials treatment. – 2018. – № 1. – P. 66–74.

13. Ryzhonkov, D. I. Kinetic Regularities and Mechanisms of Hydrogen Reduction of Nanosized Oxide Materials in Thin Layers / D. I. Ryzhonkov, Yu. V. Konyukhov, V. M. Nguyen // Nanotechnologies in Russia. – 2017. – V. 12. – № 11–12. – P. 620–626. https://doi.org/10.1134/S1995078017060076.

14. Konyukhov, Yu. V. Properties of nanosized iron powders produced by chemical-metallurgy method using surfactants / Yu. V. Konyukhov, V. V. Levina, D. I. Ryzhonkov, I. I. Puzik //Rossiiskienanotekhnologii. – 2008. – V. 3. – № 5–6. – P. 158–163.

15. Shamro, E. A. Kinetics of the gas recovery process of industrial nickel oxide in a fluidized bed / E. A. Shamro, O. A. Vyaz'min, S. F. Evlanov // Nonferrous metals. – 1970. – № 12. – P. 10–14.

16. Ryzhonkov, D. I. Theory of metallurgical processes / D. I. Ryzhonkov, P. P. Arsent'ev, V. V. Yakovlev // Moskva : Metallurgiya. – 1989. – 392 p.

17. Braun, M. Solid reactions / M. Braun, D. Dollimor, A. Galvei // Moskva: Mir. – 1983. – 360 p.

18. Schmalzried, H. Chemical Kinetics of Solids / H. Schmalzried // Weinheim: VCH. – 1995. – 433 p. https://doi.org/10.1002/9783527615537.

***Tien Hiep Nguyen**, lecturer, Le Quy Don Technical University (Hanoi, 100000, Vietnam). E-mail: htnru7@yandex.ru.*

***Nguyen Van Minh**, PhD. Sci. (Eng.), Institute of Technology (Hanoi, 100000, Vietnam). E-mail: chinhnhan88@gmail.com.*

***Nguyen Thai Ha**, research assistant, Institute of Technology (Hanoi, 100000, Vietnam). E-mail: thaihabwde@gmail.com.*

***Do Thanh Lich**, postgraduate, Dalat Vocational Training College, (Lamdong, 670000, Vietnam). E-mail: lichdalat@gmail.com.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.022
УДК 678.026.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ БОРПОЛИМЕРА В ЭПОКСИАНГИДРИДНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

А. Г. Туисов, А. А. Кычкин, Е. С. Ананьева, Е. М. Максимова

Разработка новых составов полимерных связующих для производства композиционных материалов путем модификации базовых рецептур различными добавками остается одним из актуальных направлений исследований в области материаловедения. Варьированием компонентного состава и соотношением компонентов можно осуществлять регулирование свойств связующего и получать композиты с требуемыми значениями прочности, модуля упругости и деформативности. Полимерная матрица обеспечивает монолитность материала и стойкость к воздействию эксплуатационных факторов. Одними из важных требований, предъявляемых к материалу связующего, являются требования по термостойкости и технологичности.

Полимерное связующее на основе эпоксидной смолы и ангидридного отвердителя является одним из распространенных видов связующего в производстве армированных пластиков. Несмотря на высокие прочностные характеристики, связующее имеет низкие термостойкость и стойкость к агрессивным средам (относительно к желаемым условиям эксплуатации). С целью повышения данных характеристик предлагается модификация добавкой полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты. С целью изучения возможности введения добавки в связующее исследован процесс растворения полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты в компонентах эпоксиангидридного связующего. Получены температурно-временные условия растворения полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты в отвердителе ангидридного типа.

Ключевые слова: эпоксидное связующее, изометилтетрагидрофталевый ангидрид, борполимер, модифицирующая добавка, вязкость, растворимость, температура плавления, начальная условная вязкость, время растворения.

ВВЕДЕНИЕ

Мировая практика производства конструкционных композиционных материалов показывает, что наиболее доступными и хорошо зарекомендовавшими связующими в настоящее время являются эпоксидные связующие и компаунды горячего отверждения [1]. Особо широкое распространение получило трёхкомпонентное эпоксидное связующее, где в качестве отверждающего агента выступают ангидриды. Эпоксиангидридные связующие обладают высокими прочностными показателями, низкой усадкой, высокой адгезией к волокнистым наполнителям. Однако, несмотря на это, эпоксиангидридные связующие имеют ряд недостатков, например, как низкая теплостойкой, низкая стойкость к агрессивным средам, горючесть и т. д.

Дальнейшее расширение области применения эпоксиангидридных связующих возможно путем из химической или физико-химической модификации, приводящей к изменению свойств эпоксидного связующего.

Известно, что борсодержащие соединения [2, 4, 5], в частности, полиэфиры и полиметиленэфиры бороной кислоты обладают хорошей адгезией к стеклу, металлам, дереву, и в настоящее время применяются в основном как клеевые композиции, пластификаторы, смазочные материалы, эмульгаторы и т. д. [2, 4, 7, 8]. Интересными и уникальными свойствами обладает синтезированный авторами в работе [3] борсодержащий полимер: полиметилен-п-трифениловый эфир борной кислоты (борполимер).

С целью изучения возможности введения добавки в связующее исследован процесс растворения полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты в компонентах эпоксиангидридного связующего – смоляной части, ускорителе и отвердителе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Растворимость твердых веществ в жидких растворителях сильно зависит от температуры, при которой происходит процесс растворения. Для большинства твердых тел повышение температуры увеличивает растворимость. Основными факторами, влияющими на растворимость, являются температура, при которой происходит переход твердой фазы в раствор, и время, в течение которого происходит процесс растворения.

В качестве возможных растворителей для модифицирующей добавки борполимера были выбраны следующие компоненты эпоксиангидридного связующего:

- отвердитель Изо-МТГФА (изометилтетрагидрофталевый ангидрид) – содержание 40–60 масс. % от массы всего связующего;
- эпоксидная смола ЭД-22 – содержание 40–60 масс. % от массы всего связующего;
- ускоритель реакции полимеризации Агидол 53 (2, 4, 6 трисдиметиламинометилфенол УП-606/2) – содержание 0,2–2 масс. % от массы всего связующего.

Модифицирующая добавка борполимер производства ООО «Боропласт», представляющая собой продукт конденсации трифенилового эфира борной кислоты и триоксиметилена, структурная формула добавки представлена на рисунке 1.

В таблице 1 отображены основные физико-химические свойства модифицирующей добавки борполимер.

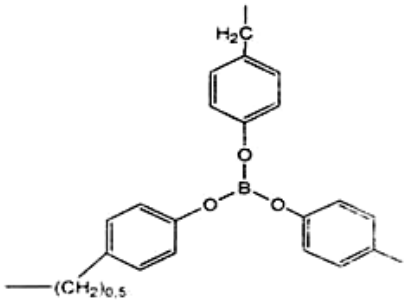


Рисунок 1 – Структурная формула модифицирующей добавки борполимер

Таблица 1 – Физико-химические свойства модифицирующей добавки борполимер

Наименование показателя	Значение
Средняя молекулярная масса	2500–3000 а.е.
Температура плавления	150–160 ºС
Растворимость	Растворим в полярных органических растворителях, слабо растворим в неполярных органических растворителях

Процесс растворения борполимера в компонентах эпоксидного связующего производили при температуре 50 ± 2 ºС в течение 20 суток при содержании модифицирующей добавки в количестве от 1 до 6 масс. % от массы возможного растворителя. Степень растворения модификатора оценивали путем сравнения значения начальной условной вязкости раствора с различным содержанием модифицирующей добавки борполимера.

В таблице 2 представлены значения начальной условной вязкости, определенные при температуре 40 ºС, для растворов борполимер + ЭД22 и борполимер + Агидол 53, выдержанные при температуре 50 ± 2 ºС в течение 20 суток.

Таблица 2 – Значения начальной условной вязкости исследуемых растворов

Раствор	Содержание борполимера, масс. %					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Начальная условная вязкость раствора борполимер + ЭД-22, сек	230 ± 5	229 ± 3	231 ± 5	228 ± 4	230 ± 5	231 ± 6
Начальная условная вязкость раствора борполимер + Агидол 53, сек	12,1 ± 1	12 ± 0,5	12 ± 0,4	12 ± 0,3	12 ± 1	12 ± 0,3

Анализ данных показывает, что с увеличением содержания модифицирующей добавки борполимера начальная условная вязкость смеси борполимер + ЭД-22 не изменяется, следовательно, модифицирующая добавка борполимера не растворяется в эпоксидной смоле.

Оценка степени растворения борполимера в среде Агилол 53, основанная на сравнении значений начальной условной вязкости, показала, что по мере увеличения содержания борполимера в составе ускорителя реакции полимеризации Агидол 53, начальная условная вязкость системы так же не изменяется. Т. е. при добавлении модифицирующей добавки борполимера в Агидол 53, в количестве от 1 до 6 масс. % наблюдается отсутствие процесса растворения, о чем по-

казывают данные значений начальной условной вязкости (при температуре 40 ºС) борполимер + Агидол 53, представленные в таблице 2.

На рисунке 2 изображена полученная зависимость содержания модифицирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА от начальной условной вязкости смеси при температуре 40 ºС, выдержанной в течение 20 суток при температуре 50 ± 2 ºС.

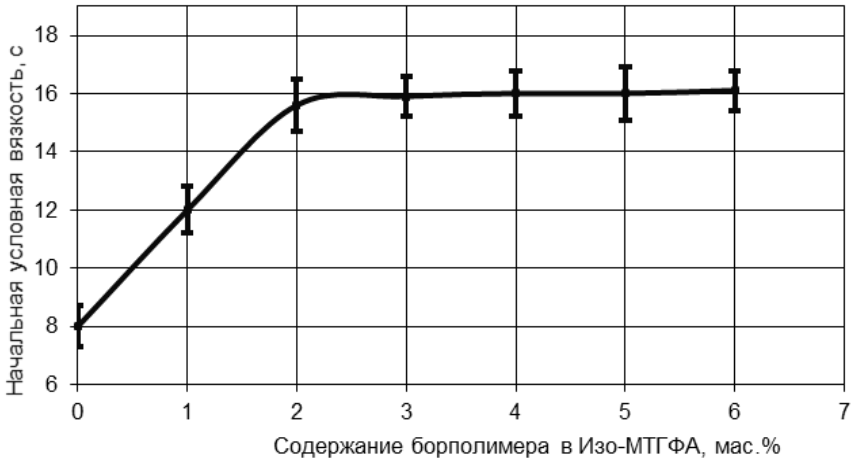


Рисунок 2 – Зависимость содержания борполимера в Изо-МТГФА от начальной условной вязкости смеси при температуре 40 ºС

Данные рисунка 2 отчетливо показывают увеличение начальной условной вязкости раствора борполимер + Изо-МТГФА, что говорит о протекании процесса растворения модифицирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА. Исходя из данных рисунка, видно, что чистый отвердитель Изо-МТГФА имеет значение начальной условной вязкости на уровне 8 сек. По мере возрастания содержания модифицирующей добавки борполимера до 2 масс. % в составе отвердителя Изо-МТГФА наблюдается возрастание начальной условной вязкости раствора до значения 16 сек. При достижении содержания борполимера в количестве 2 масс. % кривая растворения становится параллельной оси абсцисс, и дальнейшее растворения не наблюдается. Таким образом, данная зависимость указывает, что получен насыщенный раствор борполимер + Изо-МТГФА.

Определение оптимальных температурных условий растворения осуществлялось для раствора, состоящего из 98,0 масс. % Изо-МТГФА и 2,0 масс. % борполимера, в интервале температур от 10 до 100 ºС.

Полученная зависимость времени растворения борполимера в Изо-МТГФА от температуры изображена на рисунке 3.

Анализ зависимости показывает, что при достижении раствора, интервала температуры 40–50 ºС время растворения начинает уменьшаться. Полученная зависимость растворения модифцирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА имеет степенной характер, коэффициент корреляции данной зависимости равен 0,99.

Исходя из того, что, процессы разложения отвердителя Изо-МТГФА начинаются при температуре 55–60 ºС, то оптимальной температурой растворения будем считать температуру 55 ± 2 ºС.

Анализируя полученные результаты, следует, что растворение модифицирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА происходит при температуре 55 ± 2 ºС в течение 20 часов, что, в свою очередь, и является оптимальными температурно-временными условиями растворения борполимера в Изо-МТГФА.

Данные рисунка 2 показывают, что наибольшее возрастание значений начальной условной вязкости наблюдается при содержании борполимера в Изо-МТГФА до 2 масс. %. Насыщение раствора и максимум растворимости борполимер + Изо-МТГФА определяется точкой 2,0 масс. %. Следовательно, 2 масс. % являются критической точкой содержания модифицирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА.

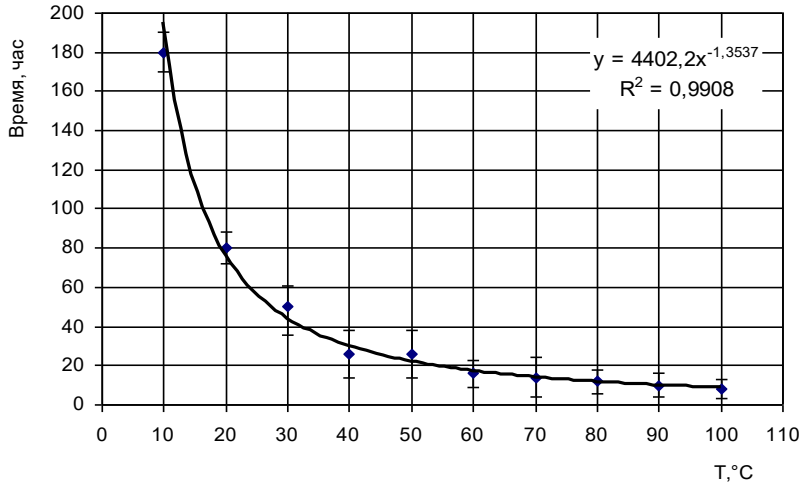


Рисунок 3 – Зависимость времени растворения раствора, состоящего из 98 масс. % Изо-МТГФА и 2 масс. % борполимера, от температуры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования процесса растворения модифицирующей добавки борполимера в компонентах эпоксиангидридного связующего показали, что процесс растворения борполимера протекает только в отвердителе Изо-МТГФА. Оптимальными температурно-временными условиями растворения борполимера в Изо-МТГФА, обеспечивающими полное растворение модифицирующей добавки борполимера в Изо-МТГФА, является растворение при температуре 55 ± 2 ºС в течение 20 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошинский, Л. Я. Эпоксидные смолы и отвердители / Л. Я. Мошинский / Тель-Авив : Аркадия пресс ЛТД, 1995.

2. Коршак, В. В. Бороргонические полимеры / В. В. Коршак, В. А. Замятина, Н. И. Бекасова. – М. : Наука, 1975. – 255 с.

3. Ленский, М. А. Полиэфиры и полиметиленэфиры борной кислоты – синтез, структура, свойства, применение : автореф. дис… на соискание ученой степени канд. хим. наук : 02.00.06 / Ленский Максим Александрович. – Бийск, 2007. – 20 с.

4. Androshchuk, A. A. Interaction of polyesters and polymethylene ethers of phenols and boric acid with epoxy resin / A. A. Androshchuk, M. A. Lenskii, A. M. Belousov // Plast. Massy. – 2009. – № 10. – P. 22–25.

5. Кузнецов, А. А. Перспективные высокотемпературные термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов / А. А. Кузнецов, Г. К. Семенова // Российский химический журнал. – 2010. – Т. 53. – № 4. – С. 86–96.

6. Korabel'nikov, D. V. Increas-ing the thermal and wear resistance of polymeric friction compositions with additives of boronic acid polymethylene-p-triphenyl ester / D. V. Korabel'nikov, M. A. Lenskii, V. Ozhogin // Izv. vyssh. uchebn. zaved. – Khim, Khim. Tekhnol. – 2012. – V. 55. – № 7. – P. 87–89.

7. A study of the modifying effect of additions of boric acid polymethylene-p-triphenyl ester in rubber-based polymer composites: Part 3 / D. V. Korabel'nikov [et al.] // International Polymer Science and Technology. – 2016. – T. 43. – № 2. – C. 111–114.

8. Synthesis and properties of polyethylene-*p*-triphenylboron ester of boric acid / M. A. Lenskiy [et al.] // Izv. vyssh. uchebn. zaved. – Khim, Khim. Tekhnol. – 2019. – V. 62. – № 7. – P. 31–35.

***Туисов Алексей Геннадьевич**, к.т.н., старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» (г. Якутск); e-mail: tuisovag@gmail.com.*

***Кычкин Айсен Анатольевич**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» (г. Якутск); e-mail: icen.kychkin @mail.ru.*

***Ананьева Елена Сергеевна**, к.т.н., доцент, кафедра современных специальных материалов, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), e-mail: eleana2004@mail.ru.*

***Максимова Екатерина Михайловна**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» (г. Якутск); e-mail: nikiforova_em@mail.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.023
УДК 678.5.046

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ ПКМ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ И КОНТАКТНОГО ФОРМОВАНИЯ

А. Е. Проценко, В. В. Петров, Д. П. Малышева

В настоящей работе обсуждаются данные исследований прочностных свойств сэндвич-панелей, изготовленных методом вакуумной инфузии (VaRTM) и методом контактного формования. Данные материалы находят широкое применение в судостроении. Центральная часть сэндвич панели выполнена из стеклопластикового гофрового элемента с формообразующими трапециевидными вкладышами из ПВХ пенопласта. В качестве обшивок конструкции применялся стеклопластик, изготовленный из четырех листов стеклоткани. В случае сэндвич-панелей, изготовленных методом VaRTM, средний слой и обе обшивки формировались за один технологический переход. При использовании метода контактного формования сначала изготавливали средний слой, на который поочередно приформовывали обшивки. Образцы, полученные с помощью VaRTM, представляют собой единый монолитный ламинат без каких-либо дефектов. Плотность образца, полученного методом VaRTM, на 20 % выше, чем плотность образца, полученного методом контактного формования. Использование сканирующей электронной микроскопии позволило выявить значительное количество пор диаметром от 200 мкм до 400 мкм и достигающих 1 мм в длину в образцах, полученных методом контактного формования. Предел прочности на растяжение панелей, полученных с помощью VaRTM, на 13 % выше, чем в изделиях, выполненных методом контактного формования.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, ПКМ, сэндвич-панели, вакуумная инфузия, контактное формование, прочность, электронная микроскопия, термический анализ, эпоксивинилэфирное связующее, технология.

ВВЕДЕНИЕ

Конструкции из полимерных композиционных материалов находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Отличительными признаками изделий на их основе являются высокая прочность, низкий вес, тело- и шумоизоляционные характеристики. Представленные свойства делают возможным применение их в Арктике, космосе, конструкциях судов и самолетов.

Метод вакуумной инфузии (VaRTM) имеет особое значение для отрасли судостроения [1, 2], характеризующейся очень большими размерами элементов конструкций.

В работах [3–9] представлены исследования различных вариантов оформления сэндвич-панелей. Особый интерес представляют изделия, средний слой которых выполнен из стеклопластикового гофрового элемента и формообразующих пенопластовых вкладышей различной геометрии [10, 11]. Данные сэндвич-панели можно отнести к плоскостным интегральным конструкциям. Они отличаются лучшими прочностными и эксплуатационными свойствами по сравнению с обычными сэндвич-панелями, где средний слой изготавливается из листа пенопласта.

В большинстве случаев современное судостроение при производстве крупногабаритных конструкций из сэндвич-панелей с гофровым элементом работает по многостадийному и длительному технологическому циклу с применением контактного формования. Реализация данного технологического процесса за один технологический переход позволит повысить производительность и физико-механические показатели изделий.

Данная работа направлена на исследование достоинств и недостатков производства сэндвич-панелей методами контактного формования и VaRTM с точки зрения прочности и времени производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на сэндвич панелях с гофровым стеклопластиковым элементом и пенопластовыми формообразующими вкладышами в среднем слое (рисунок 1).

Гофрированный элемент, верхняя и нижняя обшивки изготовлены из стеклопластика на основе стеклоткани Ст-62004 (ХКК Композит) и непредускоренного эпоксивинилэфирного связующего Dion 9300 FR (Reich-Hold).

Средний слой представлен трехслойным стеклопластиком с нулевым углом армирования. Стеклопластиковые обшивки изготовлены из четырех слоев стеклоткани с углами армирования 0/+45/-45/0. Формообразующие вкладыши с сечением в виде трапеции выполнены из ПВХ пенопласта Divinycell H35 толщиной 40 мм.

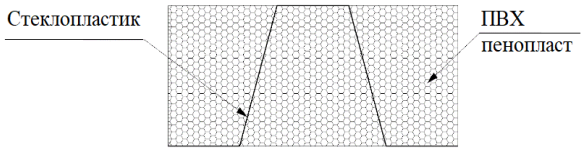


Рисунок 1 – Образец среднего слоя

Изготовление сэндвич-панелей осуществлялось двумя способами. Часть сэндвич-конструкций были изготовлены безавтоклавным методом (VaRTM) с использованием установки вакуумной инфузии SVI-20-43 (MSH Techno). Другая часть образцов изготавливалась методом контактного формования.

В обоих случаях изготавливались образцы-свидетели для оценки свойств стеклопластика. Образцы изготавливались из двадцати слоев стеклоткани с нулевым углом армирования.

Связующее изготавливалось из четырех компонентов по следующей рецептуре: 100 масс. ч. Dion 9300 FR, катализатор NORPOL 9802 – 3 м.ч., пероксид NORPOL № 11 – 2 м.ч., ингибитор NORPOL 9854 – 0,01 м.ч. Время гелеобразования, в течение которого возможна при нормальных условиях переработка смеси, находится в диапазоне 120–150 минут.

В случае использования VaRTM технологии получения стеклопластика отверждение проводилось в вакууме (0,01 МПа) при комнатной температуре. Выдержка под вакуумом для доотверждения и снижения вероятности коробления образцов осуществлялась в течение 6 часов. Выдержка изделия при комнатной температуре с целью достижения полной полимеризации образцов проводилась в течение десяти дней. В дальнейшем образцы подвергались термической обработке при 80 ºС в течение 4 часов [12, 13].

Полученные образцы сэндвич-панелей испытывались на трехточечный изгиб с целью определения предельной несущей нагрузки. Результаты испытаний были получены на испытательной машине Instron 3382. Размер испытуемого образца составлял (410 х 140 х 40) мм. Для испытаний использовались опоры радиусом 20 мм, установленные на расстоянии 345 мм друг от друга. Радиус ножа также составлял 20 мм. Нагрузка прикладывалась к гофрированным стеклопластиковым элементам. Скорость приложения нагрузки составляла 10 мм / мин.

Образцы испытывались на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56810-2015.

При определении твердости использовался метод Бринелля. Размер образца составлял 60 х 60 х 10 мм. Испытание производилось с нагрузкой 9810 Н. Диаметр нагружаемого стального шарика составлял 10 мм.

Предел прочности при растяжении определялся по ГОСТ 32656-2014.

Исследование структуры образца проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N, оснащенного электронной пушкой с вольфрамовым катодом. Измерения проводились при ускоряющем напряжении 3 кВ с использованием детектора вторичных электронов (SE). Исследование структуры матричного материала проводилось на макро-и мезоуровнях при расслоении гофрированного стеклопластикового элемента.

Термогравиметрический метод использовался для установления соотношения матрица-наполнитель в композите [14]. Анализ образцов проводился на приборе STA 409 PC Luxx NETZSCH. Исследование образцов проводилось в воздушной среде при нагреве со скоростью 10 ºС/мин до 600 ºС в тиглях из корундовой керамики.

Плотность стеклопластиков определялась согласно ГОСТ 15139-69 посредством гидростатического взвешивания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прочность панелей на основе сэндвич-конструкций определяется прочностью всех элементов стеклопластика и качеством клеевого соединения пенопластовых вкладышей со стеклопластиком. В таблице 1 представлены данные прочностных испытаний образцов-свидетелей стеклопластика.

Таблица 1 – Физико-механические свойства стеклопластиков

Образец	Метод формования	Твердость (HB)	Изгиб ($\sigma_и$), МПа	Растяжение ($\sigma_р$), МПа	Плотность (ρ), кг/м^3
1	Контактный	42	659	635	1613
2	VaRTM	48	831	829	1934

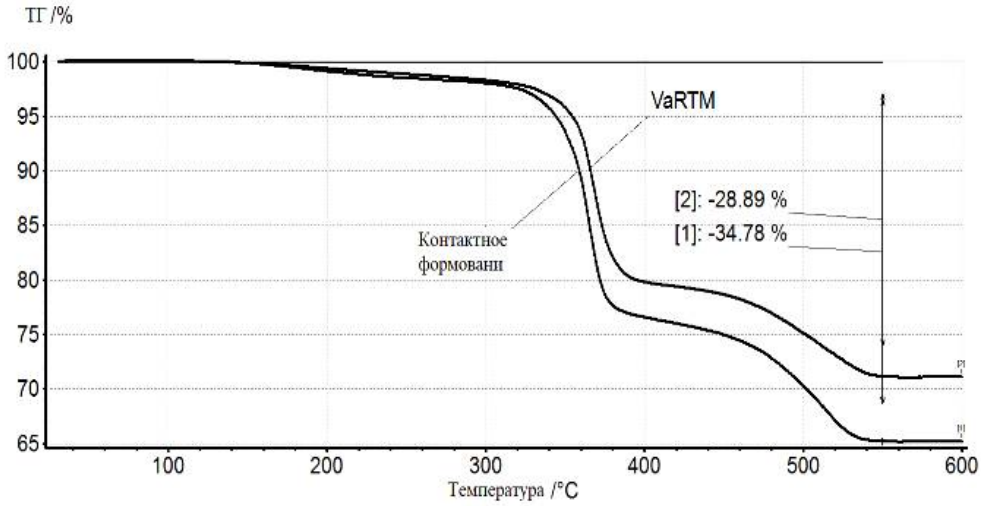
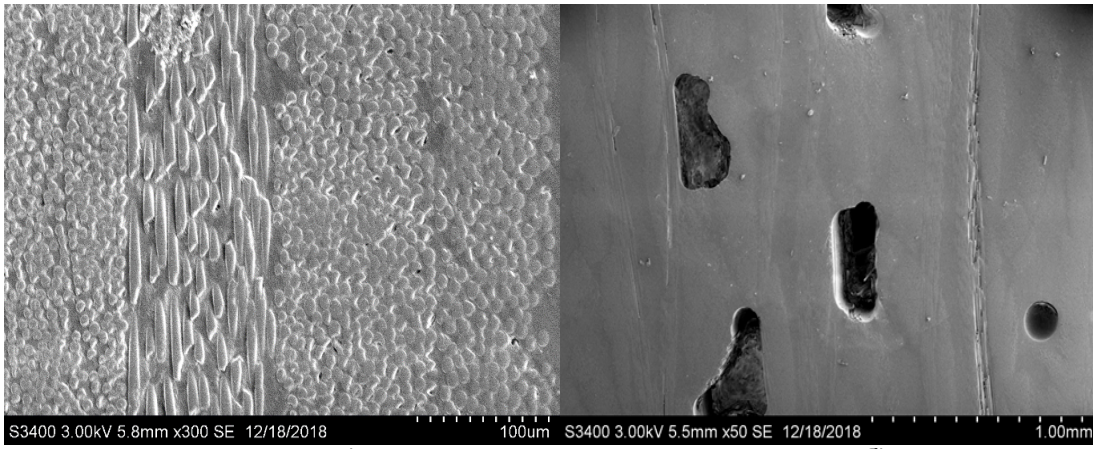
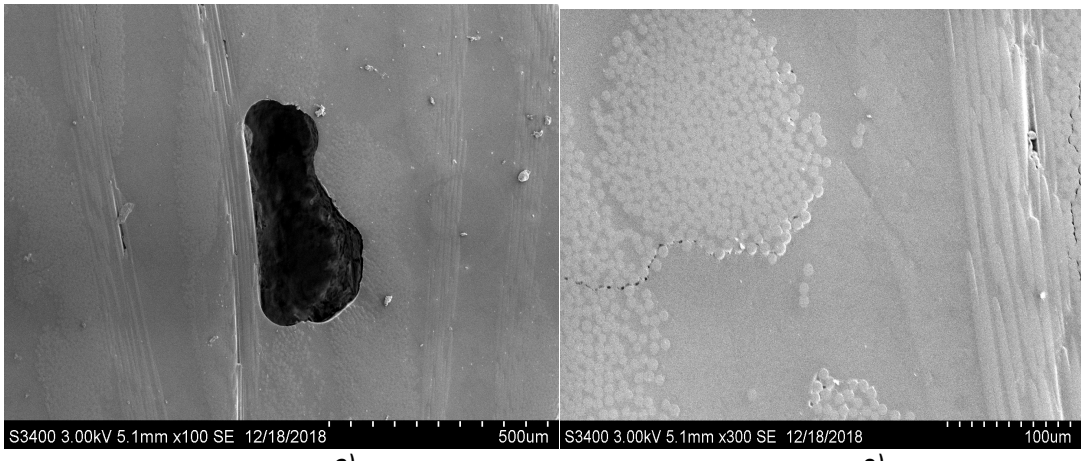


Рисунок 2 – Термогравиграмма стеклопластиков



а) *б)*



в) *г)*

Рисунок 3 – Структуры стеклопластика, полученные методами:
а – VaRTM (х300), и контактным формованием: б – х50, в – х100, г – х300

Стеклопластик на основе эпоксивинилэфирного связующего NorpolDion 9300 FR и полотняной стеклоткани из Е-стекла, изготовленный методом контактного формования, значительно уступает по прочностным характеристикам аналогичному материалу, полу-

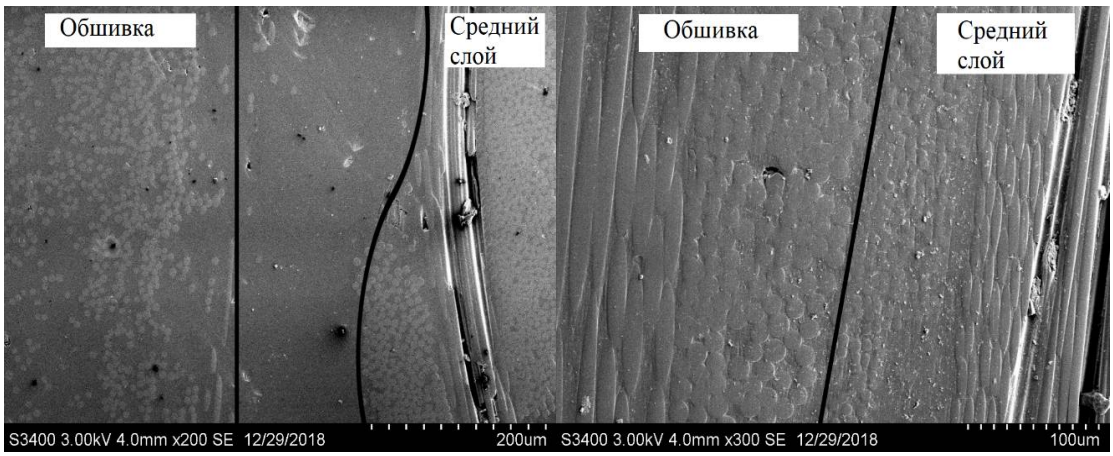
ченному методом VaRTM. Предел прочности при статическом изгибе на растяжение стеклопластика, изготовленного методом VaRTM на 26 % выше. С целью выявления причин различия образцы материалов исследовались с использованием метода термического анализа и микроскопии.

Термогравиметрическое исследование (рисунок 2) свидетельствует о значительном отличии в соотношении матрица/наполнитель в образцах стеклопластиков.

При использовании метода VaRTM доля матрицы составила 28,9 %. Это обусловлено тем, что контактное формование не обеспечивает достаточного давления формования, что приводит к увеличению доли связующего в композиционном материале до 34,8 %. В свою очередь, это приводит к различию в плотности полученных образцов. Так, плотность образцов, полученных методом контактного формования на 20 % больше, чем у образца, изготовленного методом VaRTM (таблица 1).

Исследование микроструктуры связующего на растровом электронном микроскопе (рисунок 3) свидетельствует о наличии в образцах, полученных контактным формованием значительного количества пор диаметром от 200 мкм до 400 мкм и достигающих 1 мм в длину. Плотность упаковки волокон в стеклопластиках значительно отличается. В образце, полученном методом VaRTM, области между волокнами, заполненные матрицей, составляют от 10 до 40 мкм, тогда как при использовании метода контактного формования плотность упаковки значительно ниже и на снимках можно выделить отдельные волокна. Участки, заполненные матричным материалом, достигают 200 мкм.

На фотографиях рисунка 4, образцов выполненных методом контактного формования, наблюдается клеевой слой, отделяющий стеклопластик гофрового элемента от обшивки. На образцах, полученных методом VaRTM, гофровый элемент и обшивка составляют единый монолитный материал с минимальным содержанием пор.



а) б)

Рисунок 4 – Контактная зона конструктивных элементов плоскостной интегральной конструкции, полученная
а) методом контактного формования; б) вакуумной –инфузии

Результаты испытаний сэндвич-панелей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний сэндвич-панелей

Образец	Предел прочности, МПа	Длительность изготовления, ч
1	4939	20–25
2	5584	4–6

На рисунке 5 представлено место разрушения сэндвич-панелей.

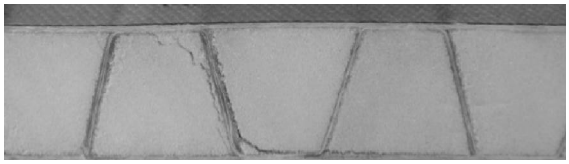


Рисунок 5 – Образец сэндвич-панели после испытания на трехточечный изгиб

В обоих случаях разрушение происходит практически по месту клеевого соединения пенопласта и стеклопластика с последующим отрывом пенопластового вкладыша от ламината. Более плотная упаковка армирующего материала в стеклопластике, полученном методом VaRTM, способствует увеличению его прочности и более равномерному распределению нагрузки на хрупкую полимерную матрицу, что также подтверждается результатами в работах [12, 13] При этом крупные неармированные области матрицы между нитями и слоями стеклоткани в материале, полученном контактным формованием, являются более подверженными разрушению участками.

В процессе исследований велся учет затраченного рабочего времени на изготовление образца сэндвич-панели длиной 2 м и шириной 1 м. В случае контактного формования значительная часть времени занимает вспомогательные операции подготовки заготовок к формованию и поочередному приформовыванию обшивок панели. При использовании VaRTM подготовильные операции осуществляются однократно и несмотря на то, что в этом случае наиболе трудозатратной операцией является выкладка и герметизация вакуумного мешка, данный метод в 5 раз более эффективный. Также несомненным достоинством метода вакуумной-инфузии состоит в том, что рабочий персонал не контактирует со связующим в процессе изготавления композита, а только в момент его изготовления.

ВЫВОДЫ

Таким образом, полученные результаты свидетельствует о перспективности изготовления сэндвич-панелей за один технологический переход с использованием методов закрытого формования (VaRTM). Особенно эффективна данная методика является для крупногабаритных изделий ввиду длительности изготовления таких конструкций.

При изготовлении сложносоставных конструкций из полимерных композиционных материалов для соединения отдельных частей часто применяют склейку дополнительными несущими слоями внахлест, скрепление металлическими пластинами с болтовыми соединениями. При этом данные операции приводят к увеличению веса, снижению радиопрозрачности и прочности конструкции в целом.

Использование метода VaRTM позволяет изготавливать крупногабаритные конструкции за один технологический переход непосредственно в размер. При этом обеспечивается целостность и монолитность всех элементов конструкции с одновременным существенным увеличением ее физико-механических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Penumadu, D. Durability of US Naval Composites and Sandwich Structures: Science Framework Considering Multiscale Response in Harsh Sea Environment // Solid Mech. its Appl. – 2018. – № 245. – С. 59–74.

2. Ageing of sandwich composites with E-glass fibre/vinylester skins and PVC foam core in synergistic environmental agents / A. Ding, J. Wang, A. Ni, S. Li // Compos. Struct. – 2018. – № 202. – С. 253–260.

3. Блинов, А. В. Применение в судостроении трехслойных конструкций с гофрированным средним слоем / А. В. Блинов, В. А. Булкин, О. Г. Ефимова, Н. Н. Федонюк // Морской вестник. – 2012. – № 2. – № 42. – С. 79–82.

4. Birman, V. Review of current trends in research and applications of sandwich structures / V. Birman, G. A. Kardomateas // Compos. Part B. – 2018. – № 142. – С. 221–240.

5. Mechanical performance of marine sandwich composites subjected to flatwise compression and flexural loading: Effect of resin pins / F. Balıkoğlu, T. K. Demircioğlu, M. Yıldız [et al.] // J. Sandw. Struct. Mater. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 2030–2048.

6. Sevkat, E. The bearing strength of pin loaded woven composites manufactured by vacuum assisted resin transfer moulding and hand lay-up techniques / Sevkat E., Brahimi M., Berri S. // Polym. Polym. Compos. - 2012. - №20, № 3. - С. 321–332.

7. Zhang, F. Experimental Study on Composite Sandwich Beams with Longitudinal GFRP Webs / F. Zhang, W. Liu, F. Zhang // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2018. – Т. 394. – № 3. – С. 032104.

8. Апполонов, Е. М. Полимерные композиционные материалы. Инновации в промышленности / Е. М. Апполонов, Н. Н. Федонюк, В. М. Шапошников // Инновации. – 2013. – № 11 (181). – С. 18–20.

9. Булкин, В. А. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении / В. А. Булкин, Н. Н. Федонюк, А. В. Шляхтенко // Морской вестник. – 2013. – № 1. – С. 7–8.

10.Characterization of compressive behavior of PVC foam infilled composite sandwich panels with different corrugated core shapes / S. A. Taghizadeh, A. Farrokhabadi, Gh. Liaghat [et al.] // Thin-Walled Struct. – 2019. – Т. 135. – С. 160–172.

11.Manufacturing and characterization of polyurethane based sandwich composite structures / M. Mohamed, S. Anandan, Z. Huo [et al.] // Compos. Struct. Elsevier Ltd, 2015. – № 123. – С. 169–179.

12.Protsenko, A. E. Investigation of the Influence of Heat Treatment on the Strength of FGRP Used in Sandwich Constructions / A. E. Protsenko, D. P. Maly-

sheva, V. V. Petrov // Key Eng. Mater. – 2018. – № 773. – С. 72–76.

13.Protsenko, A. E. Investigation of the Influence of Heat Treatment on the Strength of Sandwich Structures / A. E. Protsenko, D. P. Malysheva, V. V. Petrov // Mater. Sci. Forum. – 2018. – № 926. – С. 51–56.

14.Friedman, H. L. Kinetics of thermal degradation of char-forming plastics from thermogravimetry. Application to a phenolic plastic // J. Polym. Sci. Part C Polym. Symp. – 1964. – Т. 6. – № 1. – С. 183–195.

***Проценко Александр Евгеньевич**, к.т.н., доцент кафедры «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «Комсольский-на-Амуре государственный университет», 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ауд. 419, тел. 89147787163. E-mail: protsenko.ae @yandex.ru.*

***Малышева Дарья Павловна**, аспирант кафедры «Авиастроение» ФГБОУ ВО «Комсольский-на-Амуре государственный университет», 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27/3, ауд. 220, тел. 89144169497. E-mail: daryareshet@mail.ru.*

***Петров Виктор Викторович**, д.т.н., профессор кафедры «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВО «Комсольский-на-Амуре государственный университет», 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ауд. 415-а, тел. 89842917675. E-mail: petrovpng@mail.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.024
УДК 538.97

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ СМЕСИ Ti + Al, ОБЛУЧЕННОЙ ГАММА-КВАНТАМИ С МАЛОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ

А. А. Ситников, М. В. Логинова, А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, А. Ю. Мясников, М. Р. Сыровежкин

Для реализации «тонкого» управления структурой в механоактивированных порошковых материалах перед проведением высокотемпературного синтеза используется γ-облучение. Проведены экспериментальные исследования по влиянию воздействия γ-квантов с малой мощностью дозы на фазовое состояние механоактивированных порошковых смесей Ti + Al. Выявлены особенности реализации последующего высокотемпературного синтеза в такой системе с разными временами экзотермической выдержки (после окончания непосредственно химической реакции между компонентами). Также изучено воздействие гамма-облучения на фазовое состояние синтезированных продуктов. Механоактивированная смесь соответствовала стехиометрическому составу Ti(64 мас.%) + Al(36 мас.%). Мощность дозы γ-облучения составляла 0,1 Гр/с. Уровень воздействия γ-квантов характеризовался поглощенными дозами $D\gamma = 1 \cdot 10^3$ Гр и $D\gamma = 2 \cdot 10^4$ Гр. Экспериментально установлено, что облучение с малой мощностью (0,1 Гр/с) не приводит к формированию монофазного TiAl при реализации высокотемпературного синтеза в режиме теплового взрыва. Продукты синтеза содержат интерметаллидные соединения: TiAl, $TiAl_3$, Ti_3Al, а также остаточный Ti.

Ключевые слова: порошковая смесь, механоактивация, γ-облучение, высокотемпературный синтез, рентгеновская дифрактометрия, фазообразование.

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия активно развивающимся направлением создания новых перспективных материалов является метод высокотемпературного синтеза, с использованием предварительной механической активации порошковой смеси [1]. Данный способ позволяет проводить синтез в твердофазном режиме при низких температурах инициирования процесса. Сначала производится кратковременная механическая активация порошковой смеси с использованием энергонапряженных аппаратов [2]. Затем реализуется высокотемпературный синтез соединения. Разогрев смеси должен происходить достаточно быстро [3, 4] для того, чтобы дефекты, образовавшиеся при механоактивации, в процессе синтеза не успевали релаксировать. Достаточно высокие температурные градиенты и необходимый высокий темп разогрева активированной смеси может обеспечить синтез в режиме теплового взрыва в условиях динамического нагрева [5], что может способствовать формированию монофазного продукта [6]. Также управление фазовым составом может обеспечить время выдержки системы после реализации процессов первичного структурообразования (высокотемпературный отжиг). Однако совмещением механоактивации и синтеза не всегда можно получить искомые соединения без наличия в продукте дополнительных фаз. Для реализации более «тонкого» управления структурой в механоактивированных порошковых материалах перед проведением высокотемпературного синтеза используется γ-облучение. Выявлено, что после радиационного воздействия на материалы определенными мощностью и дозами формируется особое состояние вещества [7–10], меняются параметры ячеек компонентов, происходят изменения структуры и свойств, приводящие к изменению термических параметров синтеза и процессов структуро- и фазообразования в системе. Так, в работах [11, 12] установлено, что при воздействии γ-облучения с мощностью дозы 1 Гр/с на механически активированную (время механоактивации 7 мин). При энергонапряженности (40 g) порошковую смесь, с последующим проведением процесса высокотемпературного синтеза, в результате реакции формируется строго монофазный продукт состава TiAl. При этом рост времени отжига способствует стабилизации соединения. В связи с этим особый интерес вызывает воздействие на механоактивированную шихту Ti + Al γ-облучением с меньшей мощностью с целью получения монофазного соединения TiAl.

Таким образом, целью настоящей работы является исследование влияния γ-облучения с малой мощностью дозы активированной порошковой смеси состава Ti + Al на конеч-

ный продукт при реализации высокотемпературного синтеза.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

В качестве объектов исследований использовалась механоактивированная порошковая смесь состава Ti (64 мас. %) + Al (36 мас. %). Механоактивацию проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в аргоновой атмосфере, время 7 мин., центростремительное ускорение 40 g, методика проведения описана в [13, 14].

Облучение экспериментальных образцов γ-квантами проводилось на уникальной научной станции «Стенд ЭЛВ-6» (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск). Мощность дозы γ-облучения составляла 0,1 Гр/с. Уровень воздействия γ-квантов характеризовался поглощенными дозами Dγ, которые составляли: $1 \cdot 10^3$ Гр и $2 \cdot 10^4$ Гр.

Высокотемпературный синтез в режиме теплового взрыва механоактивированных и γ-облученных смесей осуществлялся на базе СВЧ индукционного нагревателя, позволяющего генерировать электромагнитную энергию в широком диапазоне мощности. Подробная методика представлена в работах [15, 16].

Фазовый анализ образцов проводился на дифрактометре рентгеновском общего назначения ДРОН-6, CuKα-излучение (λ = 1,5418 А). Дифрактограммы всех образцов регистрировались в идентичных условиях, что позволило более корректно сравнивать полученные величины. Шаг сканирования h = 0,05º, время экспозиции t = 3 с. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью пакета программ PDWin.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рисунке 1 приведены дифрактограммы смеси, механоактивированной в течение 7 мин. при энергонапряженности 40 g и последующего γ-облучения с мощностью 0,1 Гр/с с поглощенными дозами Dγ: $1 \cdot 10^3$; $2 \cdot 10^4$ Гр.

Из анализа дифрактограмм следует, что после воздействия γ-облучения увеличивается интенсивность дифракционных отражений обоих компонентов, уменьшается уровень диффузного фона (минимальный при Dγ = $1 \cdot 10^3$ Гр).

После воздействия γ-облучения наблюдается увеличение значений интенсивности дифракционных отражений обоих компонентов с повышением поглощенной дозы. Уровень диффузного фона минимален при малой дозе поглощения Dγ = $1 \cdot 10^3$ Гр. Исходя из этого, косвенно можно предположить, что воздействие γ-облучения с малой мощностью и малыми дозами способно незначительно повышать кристалличность структуры компонентов смеси и стабилизировать неравновесную систему.

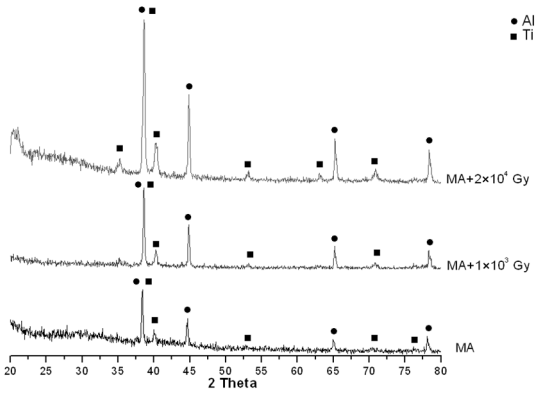


Рисунок 1 – Дифрактограммы порошковых смесей состава Ti (64 мас. %) + Al (36 мас. %) после механоактивации и γ-облучения

Далее были проведены исследования по реализации высокотемпературного синтеза в механоактивированной и γ-облученной шихте Ti + Al.

Проведя анализ экспериментальных данных, полученных в процессе синтеза порошковых смесей, облученных с разными дозами, качественного различия между термограммами синтеза не обнаружено.

На рисунке 2 представлена характерная термограмма теплового взрыва в механоактивированной порошковой смеси Ti + Al при Dγ = $2 \cdot 10^4$ Гр.

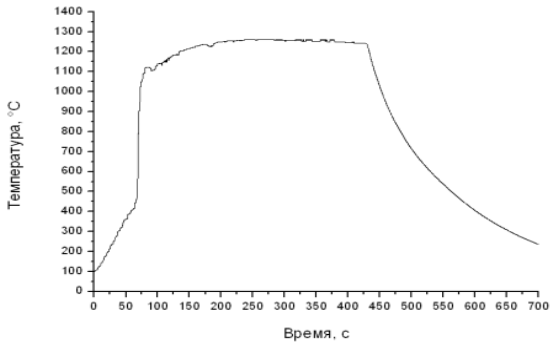


Рисунок 2 – Характерная термограмма теплового взрыва в механоактивированной и облученной порошковой смеси Ti + Al, Dγ = $2 \cdot 10^4$ Гр

Из анализа термограммы следует, что температура воспламенения механоактивированной и облученной смеси ниже темпера-

туры плавления легкоплавкого компонента и составляет Tig = 430 ± 10 ºС. Максимальная температура синтеза Tmax = 1100 ± 20 ºС. Таким образом, инициирование теплового взрыва происходит в твердой фазе, за счет высокой скорости нагрева около 500 К/мин.

Для определения влияния изменения времени изотермического отжига на фазовый состав смеси нагрев смеси продолжался после достижения максимальных температур для непрерывного перехода быстропротекающего синтеза в изотермический отжиг.

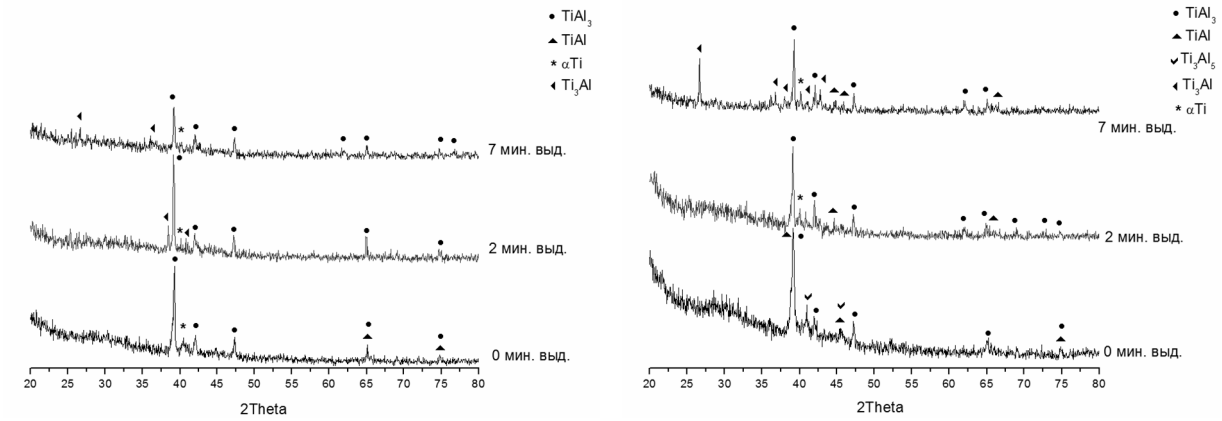


Рисунок 3 – Дифрактограммы продуктов при реализации СВС с разным временем изотермического отжига в порошковой смеси Ti + Al, подверженной механоактивации и γ-облучению с дозами: *а) Dγ = $1 \cdot 10^3$ Гр, б) Dγ = $2 \cdot 10^4$ Гр*

На рисунке 3 приведены дифрактограммы синтезированных продуктов из механоактивированных и облученных на разных дозах смесей при отключении системы сразу после завершения химической реакции (время отжига τ = 0 мин.), а также при времени изотермического отжига τ = 2 мин. и τ = 7 мин.

Анализируя дифракторграммы продукта синтеза без отжига (τ = 0 мин.), установлено, что после облучения смеси с Dγ = $2 \cdot 10^4$ Гр количество отражений TiAl в продукте увеличилось, по сравнению с дозой Dγ = $1 \cdot 10^3$ Гр. Однако результатом синтеза в обоих случаях является многофазный продукт с доминирующей фазой $TiAl_3$.

После отжига 2 мин. и 7 мин. при синтезе в активированных и облученных смесях Ti + Al в обоих случаях результатом является многофазный продукт. Продукты синтеза содержат интерметаллидные соединения: TiAl, $TiAl_3$, Ti_3Al, а также остаточный Ti. При этом на дифрактограммах наблюдается высокий диффузный фон и рентгеноаморфное гало, свидетельствующие о формировании неравновесного состояния фаз интерметаллидов.

ВЫВОДЫ

При изучении воздействия γ-облучения на механически активированную смесь Ti + Al с последующим проведением процесса высокотемпературного синтеза с варьированием временем выдержки системы установлено, что облучение с низкой мощностью (0,1 Гр/с) не приводит к формированию стабильной γ-фазы TiAl, продукт синтеза многофазный, включающий основные соединения TiAl, $TiAl_3$, Ti_3Al.

Работа проводилась в рамках государственного Задания (FZMM-2020-0002) и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамические режимы теплового взрыва. III Температурное поле при нагреве и вопросы перехода от воспламенения к зажиганию / А. Г. Струнина, В. Т. Гонтковская, А. Г. Мержанов // Физика горения и взрыва. – 1965. – № 3. – С. 36–40.

2. Тепловой взрыв при линейном нагреве / В. В. Барзыкин // Физика горения и взрыва. – 1973. – № 1. – С. 37–54.

3. A novel technique for producing NiTi shape memory alloying using the thermal explosion mode of combustion synthesis / H. C. Yi, J. J. Moore // Scripta Metallurgica et Materialia. – 1988. – V. 22. – P. 1889–1892.

4. Methodological principles in studying chemical reaction kinetics under conditions of programmed heating / A. G. Merzhanov, V. V. Barzykin, A. S. Shteinberg, V. T. Gontkovskaya // Thermochimica Acta. – 1977. – № 21. – P. 301–332.

5. Effect of heating rate on the combustion synthesis of Ti-Al intermetallic compounds / H. C. Yi, A. Petric, J. J. Moore // Journal of Material Science. – 1992. – V. 27. – P. 6797–6806.

6. One-step synthesis and densification of nanostructured $TiSi_2$–SiC composite from mechanically

activated (TiC + 3Si) powders by high-frequency-induced heated combustion / I. Shon, H. K. Park, H. C. Kim, J. K. Yoon, K. T. Hong, I. Y. Koa // Scripta Materialia. – 2007. – V. 56. – P. 665–668.

7. Diffuse X-ray scattering measurements of point defects and clusters in iron / R. E. Stoller, F. J. Walker, E. D. Specht, D. M. Nicholson, R. I. Barabash, P. Zschack, G. E. Ice // Journal of Nuclear Materials. – 2007. – V. 367–370. – P. 269–275.

8. Positron generation through laser compton scattering gamma ray / D. Li, K. Imasaki, S. Miyamoto, K. Horikawa, S. Amano, T. Mochizuki // Applied Physics Letters. – 2009. – V. 94. – Iss. 9. – P. 091112.

9. Modification of surface functionality and interlayer spacing of multi-walled carbon nanotubes using γ-rays / Zhiwei Xu, Chunying Min, Lei Chen, Liangsen Liu, Guangwei Chen, Ning Wu // Journal of Applied Physics. – 2011. – V. 109. – Iss. 5. – P. 054303.

10. The Evolution of Structural and Phase States of Titanium Aluminides after γ Irradiation in Small Doses / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, S. G. Ivanov, A. Z. Negodyaev, A. V. Gradoboev // Physics of Metals and Metallography. – 2017. – Vol. 118. – № 2. – P. 170–175.

11. Synchrotron in situ studies of mechanical activation treatment and γ-radiation impact on structural-phase transitions and high-temperature synthesis parameters during the formation of γ-(TiAl) compound / M. Loginova, A. Sobachkin, A. Sitnikov, V. Yakovlev, V. Filimonov, A. Myasnikov, M. Sharafutdinov, B. Tolochko, A. Gradoboev // Journal of Synchrotron Radiation. – 2019. – Vol. 26. – Iss. 5. – P. 1671–1678.

12. Dynamics of structure formation processes in mechanically activated powder mixture Ti + Al under conditions of continuous heating. High temperature stage / V. Yu Filimonov, M. V. Loginova, S. G. Ivanov, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, A. V. Sobachkin, A. Z. Negodyaev, A. Yu. Myasnikov, B. P. Tolochko, M. R. Sharafutdinov // Materials Chemistry and Physics. – 2020. – Vol. 243. – P. 122611.

13. Структурное состояние порошковой смеси Ti–Al при различных режимах механоактивационной обработки / М. В. Логинова, А. В. Собачкин, С. Г. Иванов, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, В. Ю. Филимонов, А. Ю. Мясников, А. З. Негодяев // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2019. – № 2. – С. 4–14.

14. Формирование структурных состояний в механоактивированных порошковых смесях Ti + Al, подвергнутых гамма-облучению / М. В. Логинова, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, А. А. Ситников, А. В. Собачкин, С. Г. Иванов, А. В. Градобоев // Письма о материалах. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 129–134.

15. Особенности структурно-фазовых переходов в механоактивированной порошковой смеси 3TI + AL при высокотемпературном синтезе в условиях нагрева высокочастотными электромагнитными полями / В. Ю. Филимонов, А. А. Ситников, М. В. Логинова, А. З. Негодяев, В. И. Яковлев, Д. В. Шрейфер // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – Т. 12. – № 1. – С. 16–25.

16. Stimulation of processes of self-propagating high temperature synthesis in system Ti + Al at low temperatures by influence of γ-quanta / A. V. Sobachkin, M. V. Loginova, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, V. Yu. Filimonov, A. V. Gradoboev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 032051.

Ситников Александр Андреевич *– директор ПВКПИиР, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Логинова Марина Владимировна *– с.н.с. ПНИЛСВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Собачкин Алексей Викторович *– с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Яковлев Владимир Иванович *– доцент кафедры НТТС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Филимонов Валерий Юрьевич *– профессор кафедры физики, д.ф.-м.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Мясников Андрей Юрьевич *– зав. лабораторией, ПНИЛСВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Сыровежкин Михаил Романович *– аспирант ПНИЛСВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.025
УДК 621.793.6

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ БОРИРОВАНИИ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА ЧХ28

В. И. Мосоров, У. Л. Мишигдоржийн, Б. Д. Лыгденов, О. З. Галаа, Баяраа Жавхалан

В работе представлены результаты исследования механизма формирования диффузионного слоя при борировании износостойкого чугуна. Металлографический анализ микроструктуры показал, что на поверхности сформировался диффузионный боридный слой толщиной 45–50 мкм. Слой имеет характерное для боридов игольчатое строение, достаточно компактное, без разветвлений концов боридных игл. На небольшую толщину слоя влияет высокое содержание хрома (25–30 %) в чугуне, который препятствует диффузионным процессам. Необходимо отметить отсутствие графитной прослойки, образование которой характерно для химико-термической обработки чугунов. Дюрометрические исследования показали, что максимальная микротвердость составляет 21000 МПа, с постепенным снижением до значений 9500–9700 МПа в сердцевине. Отсутствие резкого перепада значений микротвердости до сердцевины чугуна указывает на наличие переходной зоны после боридного слоя. Переходная зона основного материала имеет преимущественно перлитно-цементитную структуру. Известно, что легирующие элементы препятствуют диффузионному процессу с точки зрения формирования слоев большой толщины. Но влияние хрома (Cr) на фазовый состав однозначно имеет положительный эффект. Хром уменьшает долю высокобористой фазы FeB в диффузионном слое, повышая пластичность боридного покрытия и коэффициент трения диффузионного слоя, увеличивая ресурс эксплуатации упрочненных изделий.

Ключевые слова: борирование, износостойкий чугун, микроструктура, микротвердость, карбид бора.

ВВЕДЕНИЕ

Железоуглеродистые сплавы нашли широкое применение в современном машиностроительном производстве. Детали машин и инструмент подвергаются при эксплуатации разным видам износа. В процессе эксплуатации наиболее интенсивно подвергаются температурно-силовым воздействиям поверхностные слои деталей машин и инструмента, поэтому структура и свойства поверхностных слоев оказывает важное влияние на их работоспособность.

Коррозионностойкие высокохромистые чугуны обладают высокой стойкостью к коррозии в условиях агрессивных сред, а также высокой износостойкостью. Поэтому их используют для производства деталей, работающих в агрессивных средах в сочетании с износом различного характера. Так как данные чугуны относятся к высоколегированным, содержащим большое количество легирующих элементов, основным из которых является хром, то они также относятся к дорогостоящим материалам [1–4].

Хромистые износостойкие чугуны являются перспективным конструкционным материалом, обладающим высокими антикоррозионными и износостойкими свойствами, позволяющими работать в условиях интенсивного гидроабразивного износа [5]. В настоящей работе приведены исследования механизма формирования диффузионного слоя при борировании износостойкого чугуна в порошковой смеси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на образцах из хромистого чугуна ЧХ28. Химический состав чугуна приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав хромистого чугуна ЧХ28 по ГОСТ 7769-82

C	Si	Mn	S	P	Cr
0,5–1,6	0,5–1,5	до 1,0	до 0,08	до 0,1	25,0–30,0

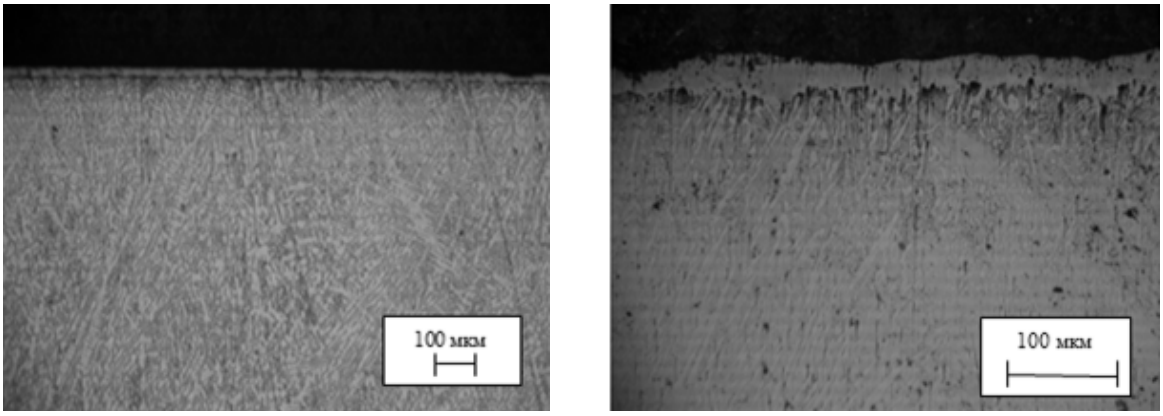
Борирование проводили в порошковой смеси на основе карбида бора (B_4C) и в качестве активатора применяли тетрафторборат калия (KBF_4). Температура нагрева и выдержки – 950 ºС в течение 3 ч.

Металлографический анализ проводили на оптическом металлографическом микроскопе «Neophot-21». Измерение микротвердости проводили вдавливанием алмазных наконечников ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78)

на микротвердомере «ПМТ-3». Элементный состав исследовали на растровом электронном микроскопе JEOL-JSM-6510LV с микроанализатором «INCA Energy 350, OxfordInstruments» в Центре коллективного пользования «Прогресс» ФГБОУ ВО ВСГУТУ. Фазовый состав диффузионного слоя определяли на рентгеновском дифрактометре «Bruker D8» в медном излучении с интервалом съемки 15…95 º.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Металлографический анализ микроструктуры показал, что на поверхности сформировался диффузионный боридный слой толщиной 45–50 мкм. Слой имеет характерное, для боридов, игольчатое строение, достаточно компактное, без разветвлений концов боридных игл (рисунок 1). На небольшую толщину слоя влияет высокое содержание хрома (25–30 %) в чугуне, который препятствует диффузионным процессам.



а) б)

Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя на чугуне ЧХ28; температура насыщения – 950 ºС; время выдержки – 3 часа

Необходимо отметить отсутствие графитной прослойки, образование которой характерно для химико-термической обработки чугунов [6–12].

Дюрометрические исследования показали, что максимальная микротвердость составляет 21000 МПа, с постепенным снижением до значений 9500–9700 МПа, в сердцевине (рисунок 2). Отсутствие резкого перепада значений микротвердости до сердцевины чугуна указывает на наличие переходной зоны после боридного слоя. Переходная зона основного материала имеет преимущественно перлитно-цементитную структуру.

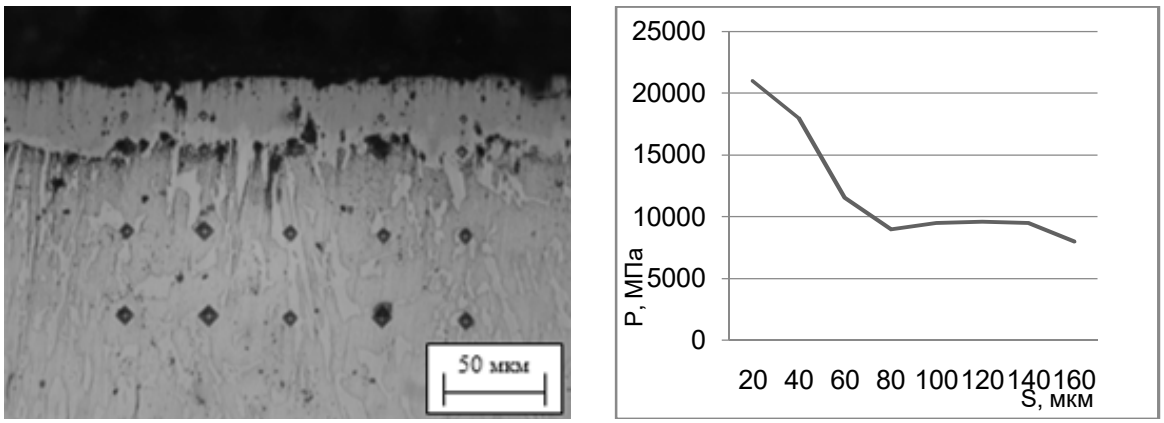


Рисунок 2 – Микроструктура износостойкого чугуна после борирования с отпечатками алмазного индентора и график изменения микротвердости в зависимости от расстояния до поверхности образца

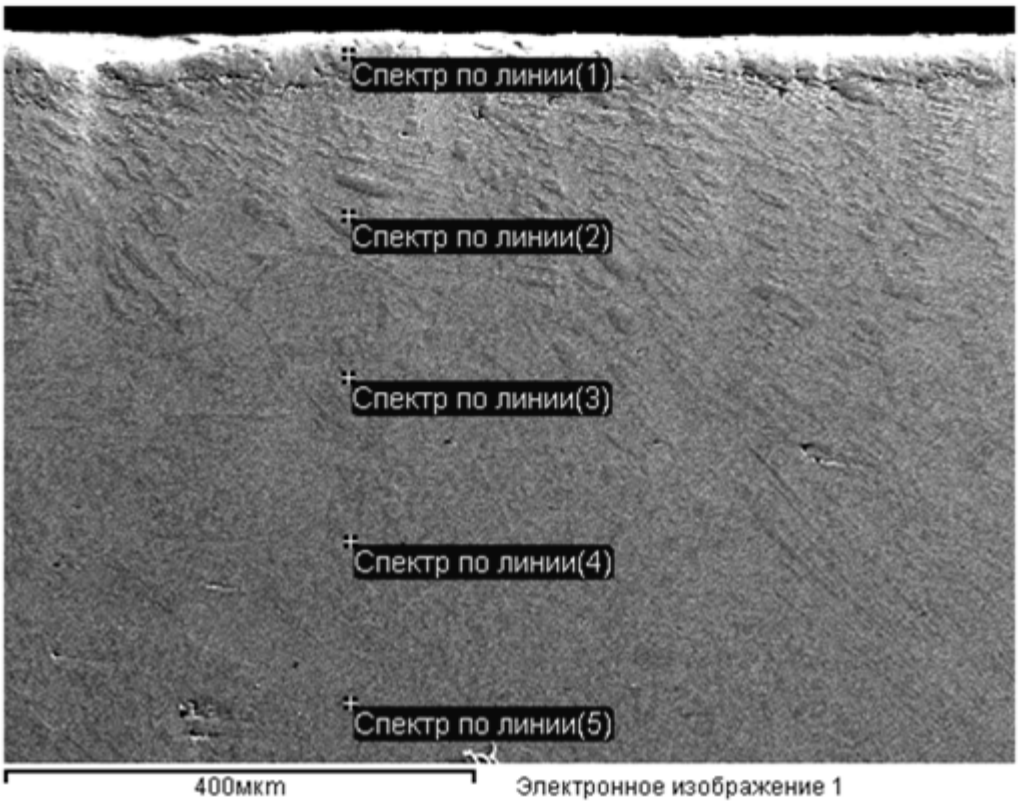


Рисунок 3 – Участок поверхности чугуна с точками набора спектров, полученные на растровом электронном микроскопе

Таблица 2 – Элементный состав борированного слоя на чугуне ЧХ28 (все результаты в весовых %)

Спектр	B	C	Si	Cr	Fe	Итог
Спектр по линии (1)	42,90	–	0,07	14,37	42,66	100,0
Спектр по линии (2)	–	12,76	1,31	17,04	68,89	100,0
Спектр по линии (3)	–	18,63	1,02	29,09	51,26	100,0
Спектр по линии (4)	–	13,55	1,75	20,52	64,19	100,0
Спектр по линии (5)	–	16,15	1,61	23,68	58,55	100,0

Рентгеноспектральный анализ показал (рисунок 3, таблица 2), что элементный состав по линиям спектра вполне соответствуют общепринятому восприятию диффузионных процессов в железоуглеродистых сплавах с легирующими элементами.

Учитывая химический состав чугуна, следует обратить внимание на возможность образования, помимо FeB и Fe_2B, боридов хрома (CrB), различных карбоборидов $Fe_3(C,B)$; $Fe_{23}(C,B)$. Формирование переходной зоны – это результат диффузии бора и вытеснения углерода с поверхности чугуна, соответственно, по мере удаления от поверхности фазовый состав переходной зоны изменяется. Распределение вновь образующихся карбоборидов в структуре материала неоднородно (относится ко всем железоуглеродистым сплавам). Также немаловажное значение в формировании диффузионного слоя играет высокое содержание хрома в составе чугуна. Хром взаимодействует с углеродом (CrC), с бором (CrB) и образует сложный карборборид (Cr_7BC_4) (рисунок 4).

Соотношение бора и углерода в образующихся карбоборидах контролируется не только скоростью подвода этих элементов к локальному месту фазообразования. Важную роль играют здесь также другой фактор. Это зависимость максимальной энергии образования карбоборидов от соотношения $C_в/C_с$ (где $C_в$ и $C_с$ – концентрация атомов бора и углерода), поскольку энергия взаимодействия атомов железа с атомами бора значительно выше, чем атомов железа с атомами углерода [13–17].

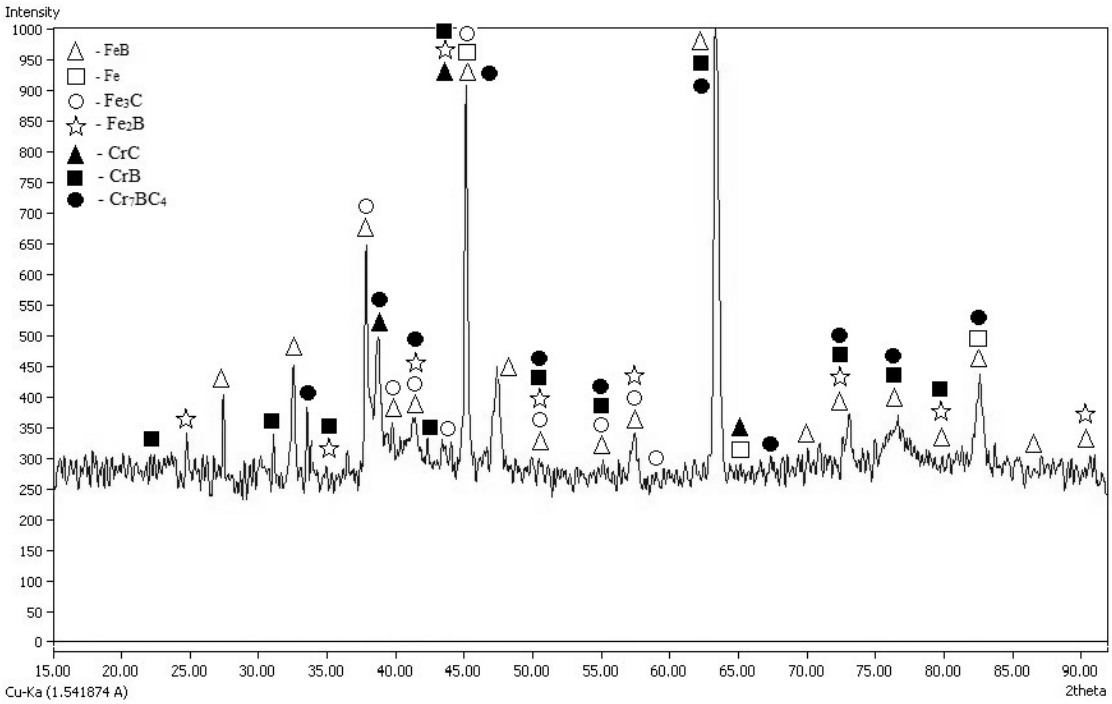


Рисунок 4 – Градуированная характеристика спектров и концентрация фаз

Известно, что легирующие элементы препятствуют диффузионному процессу с точки зрения формирования слоев большой толщины. Но, влияние хрома (Cr) на фазовый состав однозначно имеет положительный эффект. Хром уменьшает долю высокобористой фазы FeB в диффузионном слое, повышая пластичность боридного покрытия и коэффициент трения диффузионного слоя, увеличивая ресурс эксплуатации упрочненных изделий [18–21]. Согласно данным дюрометрических исследований, диффузионное борирование чугуна, работающего в условиях гидроабразивного износа, показало, что износостойкость поверхности качественно повышается (вывод основан на результатах многолетних исследований авторов). Для количественного анализа необходимы производственные испытания.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0336-2014-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов // Л. Г. Ворошнин. – Минск : Машиностроение, 1981. – 205 с.

2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Под ред. Л. С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.

3. Sinha, A. K. ASM Handbook – Heat Treating. ASM International, 1991. – Vol. 4. – P. 437–446.

4. Гурьев, А. М. Химико-термическая обработка литой стали / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Д. М. Махаров, В. И. Мосоров // Ползуновский вестник. – 2005. – № 2 – С. 113–115.

5. Трухин, В. В. Исследование зависмости обрабатываемости от твердости и микротвердости износостойкости чугунов / В. В. Трухин, Л. П. Короткова // Вестник КСТУ. – 2003. – № 2. – С. 42–44.

6. Azouani, O. Characterization of boride coatings on a ductile cast iron / O. Azouani, M. Keddam, O. Allaoui, A. Sehisseh // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2017. – 53. – P. 306–311. – https://doi.org/10.1134/S207020511702006X.

7. Мосоров, В. И. Упрочнение поверхности литой стали комплексным диффузионным насыщением бором и хромом / В. И. Мосоров, А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Д. С. Фильчаков // Обработка металлов. – 2011. – № 5 – С. 33–36.

8. Гурьев, А. М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова, Э. В. Козлов. – Барнаул, 2008. – 250 с.

9. Лыгденов, Б. Д. Перспективные диффузионные покрытия / Б. Д. Лыгденов, А. М. Гурьев, В. И. Мосоров, В. А. Бутуханов // Raleigh, North Carolina. – 2015. – 131 с.

10.Гурьев, А. М. Борирование малоуглеродистой стали / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, М. А. Гурьев, М. Шунчи, О. А. Власова // Raleigh. – 2015. – 141 с.

11.Иванов, С. Г. Исследование микроструктуры диффузионных покрытий на чугуне ЧМН-35М, полученных химико-термической обработкой / С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, А. М. Марков, М. А. Гурьев, А. В. Габец, Д. А. Габец // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – Т. 13. – № 4. – С. 497–500.

12.Гурьев, А. М. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической

обработке инструментальных сталей / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, Е. В. Черных // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2005. – Т. 2. – № 3. – С. 37–45.

13.Гармаева, И. А. Сравнительное исследование насыщающей способности борирующих сред различного состава / И. А. Гармаева, А. М. Гурьев, Т. Г. Иванова, М. А. Гурьев, С. Г. Иванов // Письма о материалах. – 2016. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 262–265.

14.Способ изготовления и упрочнения деталей из чугунов и сталей / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, С. А. Земляков, А. Д. Грешилов, А. Г. Иванов. – Патент на изобретение RU2440869C1, 27.01.2012. – Заявка № 2010145915/02 от 10.11.2010.

15.Иванов, С. Г. Диффузионные покрытия на сером чугуне, полученные борированием и комплексным насыщением бором, хромом и титаном ; в сборнике : Проблемы механики современных машин / С. Г. Иванов, Т. Г. Иванова, М. А. Гурьев, С. Ч. Хэ, Лянь Ц. Ян // Материалы VII Международной научной конференции. – 2018. – С. 302–307.

16.Гурьев, М. А. Износостойкий высокохромистый чугун, легированный медью / М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, С. А. Земляков, А. М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2019. – № 3. – С. 136–138.

17.Гурьев, М. А. Структура и свойства многокомпонентных диффузионных покрытий на сером чугуне СЧ 25 / М. А. Гурьев, А. И. Аугсткалн, А. М. Гурьев, С. Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 26–31.

18.Гурьев, М. А. Разработка состава смеси для поверхностного легирования отливок из серых чугунов / М. А. Гурьев, А. И. Аугсткалн, А. М. Гурьев, С. Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2020. – Т. 17. – № 3. – С. 368–372.

19.Интенсификация процессов формирования структуры диффузионного слоя при химико-термической обработке сталей / Б. Д. Лыгденов дис… на соискание ученой степени доктора технических наук / ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет». – Барнаул, 2009. – 355 с.

20.Гурьев, А. М. Диффузионное борирование – перспективное направление в поверхностном упрочнении изделий из стали и сплавов / А. М. Гурьев, А. Д. Грешилов, Б. Д. Лыгденов // Ползуновский альманах. – 2010. – № 1. – С. 80–88.

21.Гурьев, М. А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / М. А. Гурьев, Е. А. Кошелева, А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, О. Галаа. – Изд-во АлтГТУ, 2016. – 182с.

***Мосоров Владимир Иванович**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, e-mail: lygdenov59@mail.ru.*

***Мишигдоржийн Ундрах Лхагвасуренович**, к.т.н., с.н.с. Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, e-mail: lygdenov59@mail.ru.*

***Лыгденов Бурьял Дондокович**, д.т.н., профессор Уханьского Текстильного Университета, Китай, e-mail: lygdenov59 @mail.ru.*

***Галаа Омонцоо,** к.т.н., зав. кафедрой «Машиностроение» Монгольского государственного университета науки и технологии, г. Улан-Батор, Монголия, e-mail: lygdenov59@mail.ru.*

***Жавхалан Баяраа (Javkhalan Bajaraa),** преподаватель кафедры «Машиностроение» Монгольского государственного университета науки и технологии, г. Улан-Батор, Монголия, e-mail: lygdenov59 @mail.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.026
УДК 621.762.04

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ШИХТЫ Ti + Al ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СИНТЕЗЕ

М. В. Логинова, А. В. Собачкин, А. А. Ситников, В. Ю. Филимонов, В. И. Яковлев, А. Ю. Мясников, М. В. Погорельцев

Одним из перспективных методов получения алюминидов титанаявляется самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Важным фактором, от которого зависит структурофазообразование в системе Ti–Al, а также конечный фазовый состав синтезированного продукта, является соотношение исходных элементов. В этой связи в настоящей работе проведены экспериментальные исследования по выбору состава механоактивированной порошковой смеси Ti + Al для проведения дальнейших исследований по подробному анализу динамики структурно-фазовых превращений при проведении высокотемпературного синтеза γ-фазы (TiAl). В качестве объектов исследований выбраны порошки титана ПТХ и порошки алюминия АСД-1. Из указанных порошков приготавливали механическую смесь, варьируя соотношение Al и Ti по массовым процентам от 32 до 40 % Al. Затем смеси подвергали механической активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в полностью идентичных условиях: энергонапряженность мельницы 40 g, время активации 7 мин. На следующем этапе проводился высокотемпературный синтез в указанных составах и анализировались дифрактограммы продуктов синтеза. Установлено, что оптимальной является шихта состава Al(36 мас.%) + Ti, поскольку в этом случае синтезированный продукт наиболее близок к монофазному TiAl.

Ключевые слова: порошковая смесь, механоактивация, высокотемпературный синтез, фазовый состав, алюминиды титана.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение исследований и разработка порошковых материалов и сплавов на основе титана необходимы для авиационной, космической техники, автомобильной, энергетической промышленности. Многие страны, такие как Япония, США, Франция, Германия, Англия, с целью выхода на уровень опытно-промышленного применения проводят исследования по изучению их структурных особенностей и физико-химических свойств [1–3].

Одним из наиболее перспективных направлений в области разработки новых металлических материалов с высоким уровнем жаростойкости и термической стабильности является создание интерметаллидных сплавов системы Ti–Al. Соединения на основе алюминидов титана имеют такие преимущества, как жаропрочность, модуль упругости и сравнительно низкую плотность. Также, благодаря алюминию, обладают преимуществами по удельной прочности и по уровню рабочих температур над никелевыми сплавами и традиционными титановыми соответственно.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является одним из способов получения новых материалов с использованием процессов горения. Вопросам высокотемпературного синтеза алюминидов титана различной стехиометрии с использованием различных методов посвящено большое количество исследований [4–6].

Особенности процессов структурообразования и состав продуктов синтеза в бинарных порошковых смесях системы Ti–Al в значительной степени зависят от соотношения компонентов [7, 8]. Однако ситуация значительно усложняется в случае предварительной механоактивированной обработки исходных порошковых систем. Действительно, силовое воздействие на порошковую смесь приводит к формированию дефектов структуры компонентов [9], что, в свою очередь, может изменять границы растворимости компонентов в фазах продукта [10–12]. Эта проблема на сегодняшний день является малоизученной, и вопрос о возможности применения равновесных диаграмм к анализу процессов фазообразования для предварительно активированных бинарных смесей остается открытым.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Объектом исследования являлись порошки титана ПТХ со средним размером частиц 80 мкм и порошки алюминия АСД-1 со

средним размером 20 мкм. Как следует из структуры равновесной диаграммы системы Ti–Al (рисунок 1), промежуточная γ-фаза (TiAl) имеет широкую область гомогенности, которая расширяется с ростом температуры вплоть до 1370 ºС.

Перитектический распад фазы происходит при температуре 1450 ºС. Для выбора оптимального состава для последующего проведения высокотемпературного синтеза по получению γ-фазы (TiAl) предлагается использовать следующий критерий.

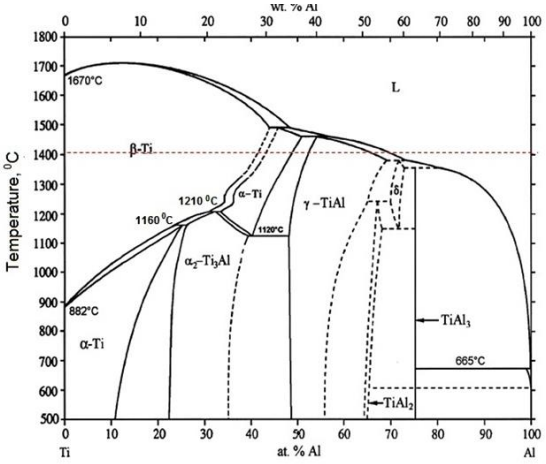


Рисунок 1 – Равновесная диаграмма состояния системы титан-алюминий

При температуре 500 ºС (рисунок 1) границы растворимости алюминия в фазе приблизительно определяются интервалом от 47 до 55 ат. %. При пересчете этого диапазона в массовые проценты были получены пять составов внутри интервала области гомогенности:

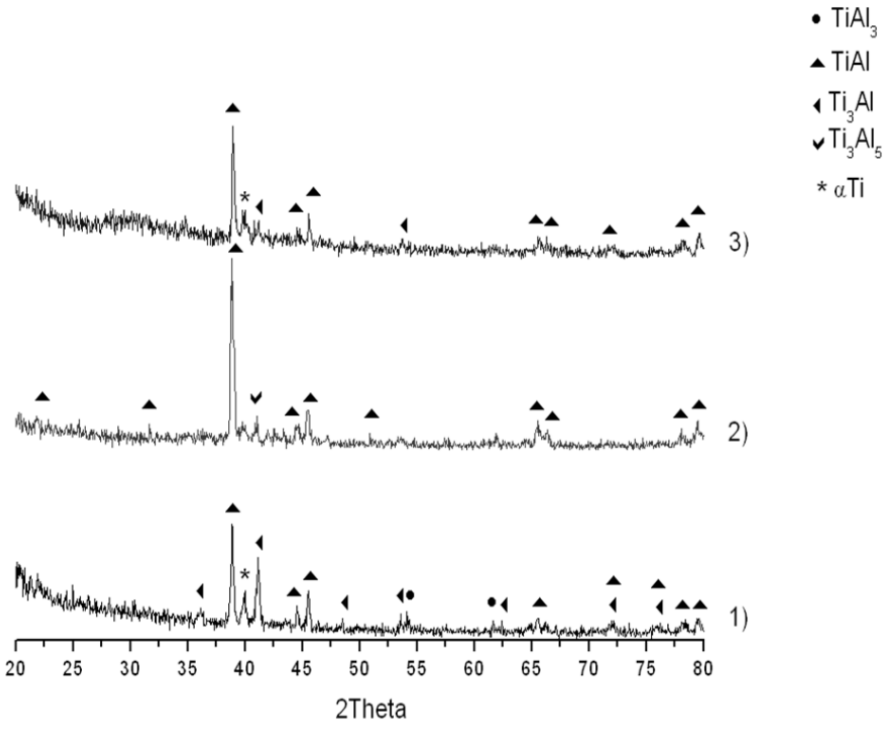
1) Al (32 мас. %) + Ti;
2) Al (34 мас. %) + Ti;
3) Al (36 мас. %) + Ti;
4) Al (38 мас. %) + Ti;
5) Al (40 мас. %) + Ti.

Эти смеси подвергали механической активации в полностью идентичных условиях: энергонапряженность мельницы 40 g, время активации 7 мин. [13–15]. Механическое измельчение проводилось в планетарной шаровой мельнице АГО-2.

На следующем этапе проводился высокотемпературный синтез в указанных составах и анализировались дифрактограммы продуктов синтеза.

Структурно-фазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-6, с CuK α-излучением (λ = 1,5418 Å). Обработку экспериментальных данных осуществляли с помощью пакета PDWin.

Из полученных дифрактограмм выбиралась наиболее близкая к монофазному составу продукта.



1) состав Al (32 мас. %) + Ti; 2) состав Al (36 мас. %) + Ti; 3) состав Al (40 мас. %) + Ti

Рисунок 2 – Дифрактограммы продуктов синтеза с разным составом исходной шихты

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рисунке 2 представлены наиболее характерные дифрактограммы синтезированных продуктов. Как следует из анализадифрактограмм, при составе исходной шихты Al (32 мас. %) + Ti результатом синтеза является многофазный продукт. При составе исходной шихты Al (40 мас. %) + Ti в продукте реакции преобладает TiAl, однако присутствуют отражения Ti_3Al и Ti. Причем, также, как и в предыдущем случае, система находится в неравновесном состоянии, с наличием рентгеноаморфного гало на малых углах. При составе Al (36 мас. %) + Ti основным продуктом является интерметаллид TiAl, хотя наблюдается присутствие незначительного количества метастабильной фазы Ti_3Al_5.

В таблице 1 приведены результаты дифракционного анализа фазового состава синтезированных продуктов в предварительно механоактивированных при 40 g порошковых смесях различного состава.

Из всех рассматриваемых составов механоактивированных порошковых смесей наиболее близким к монофазному является продукт, синтезированный из состава Al (36 мас. %) + Ti.

Таблица 1 – Фазовый состав синтезированных продуктов в порошковых смесях различного состава, предварительно механоактивированных в течение 7 минут при энергонапряженности мельницы 40 g

Идентифицированные фазы после синтеза составов				
Al (32 мас.%) + Ti	Al (34 мас.%) + Ti	Al (36 мас.%) + Ti	Al (38 мас.%) + Ti	Al (40 мас.%) + Ti
TiAl; Ti_3Al; Ti; $TiAl_3$	TiAl; $TiAl_3$; Ti_3Al	TiAl; Ti_3Al_5	TiAl; Ti_3Al; Ti	TiAl; Ti_3Al; Ti

ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что оптимальным составом из механоактивированной порошковой смеси является состав Al(36 мас.%) + Ti, который может в дальнейшем использоваться для подробного анализа эволюции структурно-фазовых переходов при высокотемпературном синтезе γ-фазы (TiAl).

Работа проводилась в рамках государственного задания (FZMM-2020-0002) и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов, А. В. Металлургия титана / А. В. Тарасов. – М. : Академкнига, 2003. – 328 с.

2. Lasalmonie, A. Intermetallics: Why is it so difficult to introduce them in gas turbine engines / A. Lasalmonie // Intermetallics. – 2006. – V. 14. – P. 1123–1129.

3. Ночовная, Н. А. Современные жаропрочные сплавы на основе гамма-алюминида титана: перспективы разработки и применения / Н. А. Ночовная, П. В. Панин, А. С. Кочетков, К. А. Боков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 7 (709). – С. 23–27.

4. Wang, T. Thermoanalytical and metallographical investigations on the synthesis of $TiAl_3$ from elementary powders / T. Wang, J. Zhang // Materials Chemistry and Physics. – 2006. – Vol. 99. – P. 20–25.

5. Che, H. Q. Microstructural evolution during the igntion/quenching of pre-heated Ti/3Al powders [Text] / H. Q. Che, Q. C. Fan // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Vol. 475. – P. 184–190.

6. Medda, E. Combination of mechanochemical activation and self-propagating behavior for the synthesis of Ti aluminides [Text] / E. Medda, F. Delogu, G. Cao // Materials Science and Engineering A. – 2003. – Vol. 361. – P. 23–28.

7. Jokisaari, J. R. Microwave activated combustion synthesis of titanium aluminides / J. R. Jokisaari, S. Bhaduri, S. B. Bhaduri // Materials Science and Engineering A. – 2005. – Vol. 394. – P. 385–392.

8. Shi, Q. Synthesis, microstructure and properties of Ti–Al porous intermetallic compounds prepared by a thermal explosion reaction / Q. Shi, B. Qin, P. Feng, H. Ran, B. Song, J. Wang, Y. Ge. The // Royal Society of Chemistry. – 2015. – Vol. 5. – P. 46339–46347.

9. Kumaran, S. Nanocrystalline and amorphous structure formation in Ti–Al system during high energy ball milling / S. Kumaran, T. Srinivasa Rao, R. Subramanian, P. Angelo // Powder Metallurgy. – 2005. – Vol. 48. – P. 354–357.

10. Ляхов, Н. З. Влияние механоактивации на процессы фазо- и сруктурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе / Н. З. Ляхов, Т. Л. Талако, Т. Ф. Григорьева. – Новосибирск : Параллель, 2008. – 168 с.

11. Korchagin, M. A. Application of self-propagating high-temperature synthesis and mechanical activation for obtaining nanocomposites / M. A. Korchagin, D. V. Dudina // Combustion Explosion and Shock Waves. – 2007. – Vol. 43. – P. 176–187.

12. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами / Под ред. О. И. Ломовского. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. – 424.

13. Логинова, М. В. Структурное состояние порошковой смеси Ti–Al при различных режимах механоактивационной обработки / М. В. Логинова, А. В. Собачкин, С. Г. Иванов, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, В. Ю. Филимонов, А. Ю. Мясников, А. З. Негодяев // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2019. – № 2. – С. 4–14.

14. Собачкин, А. В. Получение композиционных материалов системы Ti–Al–Nb методом высокотемпературного синтеза / А. В. Собачкин, М. В. Логинова, А. А. Ситников, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, А. Ю. Мясников // Эволюция дефектных структур в конденсированных средах : сборник тезисов XVI Международной школы-семинара. – 2020. – С. 159–160.

15. Filimonov, V. Yu. Peculiarities of Phase Formation Processes in Activated Ti + Al Powder Mixture during Transition from Combustion Synthesis to High-temperature Annealing / V. Yu. Filimonov, M. V. Loginova, S. G. Ivanov, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, A. V. Sobachkin, A. Z. Negodyaev, A. Yu. Myasnikov // Combustion Science and Technology. – 2020. – Vol. 192. – Iss. 3. – P. 457–470.

Логинова Марина Владимировна *– с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Собачкин Алексей Викторович *– с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Ситников Александр Андреевич *– директор ПВКПИиР, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Филимонов Валерий Юрьевич *– профессор кафедры физики, д.ф.-м.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Яковлев Владимир Иванович *– доцент кафедры НТТС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Мясников Андрей Юрьевич *– зав. лабораторией, ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

Погорельцев Михаил Владимирович *– аспирант ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.027
УДК 621.43.068.4

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ И СОСТАВОВ ШИХТЫ НА СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ СВС – КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Н. Н. Горлова, Г. В. Медведев, А. А. Ситников

В работе были изучены основные характеристики и свойства материалов на основе окалины легированной стали, формовочной глины, полученных высокотемпературным синтезом. Привлекательность применения окалины стали и формовочной глины в составе шихты для получения пористых проницаемых каталитических материалов заключается в ее значительных ресурсах, доступности и дешевизне.

Рассмотрена возможность получения пористого проницаемого СВС – каталитического материала с замещением ценных компонентов в составе шихты размолом руд, содержащих необходимые элементы для обеспечения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и обеспечивающих получение материала с необходимыми физическими, физико-механическими и функциональными свойствами. Изучены основные свойства и характеристики пористого проницаемого СВС – каталитического материала на основе размола руды ильменит. Проведена сравнительная оценка по определению влияния доли компонентов, обеспечивающих прохождение процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, на проницаемость по воздуху и ударную вязкость полученного каталитического материала для систем нейтрализации судовых дизелей.

Экспериментальным путем впервые были получены данные о зависимости проницаемости по воздуху и ударной вязкости пористого СВС – каталитического материала в зависимости от состава шихты. Результаты были описаны математически.

В результате предварительно проведенных исследований были определены варианты состава шихты, обеспечивающие физические, физико-механические и функциональные свойства пористого проницаемого СВС – каталитического материала, для систем нейтрализации судовых дизелей.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, окалина стали, формовочная глина, ильменит, отработавшие газы, дизель.

В трудах В. Н. Красова, В. В. Евстигнеева, Н. П. Тубалова, О. А. Лебедевой, Г. Ю. Филиппова, В. И. Пролубникова, А. А. Мельберт, А. Л. Новоселова и А. А. Новоселова [1, 2] ранее было описано использование каталитических материалов на основе окалины стали, получаемого с применением самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Однако в работах указанных авторов вопросу повышения коррозионной стойкости каталитических материалов внимание не уделялось, также как и не были изучены функциональные свойства относительно снижения концентрации оксидов серы в отработавших газах судовых дизелей. При этом данный каталитический материал по физическим, физико-механическим и функциональным свойствам отвечает всем требованиям. Свойства шихты на основе окалины стали изучались ранее и приведены в работах [3–5].

Использование шихты с целью получения каталитических материалов для очистки отработавших газов посвящено ряд работ [6–8].

Привлекательность применения окалины легированной стали в пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что изделия из композитных материалов имеют возможность выдерживать циклические изменения высоких температур, работать в условиях высокой тепловой напряженности, механических нагрузок, воздействий вибраций и ударов, резких изменений условий окружающей среды, высокой агрессивности сред подлежащих очистке.

Исходя из условий обеспечения устойчивого горения, в ходе СВС была определена оптимальная доля окалины стали 42,8...52,78 % по массе.

Проведенные ранее исследования подтвердили возможность использования окалины легированной стали в шихте при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом.

Оценка эффективности каталитической очистки газов на полученных материалах с содержанием в шихте F_2O_3 42,8...52,78 % по

массе производилась на исследовательском комплексе, включающем в качестве генератора газов дизель 3Д6. В целях сохранения идентичности состава отработавших газов испытания проводились при одинаковых условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам при 2600 мин$^{-1}$ и значениях среднего эффективного давления 0...0,35...0,55...0,78 МПа, температуре окружающей среды T_0 = 298 К, давлении окружающей среды p_o = 0,105 МПа, влажности W = 50 %.

При идентичных условиях окружающей среды проводились испытания по внешней скоростной характеристике при частотах вращения коленчатого вала 1400...1800... 2200...2600 мин$^{-1}$.

Выявленные в процессе исследований каталитические свойства объясняются наличием в составе пористого проницаемого материала после синтеза сложных оксидов хрома (Cr_2O_3), никеля (Ni), меди (Cu) и металлов платиновой группы иридия (Ir) и родия (Rd), соответственно 0,19 и 0,09 % по массе шихты.

Состав базовой шихты на основе окалины стали приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о составах шихты на основе окалины стали

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты				
	ОС-1	ОС-2	ОС-3	ОС-4	ОС-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18·ХНМА, 40ХНМА и др.)	42,84	45,34	47,82	50,30	52,78
Оксид хрома	17,87	17,90	17,95	18,00	18,05
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,90	6,85	6,80	6,75	6,70
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,40	12,30	12,20	12,10	12,00
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	17,90	15,45	13,00	10,55	8,10
Иридий	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
Родий	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
Медь	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05
Физические характеристики					
Проницаемость по воздуху $\times 10^{-12}$, м^2	2,55	2,46	2,17	1,80	1,20
Физико-механические свойства					
Ударная вязкость, Дж/м^2	0,31	0,29	0,249	0,225	0,151

В результате исследований было выявлено, что состав шихты ОС-3 (содержание окалины стали 47,82 % по массе) полностью удовлетворяет по физическим, физико-механическим свойствам. В дальнейших исследованиях данный состав материала был выбран как базовый.

Достоинством такого каталитического материала является использование окалины стали (18ХНВА, 18·ХНМА, 40ХНМА и др.), которая образуется при обычном нагреве, горячем деформировании и охлаждении стального изделия, а также при его термической обработке, представляет собой комплекс химических соединений железа и других элементов с кислородом (оксидов, гидратов, силикатов, сульфидов, карбидов и др.) и по сути является отходом металлообрабатывающего производства. Недостатком данного каталитического материала является содержание значительного количества (21,07…21,39 % по массе) ценных компонентов (хрома, алюминия, никеля, иридия и родия), которые добавляются в очищенном виде для осуществления СВС. Это, в свою очередь, является причиной высокой цены получаемых изделий и как следствие высокой стоимости очистки отработавших газов от вредных веществ. Решить выявленную проблему простым исключением хрома, алюминия, никеля из состава шихты не представляется возможным ввиду особенностей протекания СВС, что приведет к неустойчивому горению и ухудшению свойств получаемого каталитического материала. В связи с этим, была рассмотрена возможность использования такого состава шихты, который позволит обеспечить необходимые свойства получаемого каталитического материала в результате эффективного протекания СВС.

В целях снижения стоимости каталитического материала при сохранении заданных свойств материала, повышения устойчивости к динамическим и статическим нагрузкам изделий, изготовленных на основе получаемого пористого проницаемого материала, снижения материалоемкости этих изделий при жестких технологических требованиях к их прочности, а также расширения сферы применения получаемого пористого проницаемо-

го материала был предложен состав шихты, содержащий железную окалину, оксид алюминия, алюминий и формовочную глину марки КIII/2 $Т_2$.

Привлекательность применения формовочной глины в составе шихты для получения пористых проницаемых каталитических материалов заключается в ее значительных ресурсах, доступности и дешевизне.

При содержании в шихте формовочной глины марки КIII/2 $Т_2$ повышается температура горения, что влечет за собой увеличение объема жидкой фазы за счет образования упорядоченной структуры пористого проницаемого материала, повышение прочности этого материала на сжатие и увеличение среднего размера пор.

Выбранные соотношения железной окалины и формовочной глины марки КIII/2 $Т_2$ являются оптимальными, так как при содержании в шихте железной окалины менее 12,6 % по массе, алюминия – менее 8,6 % по массе реакция СВС не инициируется, а при содержании в шихте железной окалины более 12,6 % по массе, алюминия – более 12,3 % по массе происходит полное расплавление компонентов и образование сплошного конгломерата вместо пористого проницаемого материала.

Для изготовления образцов использовались порошок оксида железа, порошок алюминия АСД-1 ТУ 48-5-226-87, порошок оксида алюминия МР ТУ-6-09 2046-644 и порошок формовочной глины КIII/2 $Т_2$.

В ходе проведенных исследований была подтверждена возможность использования формовочной глины КIII/2 $Т_2$ при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом.

Состав разработанных каталитических материалов, полученных с применением в составе шихты формовочной глины КIII/2 $Т_2$, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Данные о составах шихты на основе формовочной глины

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты				
	ФГ-1	ФГ-2	ФГ-3	ФГ-4	ФГ-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Формовочная глина, в т. ч.:	54,60	55,20	56,30	57,50	58,30
- оксиды кремния	28,19	28,50	29,07	29,69	30,10
- алюминий	8,41	8,50	8,67	8,85	8,97
- оксид железа	5,15	5,20	5,30	5,42	5,49
- оксид алюминия	12,36	12,50	12,75	13,02	13,2
- прочие соединения (TiO_2, CaO, K_2O)	0,49	0,50	0,51	0,52	0,54
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Медь (отходы машиностроения)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	12,3	11,7	10,6	9,4	8,6

В работе была рассмотрена возможность получения пористого проницаемого СВС – каталитического материала с замещением ценных компонентов в составе шихты размолом руд, содержащих необходимые элементы для обеспечения СВС и обеспечивающих получение материала с необходимыми физическими, физико-механическими и функциональными свойствами. Изучение руд, размол которых мог бы эффективно заменить ценные компоненты в составе шихты, позволило определить следующие минералы: монацит, лопарит, бастнезит, цеолит, эвксенит, кордиерит, ильменит [8–10].

Проведенные ранее исследования предоставили возможность использования выше приведенных руд для получения пористых проницаемых СВС – каталитических материалов с необходимыми свойствами [11–15].

В результате отбора по основным критериям (химический состав; свойства руды; физические, физико-механические, функциональные свойства пористого проницаемого СВС – каталитического материала; месторождения) была выбрана руда ильменит.

Привлекательность применения ильменита в пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что в этом случае отпадает необходимость во введении отдельно оксидов железа и хрома, титана и оксидов кремния как индивидуальных компонентов.

Ильменит представляет собой титанистый железняк, содержащий $FeTiO_3$, SiO_2, Al и другие компоненты, на базе которых возможно получение скелетной структуры пористого проницаемого каталитического материала.

Таблица 3 – Данные о составах шихты с добавлением руды ильменита

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты				
	ИЛ-1	ИЛ-2	ИЛ-3	ИЛ-4	ИЛ-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Руда ильменита, в том числе:	71,69	66,86	64,35	61,40	55,42
- оксида железа	12,91	12,04	11,59	11,06	9,98
- оксида хрома	13,47	12,56	12,09	11,54	10,41
- титана	22,65	21,13	20,33	19,40	17,51
- оксида кремния и других	22,65	21,13	20,33	19,40	17,51
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	16,86	19,62	20,05	21,94	26,98
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	4,10	4,12	4,16	4,19	4,20
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	6,19	8,23	10,26	11,28	12,20
Медь (отходы)	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20

Обращает на себя внимание факт, что увеличение дозировки в шихте размола руды ильменита с 52,42 до 71,69 % по массе приводит к значительному изменению характеристик и свойств полученных СВС – материалов (таблица 3).

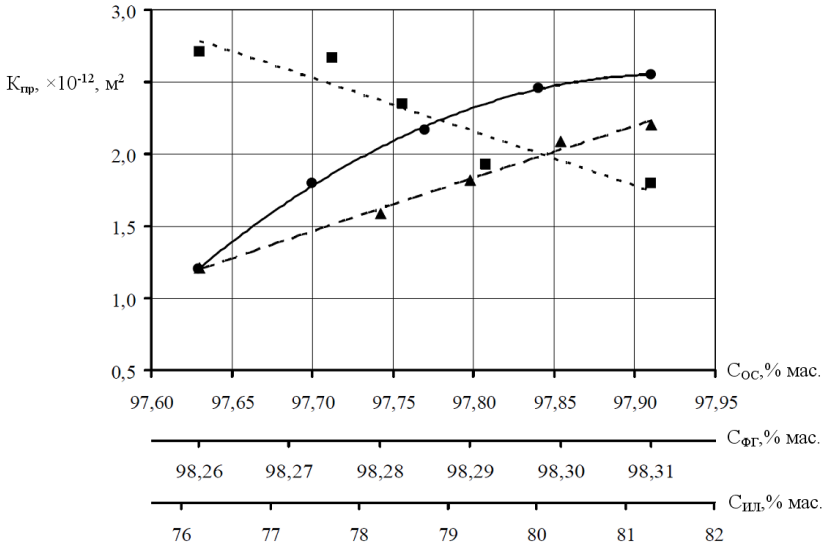
В результате предварительно проведенных исследований были определены варианты состава шихты, обеспечивающие физические, физико-механические свойства пористого проницаемого СВС – каталитического материала:

- на основе окалины стали, с содержанием Fe_2O_3 42,84…52,78 % по массе;
- на основе формовочной глины, с содержанием формовочной глины 54,6…58,3 % по массе;
- на основе руды ильменита, с содержанием ильменита 55,42…71,69 % по массе.

Изучение физических, физико-механических свойств исследуемых материалов проводились на стандартных образцах в виде втулок длиной 100 мм, с внешним диаметром 40 мм внутренним диаметром 30 мм, чему предшествовало определение массы изделий.

В доступной научно-технической литературе не были обнаружены данные о зависимости проницаемости по воздуху пористого СВС – каталитического материала в зависимости от состава шихты.

На рисунке 1 представлены результаты изучения зависимости проницаемости по воздуху исследуемых пористых проницаемых СВС – каталитических материалов от содержания компонентов, обеспечивающих СВС, полученные в результате проведенных экспериментальных исследований на образцах каталитических материалов.



● *– окалина стали (ОС);* ▲ *– формовочная глина (ФГ);* ■ *– руда ильменит (ИЛ)*

Рисунок 1 – Влияние доли компонентов, обеспечивающих СВС на проницаемость по воздуху СВС – каталитического материала

В связи с этим в процессе исследований были получены новые экспериментальные данные, описанные следующими математическими выражениями:

$K_{пр.ОС}$ = -16,035 $C^2_{ОС}$ + 3140,281 $C_{ОС}$ – 153745,094 × 10^{-12}, м^2;

$K_{пр.ФГ}$ = -16,495 $C^2_{ФГ}$ + 3263,001 $C_{ФГ}$ – 161362,993 × 10^{-12}, м^2;

$K_{пр.ИЛ}$ = -0,025 $C^2_{ИЛ}$ +3,608 $C_{ИЛ}$ – 129,597 × 10^{-12}, м^2.

Таким образом, в результате исследований и обработки полученных экспериментальных данных были получены новые зависимости, связывающие проницаемость по воздуху и состав исследуемой шихты пористого проницаемого СВС – каталитического материала.

По результатам проведенных исследований были определены оптимальные составы шихты исследуемых материалов:

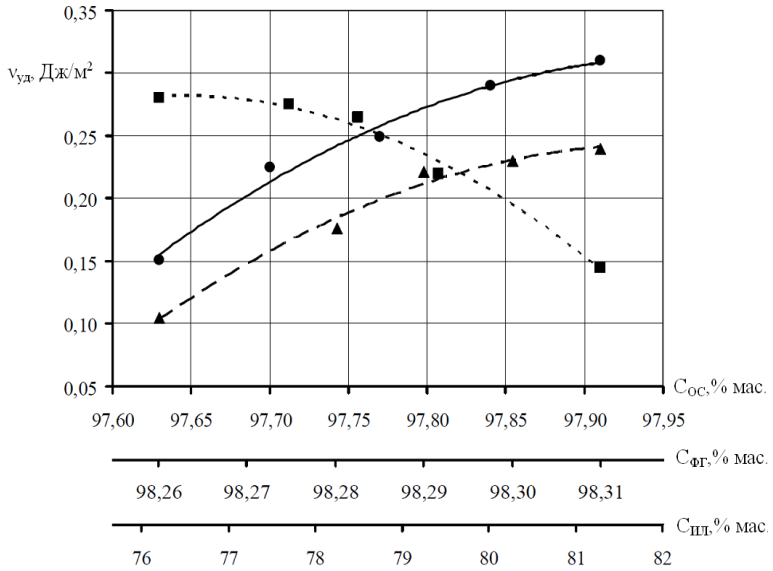
- шихта на основе окалины стали – состав ОС-3, с содержание основного компонента (окалины стали) 47,82 % по массе;
- шихта на основе формовочной глины – состав ФГ-3 с содержание основного компонента (формовочной глины) 56,30 % по массе;
- шихта на основе ильменита – состав ИЛ-2 с содержание основного компонента (ильменита) 66,86 % по массе.

В цикле проведенных экспериментальных исследований было выявлено влияние состава шихты СВС – каталитического материала на его физико-механические свойства.

Характеристикой вязкости материала является ударная вязкость, которая измеряется работой, затрачиваемой на разрушение образца, отнесенной к площади сечения.

В изученной литературе не было обнаружено сведений об ударной вязкости пористого проницаемого СВС – каталитического материала на основе изучаемых составов.

Проведенные ранее исследования показали, что при увеличении количества окалины стали в шихте (свыше 50 % по массе.) резко снижается ударная вязкость. Выявленная зависимость объясняется тем, что в процессе горения при СВС снижается полнота превращения исходных компонентов, и железо в меньшей степени выступает в роли компонента твердого раствора. Остаток твердой системы Fe–Al увеличивается, так как растворимость Al составляет 40…65 % по массе.



● – *окалина стали (ОС);* ▲ – *формовочная глина (ФГ);* ■ – *руда ильменит (ИЛ)*

Рисунок 2 – Влияние доли компонентов, обеспечивающих СВ – синтез на ударную вязкость пористого проницаемого СВС – каталитического материала:

Дополнительно проведенные экспериментальные исследования по изучению ударной вязкости на образцах изучаемых составов позволили выявить следующие закономерности:

- увеличение содержания компонентов, обеспечивающих СВС (при увеличении основного компонента шихты) в материалах с окалиной стали и формовочной глиной влечет за собой увеличение ударной вязкости. Для состава на основе окалины стали показатель меняется 0,151…0,31 Дж/м^2, для состава

с формовочной глиной – 0,105…0,240 Дж/м^2;

- для материала на основе руды ильменит зависимость следующая: увеличение содержания компонентов, обеспечивающих СВС (при уменьшении основного компонента шихты) влечет за собой уменьшение ударной вязкости 0,145…0,28 Дж/м^2. Полученные значения показателя соизмеримы со значениями базового состава на основе окалины стали. Полученные данные были математически обработаны, и представлены следующими выражениями:

$v_{уд.ОС}$ = -1,327 $С^2_{ОС}$ + 259,937 $С_{ОС}$ – 12733,506, Дж/м^2;

$v_{уд.ФГ}$ = -44,720 $С^2_{ФГ}$ + 8793,469 $С_{ФГ}$ – 432271,155 , Дж/м^2;

$v_{уд.ИЛ}$ = -0,006 $С^2_{ИЛ}$ + 0,911 $С_{ИЛ}$ -34,553, Дж/м^2.

Таким образом, были впервые получены не только экспериментальные данные о влиянии состава шихты на ударную вязкость (рисунок 2), но и выведены математические зависимости.

Состав, физические и физико-механические свойства разработанных каталитических материалов, полученных с применением в составе шихты формовочной глины и руды ильменит, приведен в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Данные о составах шихты на основе формовочной глины

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты				
	ФГ-1	ФГ-2	ФГ-3	ФГ-4	ФГ-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Формовочная глина	54,60	55,20	56,30	57,50	58,30
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Медь (отходы машиностроения)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	12,3	11,7	10,6	9,4	8,6
Физические характеристики					
Проницаемость по воздуху × 10^{-12} , м^2	2,20	2,09	1,82	1,59	1,21
Физико-механические свойства					
Ударная вязкость, Дж/м^2	0,240	0,230	0,221	0,176	0,105

Таблица 5 – Данные о составах шихты с добавлением руды ильменита

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты				
	ИЛ-1	ИЛ-2	ИЛ-3	ИЛ-4	ИЛ-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Руда ильменит	71,69	66,86	64,35	61,40	55,42
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	16,86	19,62	20,05	21,94	26,98
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	4,10	4,12	4,16	4,19	4,20
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	6,19	8,23	10,26	11,28	12,20
Медь (отходы)	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20
Физические характеристики					
Проницаемость по воздуху $\times 10^{-12}$, м^2	2,71	2,67	2,35	1,93	1,50
Физико-механические свойства					
Ударная вязкость, Дж/м^2	0,28	0,275	0,265	0,220	0,145

В результате предварительно проведенных исследований были определены варианты состава шихты, обеспечивающие физических, физико-механических и функциональных свойств пористого проницаемого СВС – каталитического материала, для систем нейтрализации судовых дизелей:

- на основе окалины стали, с содержанием Fe_2O_3 42,84…52,78 % по массе;

- на основе формовочной глины, с содержанием формовочной глины 54,6…58,3 % по массе;

- на основе руды ильменита, с содержанием ильменита 55,42…71,69 % по массе.

При финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, государственное задание № FZMM-2020-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев, В. В. Применение СВС-фильтров для создания пористых каталитических нейтрализаторов / В. В. Евстигнеев, О. А. Лебедева, Н. П. Тубалов / Материалы Междунар. н.-т. конф. «Совершенствование быстроходных дизелей» – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1999. – С. 136.

2. Евстигнеев, В. В. Повышение прочности

пористых материалов, полученных СВС-методом в системе оксиды железа–оксид алюминия–алюминий–ферросилиций / В. В. Евстигнеев, Н. П. Тубалов, О. А. Лебедева // Перспективные материалы. – 2005. – № 6. – С. 70–73.

3. Гейнеман, А. А. Формирование структуры и эксплуатационные свойства пористых металлокерамических материалов на основе окалины легированных сталей / А. А. Гейнеман, О. А. Лебедева, А. В. Маецкий, Н. П. Тубалов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники : сб. статей ; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А. Л. Новоселова / Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 77–87.

4. Евстигнеев, В. В. Применение СВС-фильтров для создания пористых каталитических нейтрализаторов / В. В. Евстигнеев, О. А. Лебедева, Н. П. Тубалов / Материалы междунар. н.-т. конф. «Совершенствование быстроходных дизелей». – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1999. – С. 136–138.

5. Евстигнеев, В. В. Получение пористых изделий методом термосинтеза из промышленных отходов для решения экологических проблем / В. В. Евстигнеев, О. А. Лебедева, Н. П. Тубалов, В. И. Яковлев // Проблемы и перспективы литейного производства. – Барнаул, 1999. – Выпуск 1. – С. 190–191.

6. Новоселов, А. Л. Влияние отдельных компонентов шихты на качество очистки газов в СВС-фильтрах / А. Л. Новоселов, А. А. Жуйкова, Н. Д. Новоселова, А. А. Белокрылов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники : сб. статей ; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А. Л. Новоселова / Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 40–50.

7. Шихта для получения пористого проницаемого каталитического материала : Пат. 2530184 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. № 2013139722/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.10.2014. Рус.

8. Шихта с бастнезитом для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2530186 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. № 2013139973/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.10.2014. Рус.

9. Шихта с лопаритом для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2532745 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. № 2013139946/02 ; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.11.2014. Рус.

10. Шихта с родием и иридием для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2530187 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. № 2013139974/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.10.2014. Рус.

11. Медведев, Г. В. Каталитические материалы, замещающие благородные металлы в нейтрализаторах для дизелей / Г. В. Медведев, Н. Н. Горлова // В сборнике : Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. – Рубцовск. – 2012. – С. 92–98.

12. Медведев, Г. В. Использование руды лопарита в системах каталитической очистки отработавших газов дизелей / Г. В. Медведев, Н. П. Тубалов, Н. Н. Горлова // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3–1. – С. 162–165.

13. Новоселов, А. Л. Применение руды эвксенита в составе каталитических материалов для очистки газов дизелей / А. Л. Новоселов, Н. Н. Горлова, Г. В. Медведев // Ползуновский вестник. – 2014. – № 4–1. – С. 26–30.

14. Новоселова, Т. В. Использование цеолита – природного клиноптилолита при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом / Т. В. Новоселова, Г. В. Медведев, Н. Н. Горлова, А. А. Ситников, Н. П. Тубалов // Ползуновский вестник. – 2015. – № 1. – С. 47–50.

15. Новоселов, А. Л. Использование в составе композитных каталитических материалов для очистки отработавших газов дизелей металлов платиновой группы / А. Л. Новоселов, Г. В. Медведев, Н. Н. Горлова, Д. С. Печенникова // В сборнике : Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. – Новосибирский гос. агр. ун-т. – 2014. – С. 26–31.

***Горлова Нина Николаевна**, к.т.н., доцент кафедры Менеджмента, ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. 8-913-250-85-55, e-mail: gnn.09 @mail.rul.*

***Медведев Геннадий Валериевич**, к.т.н., доцент кафедры Наземных транспортно-технологических систем ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. 8-909-503-11-25, e-mail: Genatswaly@mail.ru.*

***Ситников Александр Андреевич**, д.т.н., профессор, директор Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок, ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. 8-905-982-16-09, e-mail: sitalan@mail.ru.*

05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.028
УДК 621.43.068.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РУДЫ КСЕНОТИМА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ

Н. Н. Горлова, Г. В. Медведев, М. С. Канапинов, А. Е. Свистула

В работе рассмотрена возможность использования размола руды ксенотим в шихте пористого проницаемого каталитического материала, получаемого с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Привлекательность руды ксенотим заключается в его качественном и количественном составе. Редкоземельные металлы в составе руды ксенотим обеспечивают прохождение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с получением каталитического материала с необходимыми физическими, физико-механическими и функциональными свойствами и характеристиками.

В процессе исследования определены зависимость среднего приведенного диаметра пор в материале от содержания в составе шихты размола руды ксенотима, которая была описана математически. Выражение дает возможность прогнозировать средний приведенный диаметр пор в материале в зависимости от содержания размола руды ксенотима в составе шихты.

Впервые получены экспериментальные данные зависимости извилистости пор, пористости, удельной поверхности в пористом материале в зависимости от содержания в шихте размола руды ксенотима и описаны математически.

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации размола руды ксенотима в шихте на изменение механической прочности материалов и ударной вязкости полученных высокотемпературным синтезом, что подтвердило гипотезу о существовании общей закономерности воздействия основного компонента материала на показатели механической прочности.

Обработка данных экспериментальных исследований свидетельствует о существовании линейных зависимостей между концентрацией в шихте руды ксенотима и величинами пределов прочности на сжатие на изгиб и ударную вязкость.

Ключевые слова: отработавшие газы, дизель, очистка, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, руда.

Привлекательность применения руды ксенотима в пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что в ее состав входят редкоземельные металлы, обеспечивающих качество очистки отработавших газов в системе выпуска отработавших газов дизелей.

Руда ксенотима Золотушенского месторождения Алтайского края, содержит 2,78 % лантана (La); 7,68 % церия (Ce);1,2 % неодима (Nd); 5,47 % самария (Sm); 14,48 % гадолиния (Gd); 2,78 % тербия (Tb); 18,87 % диспрозия (Dy); 4,44 % гольмия (Ho); 16,65 % эрбия (Er); 2,21 % тулия (Tm); 19,43 % иттербия (Yb); 3,32 % лютеция (Lu) и др.

При использовании руды ксенотима в составе шихты для получения пористых проницаемых каталитических материалов достаточно добавление ее в количестве 14 % по массе. Уже при этом количестве в составе пористого материала оказывается целый ряд катализаторов в следующих количествах по массе: La – 0,369 %; Ce – 1,075 %; Pr – 0,0154 %; Nd – 0,171 %; Sm – 0,766 %; Eu – 0,078 %; Gd – 2,027 %; Tb – 0,389 %; Dy – 2,642 %; Ho – 0,622 %; Er – 2,331 %; Tm – 0,309 %; Yb – 2,730 %; Lu – 0,465 %.

В результате проводимых исследований подтверждена возможность использования размола руды ксенотима Золотушенского месторождения при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом (СВС) [1–3].

Оценка эффективности каталитической очистки газов на полученных материалах с содержанием в шихте руды ксенотима от 14 до 17 % по массе производилась на исследовательском комплексе, включающем в качестве генератора газов дизель 8Ч 12/12. В целях сохранения идентичности состава отработавших газов испытания проводились при одинаковых условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам при частоте вращения коленчатого вала 2600 мин$^{-1}$ и значениях среднего эффективного давления 0...0,35...0,55...0,78 МПа, тем-

пературе окружающей среды T_0 = 298 К, давлении окружающей среды p_o = 0,105 МПа, влажности W = 50 %.

При идентичных условиях окружающей среды проводились испытания по внешней скоростной характеристике при частотах вращения коленчатого вала 1400...1800... 2200...2600 мин$^{-1}$.

Сравнению подлежали пористые проницаемые каталитические материалы, полученные с помощью СВС по разработанной технологии, используемые для изготовления блоков очистки отработавших газов в системе выпуска отработавших газов дизелей.

Состав, физические, физико-механические и функциональные свойства разработанных каталитических материалов, полученных с применением СВС, были предварительно изучены на образцах стандартных размеров. Данные о функциональных свойствах, полученных СВС – каталитических материалах, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о составе шихты, функциональных свойствах СВС – материалов с использованием размола руды ксенотима

Отдельные характеристики	Варианты состава шихты СВС-блоков			
	КСН-1	КСН-2	КСН-3	КСН-4
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе				
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	47,5	47,5	47,5	47,5
Оксид хрома	12,0	11,5	11,0	10,5
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,0	5,6	5,4	5,2
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	6,1	6,0	5,7	5,4
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	12,4	12,4	12,4	12,4
Медь (отходы машиностроения)	2,0	2,0	2,0	2,0
Всего руды ксенотима	14	15	16	17
В том числе по компонентам:				
Лантан	0,389	0,417	0,445	0,473
Церий	1,075	1,152	1,228	1,305
Празеодим	0,0154	0,0165	0,0176	0,0187
Неодим	0,171	0,183	0,195	0,207
Самарий	0,766	0,821	0,875	0,930
Европий	0,076	0,084	0,089	0,095
Гадолиний	2,027	2,172	2,316	2,462
Тербий	0,389	0,417	0,445	0,473
Диспрозий	2,642	2,831	3,019	3,208
Гольмий	0,622	0,666	0,710	0,755
Эрбий	2,331	2,486	2,652	2,817
Тулий	0,309	0,332	0,354	0,376
Иттербий	2,720	2,915	3,109	3,303
Лютеций	0,465	0,498	0,531	0,564
Физические характеристики				
Средний приведенный диаметр пор, мкм	132	136	150	176
Извилистость пор при δ_{cm} = 10 мм	1,162	1,211	1,273	1,345
Удельная поверхность, м^2/г	96	106	124	167
Пористость	0,460	0,530	0,580	0,588
Проницаемость по воздуху × 10^{-12}, м^2	1,720	2,225	2,683	3,671
Физико-механические свойства				
Механическая прочность при сжатии, МПа	10,20	8,10	6,12	4,182
Механическая прочность при изгибе, МПа	7,45	6,00	4,55	3,10
Ударная вязкость, Дж/м^2	0,335	0,331	0,321	0,305
Функциональные свойства				
Снижение концентраций CO, %	66	73	82	94
Снижение концентраций NO_X, %	44	51	60	71
Снижение концентраций C_XH_Y, %	64	69	76	88
Снижение концентраций ТЧ, %	92	93	93	94

Выявленные в процессе исследований каталитические свойства объясняются наличием в составе пористого проницаемого материала таких катализаторов, как лактан, церий, самарий, гадолиний, диспрозит, иттербий, лютеций, обеспечивающих увеличение скоростей окисления неполных продуктов сгорания и восстановления оксидов азота.

Достижение требуемых физических и физико-механических свойств материала обусловлено приложением самораспространяющегося высокотемпературного синтеза при его получении.

В процессе исследования определены зависимость среднего приведенного диаметра пор в материале от содержания в составе шихты размола руды ксенотима. Эта зависимость описана выражением:

$$d_П = 4{,}256\ C^2_{КСН} - 111{,}340\ C_{КСН} + 856{,}580, \text{ мкм}, \quad (1)$$

где $C_{КСН}$ – концентрация размола руды ксенотима в составе шихты, в процентах по массе;

КСН – условно принятое обозначение ксенотима.

Выражение дает возможность прогнозировать средний приведенный диаметр пор в материале в зависимости от содержания размола руды ксенотима в составе шихты в границах концентраций 13…18 % по массе.

Обращает на себя внимание тот факт, что увеличением дозировки в шахте размола руды ксенотима с 14 до 17 % по массе приводит к значительному изменению характеристик и свойств полученных СВС – материалов.

Обнаружено, что изменение среднего приведенного диаметра пор изменяется в зависимости от содержания и фракционного состава окалины легированной стали, алюминия, а также размола руды ксенотима. Путем выбора соотношения концентраций по массе в основном этих трех компонентов шихты может осуществляться регулирование величины среднего приведенного диаметра пор в проницаемом каталитическом СВС – материале.

В процессе экспериментальных исследований впервые, исходя из обеспечения среднего диаметра пор $d_П$ = 150 мкм была определена оптимальная концентрация (таблица 1) размола руды ксенотима, составившая 16 % по массе.

Таким образом, в результате экспериментального исследования установлена зависимость среднего приведенного диаметра пор от содержания размола руды ксенотима (фракции 60 мкм) в составе шихты для получения пористых проницаемых СВС – каталитических материалов.

Извилистость пор в проницаемых СВС – каталитических материалах косвенно свидетельствуют о возможности организации течения отработавших газов в пористом материале с ксенотимом и осуществление контакта с катализаторами La, Ce, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er и другими.

На основании приведенных ранее работ было установлено, что наибольшая извилистость пор достигается при дозировке в рассматриваемых пределах шихту по массе до 19 % по массе окалины стали и составляет ξ = 1,36.

Поскольку в известной научной литературе не описаны зависимости извилистости пор в пористом материале в зависимости от содержания в шихте размола руды ксенотима, такая зависимость была описана уравнением:

$$\xi_И = 0{,}061\ C_{КСН} + 0{,}368. \quad (2)$$

Таким образом, в результате экспериментальных исследований и обработки их материалов была установлена и математически описана зависимость извилистости пор от содержания размола руды ксенотима в шихте по массе.

Известно, что пористость СВС – каталитических материалов во многом определяет их физические, физико-механические и функциональные свойства. Следует отметить, что при увеличении в шихте концентрации размола руды ксенотима с 14 до 17 % по массе происходит увеличение пористости материала для очистки газов в 1,28 раза.

Выявленные закономерности описаны следующей зависимостью:

$$П = -0{,}010\ C^2_{КСН} + 0{,}366\ C_{КСН} - 2{,}626. \quad (3)$$

Данные об изменение пористости СВС – материалов при изменении концентрации размола руды ксенотима в составе шихты обнаружены и описаны впервые, являются новыми.

С пористостью материала, средним приведенным диаметром пор и их извилистостью связан очень важный для каталитического материала параметр – удельная поверхность.

Удельная поверхность в конечном итоге во многом определяет обменные процессы вблизи катализатора, скорость превращения веществ и эффективность очистки газов от вредных веществ. Как правило, наиболее эффективные каталитические материалы имеют и большие удельные поверхности. Поэтому удельной поверхности материала уде-

ляется особое внимание. В данном случае зависимость удельной поверхности материалов от содержания в шихте различного количества ксенотима, составляющего основу присутствия катализаторов в виде редкоземельных элементов.

По результатам обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость, связывающая величину удельной поверхности материалов с содержанием в шихте размола руды ксенотима.

Зависимость имеет вид:

$$F_{уд} = 3{,}421\ C^2_{КСН} - 90{,}130\ C_{КСН} + 701{,}440,\ м^2/г. \quad (4)$$

Таким образом, получены не только новые научные данные, но и определены математические зависимости влияния концентрации руд в составе шихты на удельную поверхность пористых проницаемых СВС - каталитических материалов.

Другим, не менее важным, показателем является проницаемость пористого материала. Исследования проведены в соответствии с ГОСТ Р 52305-1-2005. Ранее авторами было определено, что при содержании в шихте руды ксенотима 14 % по массе показатель проницаемости ($К_{пр}$) имеет значение $1{,}720 \cdot 10^{-12}$ м^2.

Характер изменения проницаемости в зависимости от содержания руды ксенотима в шихте оказался нелинейным. Увеличение проницаемости с увеличением концентрации руды ксенотима связано с уменьшением твердой фазы в пористом проницаемом каркасе СВС – материалов, за счет сокращения концентраций хрома и никеля.

В литературе не встречается данных о зависимости проницаемости СВС – каталитических материалов в зависимости от дозировки руды ксенотима в шихту. В связи с этим в процессе исследований на образцах были получены экспериментальные данные, которые описаны следующим математическим выражением:

$$К_{пр} = 0{,}082\ C^2_{КСН} - 2{,}130\ C_{КСН} + 16{,}183, \times 10^{-12},\ м^2. \quad (5)$$

Таким образом, получены новые, не описанные ранее зависимости, связывающие концентрации руды ксенотима в шихте с проницаемостью материалов, полученных с помощью СВС.

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации размола руды ксенотима в шихте на изменение механической прочности материалов, полученных высокотемпературным синтезом. Так было установлено, что с увеличением содержания ксенотима в шихте с 14 до 17 % по массе, значение механической прочности при сжатии ($\sigma_{сж}$) может снижаться с 10,20 МПа до 4,182 МПа.

Идентичный характер изменения механической прочности при сжатии для каталитических материалов, полученных высокотемпературным синтезом на основе эвксенита, монацита, бастнезита [4-8], что свидетельствует о том, что редкоземельные элементы не выступают в качестве легирующих, а присутствуют в виде оксидов. Это подтвердило гипотезу о существовании общей закономерности воздействия основного компонента материала на показатели механической прочности.

Механическая прочность при изгибе ($\sigma_{изг}$) также зависит от содержания в шихте руды ксенотима. Так, с увеличением содержания руды ксенотима в шихте с 14 до 17% по массе $\sigma_{изг}$ снижается с 7,10 МПа до 2,84 МПа, что свидетельствует об ухудшении механической прочности материала. Идентичный характер изменения механической прочности СВС – каталитических материалов, полученных высокотемпературным синтезом на основе эвксенита, монацита, бастнезита [9–11]. Обработка данных экспериментальных исследований свидетельствует о существовании линейных зависимостей между концентрацией в шихте руды ксенотима и величинами пределов прочности на сжатие и изгиб.

Полученные зависимости описаны выражениями:

$$\sigma_{сж} = -2{,}006\ C_{КСН} + 38{,}284,\ МПа; \quad (6)$$

$$\sigma_{изг} = -1{,}450\ C_{КСН} + 27{,}750,\ МПа. \quad (7)$$

Полученные данные являются новыми, раскрывают закономерности влияния дозировки размола руды ксенотима на механическую прочность пористых проницаемых каталитических материалов, полученных высокотемпературным синтезом.

Реакция пористого проницаемого композитного материала на большую нагрузку проявляется в виде больших деформаций или разрушения. Характеристикой вязкости материала является его ударная вязкость, измеряемая работой, затрачиваемой на разрушение образца, отнесенной к площади сечения. В литературе не обнаружено сведений об изменении ударной вязкости пористых СВС – материалов на основе размола руды ксенотима. Отсутствие знаний ударной вязкости рассматриваемых материалов не дает оснований для принятия решений об их применении.

Было обнаружено, что при увеличении концентрации ксенотима в шихте свыше 17 % по массе резко снижается ударная вязкость. Это объясняется тем, что в процессе горения СВС – системы снижается полнота превра-

щения исходных компонентов, железо меньше выступает в роли компонента твердого раствора.

На основании экспериментальных исследований по определению влияния концентраций в составах шихты разлома руды ксенотима были получены оригинальные данные об изменении ударной вязкости. Эти данные легли в основу получения математических зависимостей, связывающих влияние дозировки размола руды ксенотима в шихту на ударную вязкость материалов, полученных в результате высокотемпературного синтеза:

$$v_{уд} = -0{,}003\ C^2_{КСН} + 0{,}083\ C_{КСН} - 0{,}239,\ Дж/м^2 . \quad (8)$$

В результате проведенных исследований получены новые данные, характеризующие зависимость ударной вязкости пористых проницаемых каталитических материалов на основе руды ксенотима от концентрации ее в составе шихты.

Отдельный интерес имеют результаты оценки функциональных свойств пористых проницаемых каталитических материалов, полученных из шихты с размола руды ксенотима.

Оценка проводилась по результатам исследований, направленных на определение эффективности очистки отработавших газов.

Обнаруженная эффективность очистки отработавших газов при использовании в составе шихты руды ксенотима описана следующими выражениями:

$$\delta_{ТЧ} = 0{,}734\ C^2_{КСН} - 19{,}64\ C_{КСН} + 216{,}11,\ \%; \quad (9)$$

$$\delta_{CO} = 2{,}320\ C^2_{КСН} - 60{,}52\ C_{КСН} + 452{,}60,\ \%; \quad (10)$$

$$\delta_{CxHy} = 1{,}520\ C^2_{КСН} - 38{,}86\ C_{КСН} + 310{,}06,\ \%; \quad (11)$$

$$\delta_{NOx} = 1{,}581\ C^2_{КСН} - 40{,}10\ C_{КСН} + 295{,}57,\ \%. \quad (12)$$

Все приведенные в таблице 1 и тексте данные являются новыми, не описанными ранее, дающими представление об использовании размола руды ксенотима взамен благородных металлов для получения пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом, обеспечивающих качество очистки отработавших газов, в системе выпуска отработавших газов дизелей.

При финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, государственное задание № FZMM-2020-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев, В. В. Применение СВС-фильтров для создания пористых каталитических нейтрализаторов / В. В. Евстигнеев, О. А. Лебедева, Н. П. Тубалов / Материалы междунар. н.-т. конф. «Совершенствование быстроходных дизелей» – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1999. – С. 136.

2. Евстигнеев, В. В. Получение пористых изделий методом термосинтеза из промышленных отходов для решения экологических проблем / В. В. Евстигнеев, О. А. Лебедева, Н. П. Тубалов, В. И. Яковлев // Проблемы и перспективы литейного производства. – Барнаул, 1999. – Вып. 1. – С. 190–191.

3. Евстигнеев, В. В. Повышение прочности пористых материалов, полученных СВС-методом в системе оксиды железа – оксид алюминия – алюминий – ферросилиций / В. В. Евстигнеев, Н. П. Тубалов, О. А. Лебедева // Перспективные материалы. – 2005. – № 6. – С. 70–73.

4. Новоселов, А. Л. Влияние отдельных компонентов шихты на качество очистки газов в СВС-фильтрах / А. Л. Новоселов, А. А. Жуйкова, Н. Д. Новоселова, А. А. Белокрылов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники : сб. статей ; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А. Л. Новоселова / Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 40–50.

5. Использование композитных материалов на основе окалины стали в системах очистки отработавших газов дизелей / Новоселов А. А., Новоселов А. Л., Бакланов А. Е., Горлова Н. Н. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 197–200.

6. Шихта для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2530184 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. №2013139722/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.10.2014. Рус.

7. Шихта с бастнезитом для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2530186 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», АлтГТУ, ОИПС. №2013139973/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.10.2014. Рус.

8. Шихта с лопаритом для получения пористого проницаемого каталитического материала: Пат. 2532745 Россия, МПК B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). АлтГТУ, Горлова Н. Н., Новоселов А. Л., Медведев Г. В., Печенникова Д. С., Новоселов А. Л. (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Пол-

зунова», АлтГТУ, ОИПС. №2013139946/02; Заявл. 27.08.2013; Опубл. 10.11.2014. Рус.

9. Медведев, Г. В. Использование руды лопарита в системах каталитической очистки отработавших газов дизелей / Г. В. Медведев, Н. П. Тубалов, Н. Н. Горлова // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/1. – С. 162–165.

10. Новоселов, А. Л. Применение руды эвксенита в составе каталитических материалов для очистки газов дизелей / А. Л. Новоселов, Н. Н. Горлова, Г. В. Медведев // Ползуновский вестник. – 2014. – № 4. – Т.1. – С. 26–30.

11. Новоселова, Т. В. Новые композитные материалы для очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ / Т. В. Новоселова, Г. В. Медведев, Н. Н. Горлова // Проблемы техносферной безопасности – 2015 ; сб. статей I Международной заочной научно-практической конференции (10 февраля 2015 г.) ; под ред. А. А. Мельберт, М. Н. Вишняк; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 60–66.

***Горлова Нина Николаевна**, к.т.н., доцент кафедры Менеджмента ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8-913-250-85-55, e-mail: gnn.09@mail.ru.*

***Медведев Геннадий Валериевич**, к.т.н., доцент кафедры Наземных транспортно-технологических систем ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8-909-503-11-25, e-mail: Genatswaly@mail.ru.*

***Канапинов Медет Серикович**, аспирант кафедры Технология машиностроения ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8-960-947-26-75, e-mail: mega_bum_90@mail.ru.*

***Свистула Андрей Евгеньевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Двигателей внутреннего сгорания ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 8-905-985-95-22, e-mail: svistula_ae @mail.ru.*

CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS

FORMATION OF THE NUTRITIONAL VALUE OF BAKERY WITH THE ADDITION OF FLOUR FROM OILSEEDS

A. S. Zakharova, S. S. Kuzmina, E. Yu. Egorova, L. A. Kosubaeva

Combining different types of flour in the development of new recipes for flour products is promis-ing in terms of increasing their nutritional value and attracting potential consumers. The aim of the work was to analyze changes in the nutritional value of bakery products when adding calculated com-binations of semi-skimmed oilseed flour: pumpkin, sesame and amaranth. It was found that increasing the dosage of oilseed flour increases the content of dietary fiber and easily digestible proteins in fin-ished products, while reducing the proportion of easily digestible carbohydrates; the vitamin and min-eral value of the products depends on the types of oilseed flour that are combined when added to the flour mixture. At the same time, the macrocomponent composition of buns becomes more balanced, the content of vitamins B1, B2 and PP increases by 1.5–3 times, and the mineral value of products in-creases even more significantly. The use of mixtures of pumpkin and sesame flour (starting with a combination of 6 % + 6 %), amaranth and pumpkin flour (4 % + 4 %), amaranth and sesame flour (4 %+ 4 %) allows you to transfer products to the functional category, as a source of b vitamins, mag-nesium, iron and phosphorus.

Keyword: bakery products, nutritional value, fortification, oilseed flour, proteins, vitamins, miner-als, functional foods.

FUNCTIONAL BAKERY PRODUCTS WITH KELP

L. E. Meleshkina, J. G. Sturova, I. G. Afanasyev

The article examines the use of natural vegetable raw materials containing natural functional food ingredients for the production of bakery products enriched with nutrients that are deficient in nutrition. Of particular importance is the enrichment of the composition of mass-consumption products intended for all segments of the population, in this connection, the object of research was bread made from a mixture of wheat and rye baking flour. The possibility of using kelp and dried fruit to produce functional products that contribute to the normalization of energy metabolism, the synthesis of hemoglobin and myoglobin, the normal functioning of the thyroid gland, and the strengthening of intestinal peristalsis has been proved. The developed product (weighing 100 g) provides a daily requirement for iron, iodine, beta-carotene, and dietary fiber by more than 30%. It is a source of vitamins b1, pp, as well as potassium, magnesium and phosphorus, providing more than 15% of the daily requirement for these nutrients. The content of critical significant food substances: fat, added sugar and table salt is within the minimum content of the established norms.

Keywords: wheat-rye bread, kelp, iodine deficiency, prevention of non-infectious diseases, functional bakery products.

NEW FLOUR PRODUCTION SCHEMES

D. N. Protopopov, V. A. Shkarpetko L. A. Kozubaeva, S. S. Kuzmina

Improving technical and economic performance is an important problem for any enterprise. In this regard, the introduction of a highly efficient disintegrator into the technological scheme of flour production is a very urgent task. The article provides a theoretical substantiation of the expediency of using a disintegrator in the scheme of wheat flour production in order to increase the efficiency of the technological process and directed changes in the properties of the finished product. It has been established that the use of a disintegrator at the first stage of the grinding process contributes to an increase in the yield of premium wheat flour, as well as a significant reduction in the roller line and the total screening surface in the grinding department. The results of changes in the physicochemical indicators of the quality of flour obtained with the use of a disintegrator at various modes of rotation of its working bodies are presented. Different modes of mechanical activation make it possible to obtain a finished product with desired consumer properties, ready for use without aging and maturation processes. It has been shown that mechanical activation of products milled in a disintegrator promotes an increase in the content of raw gluten in flour by 4 - 5%, while simultaneously strengthening it.

Keywords: disintegrator, mechanical activation, flour quality, roller mill, grinding efficiency.

DRY GLUTEN-FREE MIXES USING BUCKWHEAT AND AMARANTH FOR CHILDREN OVER THREE YEARS OF AGE WITH GLUTEN INTOLERANCE

S.A. Urubkov , S.S. Khovanskaya, S.O. Smirnov

Diet therapy is one of the basics of treatment of the digestive system. The prevalence of gluten intolerance exceeds the rate of celiac disease and is estimated at about 6% of the total population. Following a gluten-free diet directly affects the effectiveness of treatment for gluten intolerance. Due to the limited range of recommended foods and dishes, the gluten-free diet is often disrupted, especially by children who are ill. In this regard, it is important to develop new types of specialized gluten-free products that can expand the diet of patients with gluten intolerance. This study is devoted to creating compositions of dry gluten-free mixes using buckwheat and amaranth with the inclusion of fruit, vegetable and berry raw materials intended for feeding children over three years of age with gluten intolerance. When developing the compositions, various combinations of buckwheat and amaranth flour, as well as fruit and vegetable powders were used. The content of buckwheat flour varied in the range from 15 to 75%, amaranth from 15 to 50%, fruit and vegetable and berry powders did not exceed 10%. Dry gluten-free mixes were used to make buckwheat and amaranth muffins. Organoleptic evaluation showed that the obtained samples of gluten-free cupcakes have good quality characteristics, have a pleasant taste and aroma. According to the calculated data, specialized cupcakes made from dry gluten-free mixes intended for children over three years of age with gluten intolerance can serve as an important source of carbohydrates (from 35.04 to 36.87 g/100g of finished products), vegetable protein (from 8.58 to 9.51 g/100g of finished products), dietary fiber (from 3.47 to 4.18/100g of finished products), as well as energy (from 212.5 to 301.3 kcal/100g of finished products). The developed compositions of dry gluten-free mixes and products made from them can help to provide children with an adequate amount of nutrients and energy.

*Keywords**:** amaranth, balanced diet, buckwheat, gluten-free products, gluten intolerance, grain-based baby food, grain mixes.*

RESEARCH OF INDICATORS OF SMALL-FRUITED PEARS OF SIBERIA FOR FURTHER APPLICATION IN THE CONFECTIONERY INDUSTRY

N. V. Prisuhina, E. N. Nepomnyashchikh, L. G. Ermoch

Fruit and berry products from local vegetable raw materials are of great importance in nutrition, as they have high nutritional value and technological properties, which are widely used in the production of confectionery and bakery products, which are in great demand among the population. This paper presents a comparative characteristic of the properties of fruits of small-fruited Siberian pears. Three varieties of Siberian pear fruits were studied, and puree was obtained from them, which is the main semi-finished product for the production of pastille and marmalade products. A comparative analysis of the ability to gelatinize and the organoleptic properties of all types of puree was studied and performed. The results of the work allowed us to draw conclusions that puree from the Siberian variety has high-quality technological and organoleptic characteristics. Puree can be used both in its natural form and in blended mixtures with other types of fruit puree with lower organoleptic characteristics. The "Khakassia" variety has the lowest organoleptic characteristics, but at the same time it has quite high technological properties, so it can be recommended for use in blended mixtures. Very good consumer properties have a variety of "Forest beauty", with a very low gelatinous ability, so this variety can be recommended for obtaining juice with the processing of pomace into powder.

Keywords: fruit puree, small-fruited pears, jelly-forming ability, organoleptic characteristics, technological properties, variety, fruit, tasting evaluation, composition, local raw materials.

BAKERY OVEN FOR BAKING BREAD OUTSIDE OF STATIONARY CONDITIONS

A. A. Lobov

Baking bread is the final stage of heat treatment and the most significant process in terms of energy consumption. In order to intensify the heat treatment of te-STA-bread, reduce energy consumption, carcinogenic substances (melanoidin formation) on the crust of freshly baked bread, reduce the duration of heating of the baking chamber and the temperature of the vapor-gas environment, a baking oven HPE-IK – 0.5 (infrared radiation, with a capacity of 500 kg/day) is proposed. The principle of operation of HPE-IK-0.5 is based on the use of physical principles of thermodynamics, and the design of the oven allows you to intensify the process of baking bread due to the thermal effect on the dough preparation of short-wave infrared radiation converted through a stone tray. The essence of the technical solution is to use the principle of exposure to infrared radiation during forced convection on the molecular structure of whipped yeast-free dough during heat treatment. Heat treatment of dough preparation from yeast-free whipped dough is carried out in the field of infrared radiation with a wavelength of λ=4-9 microns with selective transformation in combination with forced convection S=0.5-0.7 m/s. The design of the furnace (figure 1) contains IR radiation heaters (the range of electromagnetic waves is short-wave from λ=4-9 microns, harmless to humans), placed in the wall of the housing (in the vertical plane), as well as an automated process control system. The novelty of the technical solution is due to the use of synergy effects of infrared radiation with a wavelength of λ=4-9 microns with selective transformation in combination with forced convection S=0.5-0.7 m/s. The practical significance of the technical solution is a significant reduction (by 1.25-1.3 times) of the baking time and the ability to implement it in a limited space. The proposed technical solution, in contrast to the existing sample, reduces the duration of baking by 23-27%, heat loss by 23-25%, energy resources by 17-19%, metal consumption of equipment, while increasing the productivity of the baking oven by 20-25 %.

Keywords: yeast-free dough preparation, infrared radiation, baking oven, bread.

CONSUMER PROPERTIES AND NUTRITIONAL VALUE MACARONI PRODUCTS WITH VEGETABLE ENRICHING ADDITIVES

L. E. Meleshkina, N. V. Chervyakova

Currently, a significant impact of nutrition adequacy on health is recognized, which should be taken into account when developing functional food products enriched with essential substances as an effective tool for the prevention of alimentary-dependent diseases. Balanced vitamin and mineral complexes are used to correct the composition of products, while the resources of raw materials containing natural functional food ingredients are not used enough.

The article examines the use of various plant raw materials containing biologically valuable components for the production of functional pasta. Consumer advantages and nutritional value of macaroni products were studied. It was found that the enrichment of pasta with pumpkin puree, flax seed allows you to get pasta with a high coefficient of nutritional efficiency, which provides satisfaction of the daily need for iron, magnesium, phosphorus, and other nutrients by more than 15%. The developed products can be recommended for systematic inclusion in diets in order to improve the nutritional profile and prevent diseases.

Keywords: pasta, nutritional value, nutrient composition, essential substances, functional products, Flaxseed, pumpkin puree.

INFLUENCE OF THE REGIME OF MOISTURE-HEAT TREATMENT ON THE ESTIMATION OF THE TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF HULLING OF OAT GRAIN

S.N. Brasalin, A.S. Minakov

Moisture-heat processing is widely used in the grain processing industry in the production of cereals, in particular cereals and oat flakes. In the technological process of the production of this type of product, moisture-heat treatment can be used both at the stage of producing cereals and at the stage of crushing cereals into flakes. At the enterprises of the cereal industry of the Altai Territory, in the technologies of oat grain processing, moisture-heat treatment is often used at the stage of preparing grain for peeling. At the same time, the purpose of moisture-heat treatment is both to improve the taste, smell, and digestibility of the finished cereal, and to increase the technological efficiency of the peeling process. At the same time, the role of moisture-thermal treatment of grain before hulling is not understood by everyone in the same way and therefore is not a common technological method. At the same time, the role of moisture-thermal treatment of grain before hulling is not understood by everyone in the same way and therefore is not a common technological method. The purpose of the work performed is to clarify the effect of steaming, as an element of moisture-heat treatment, on the assessment of the technological efficiency of peeling of steamed grain. Two variants of moisture-heat treatment of grain before peeling have been investigated. Research object - oat grain. The experiments were carried out in laboratory conditions on installations that physically simulate the production processes of steaming, drying and hulling grain. Sampling and analysis were performed using standard methods used at grain processing enterprises. The results of the work performed have shown that steaming and steaming with drying significantly increase the estimate of the peeling coefficient relative to non-steamed grain; the effect of steaming pressure on the estimates of the integrity factor and the peeling efficiency factor can be both positive and negative.

Keywords: cereal production, grain peeling, moisture and heat treatment, steaming, drying, technological efficiency of peeling, peeling coefficient, core integrity coefficient, efficiency coefficient.

FOOD, BIOLOGICAL, ENERGY VALUE OF A NEW TYPE OF SPECIALIZED (SPORTS) FOOD

A.G. Bukharev, N.B. Gavrilova, E.M. Schetinina

The article provides a scientific substantiation of the relevance of the development of biotechnology of a curd product for specialized (sports) nutrition, based on Rosstat data and regulatory documents on food products for athletes' nutrition. The component composition of a new type of specialized product has been optimized by using two types of starter culture with probiotic cultures and special ingredients: whey protein concentrate Milkiland-WPC 80; glutamine; pollen, which contributed to the enrichment of the new product with free essential amino acids, vitamins, minerals, and also increased its digestibility and the stability of the athlete's gastrointestinal tract due to the consumption of a specialized product containing probiotic cultures in an immobilized form, in quantity not < 1 · 108 CFU / g. The scientific novelty is reflected in the patent of the Russian Federation No. 2728442. The chemical composition, free amino acids, qualitative and quantitative composition of the main vitamins and minerals that determine its nutritional, biological and energy value have been determined experimentally using standard methods and modern devices. The use of probiotic cultures allows the curd product to be considered bioavailable.

Keywords: curd product, special ingredients, probiotic cultures, biological value, sports nutrition.

TECHNOLOGY DEVELOPMENT AND QUALITY ASSESSMENT BOILED-SMOKED VENIN SAUSAGE

A.T. Inerbaeva

An assessment of the quality of venison as a raw material for the production of cooked-smoked sausages is given. Initially, the characteristics of reindeer meat, which is a high-protein raw material with structural and technological features, is given. Reindeer carcasses delivered from the supplier in frozen form, depending on nutritional status, in accordance with the regulatory requirements, are attributed by us to the first category. According to the organoleptic evaluation indices, the carcasses at that time were fresh and without any odor. In accordance with the requirements of TRTC 021/2011 and SanPiN 2.3.2.1078-01, the microbiological indicators met the sanitary standards. Food raw materials in the form of venison, which have passed the veterinary-sanitary examination, corresponded to the form No. 2 of the organs of the state veterinary service. Developed technological process for the production of cooked-smoked sausages of three names – «Severnaya», «Cervelat» and «Polyarnaya» sausages. After the manufacture of meat sausages, their samples were tested for microbiological safety, physicochemical studies and organoleptic evaluation. The assessment of the quality and safety of samples of processed products of reindeer meat showed compliance with hygienic requirements and rational nutrition standards.

Keywords: quality assessment, meat, safety indicators, venison, technology, cooked-smoked sausages.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF VEGETABLE RAW MATERIALS AND PROBIOTIC CULTURES ON THE FERMENTATION OF LIQUID RYE SOURDOUGH FOR THE PRODUCTION OF BREAD KVASS

V. E. Evgrafova, M.N. Kolesnichenko, V.G. Kurtseva

The leading trend in enhancing the drinks assortment and formulation is the use of natural plant and animal raw materials for their production in order to obtain the beverages enriched with natural functional ingredients and possessing restorative as well as therapeutic and prophylactic properties.

Kvass is a traditional non-alcoholic drink in our country.

The basis of any kvass is bread sourdough, so, a lot of people are able to cook it at home, by adding rye crusts. Besides, kvass can include fruits of various berries and other plant materials. For example, kvass can be made with black currants, white currants, honeysuckles, mint, raspberries, etc. These raw materials are used as additional ones to improve kvass taste, its external indicators, the smell change and, most importantly, to change the vitamin composition of the drink.

The purpose of the study is to conduct an analytical review of the preparation of liquid rye sourdough with the addition of plant raw materials and probiotic cultures, to make an analysis of their application in the production and the possibility of using them in the preparation of kvass, an analysis of the finished kvass. The results of the study showed that the introduction of extracts of plant raw materials and probiotics into the sourdough provides their and finished kvass best quality indicators .

Keywords: black currant leaves, common balm, extract, probiotics, yeast, liquid rye sourdough, acidity, number of yeast cells, fermentation, kvass wort, bread kvass.

BIOTRANSFORMATION OF COLLAGEN-CONTAINING RAW MATERIALS AND DEVELOPMENT OF ANTIOXIDANT DIRECTIONAL PRODUCT

I.S. Brashko, S.L. Tikhonov, N.V. Tikhonova, A.A. Nogina

Enzymatic collagen hydrolysates are widely used to increase the moisture-binding and water-holding capacity of the main raw meat, to increase the content of free amino acids in food and their assimilation by the human body; in this regard, it seems relevant to improve the technologies of hydrolysis of collagen-containing raw materials. Another important direction in the development of the food industry is the development of functional products, in particular, with antioxidant properties. The aim of the research is to develop a method for the biomodification of collagen-containing raw materials by enzymatic hydrolysis and to obtain a collagen-containing antioxidant product. The developed technology for biomodification of collagen-containing raw materials includes washing the skin of broiler chickens in running tap water, grinding, soaking in a collagenase solution, filtering, cutting, adding a solution of boiled salt and 10% arabinogalactan solution. The resulting connective tissue protein with arabinogalactan is a fine loose powder of light pink color with a smell characteristic of poultry meat and a mass fraction of collagen to the mass of total protein of 64%. The introduction of arabinogalac-tan into the formulation made it possible to increase the moisture-binding and gel-forming capacity (by 28.9% and 28.2%, respectively), and antioxidant activity (by 775%). The developed connective tissue protein is distinguished by high functional and technological properties, which allows it to be used in the formulation of meat products to correct the rheological properties of raw materials and increase the yield of the finished product. Key words: collagen, enzymes, hydrolysis, antioxidants, arabinogalactan, functional and technological properties.

Keywords: collagen, enzymes, hydrolysis, antioxidants, arabinogalactan, functional and technological properties.

ANALYSIS AND FEATURES OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF FRUIT AND BERRY SAUCES

E. A. Krasnoselova, A. A. Varivoda

Fruit and berry sauces are an important and quite valuable component of nutrition due to the presence of sugars, organic acids and biologically active substances in them. When developing recipes for sauces, it is advisable to use pre-processing of berries, which provides the highest yield of puree while preserving the most valuable components of the raw material.

The article examines effective methods of processing dogwood berries to obtain the maximum yield of puree with high physical and chemical parameters. It is shown that to increase the yield of puree, the maximum destruction of the cytoplasmic membrane of cells is required before wiping the raw material, which can be achieved by blanching (short-term action of water vapor or hot water for 5-15 minutes), freezing, and microwave treatment.

For the study, we used fresh, Mature, clean, one pomological variety, odorless, mold-free dogwood fruits. The berries, pre-sorted and prepared, are subjected to freezing, blanching with steam or water, and microwave processing at three microwave oven capacities. The processed mass of dogwood berries was rubbed to obtain a puree, in which the content of dry substances, vitamin C, pH was determined.

It was found that the highest yield of mashed potatoes (77.5 %) from dogwood is achieved when working with microwave processing at a power of W=350 W. The use of freezing and blanching with water vapor provides a puree yield of 71.5 and 69.3 %. However, the freezing of raw materials is accompanied by losses during defrosting. Blanching with hot water reduces the amount of soluble solids, which is confirmed by the values of physical and chemical parameters of dogwood puree.

Keywords: dogwood, berries, pretreatment, puree, physical and chemical parameters.

VEGETABLE POWDERS AS SOURCES OF SELENIUM IN PASTA

O. F. Fazullina, S. O. Smirnov

The effect of adding vegetable powders to pasta dough on the selenium content in the finished product - pasta was studied. The work used powders of broccoli and celery leaves freeze-dried by vacuum. Samples are made on a laboratory macaroni press Sandore (model Sandorina) (Italy) using traditional technology. The selenium content was studied using the method of atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization with a palladium nitric acid matrix modifier on a Hitachi 180-80 atomic absorption spectrophotometer according to GOST R 56372-2015. The studies were performed after wet mineralization of samples in nitric and perchloric acids with the addition of hydrogen peroxide and ethanol to convert selenium from inorganic and organic forms to Selenite ion in three-fold repetition. According to research, the vegetable powders used are good sources of selenium. Adding 6% of the mass of the main raw material of whole-grain spelt flour to the formulation of powders increased the selenium content in pasta by 40.7 and 86.2% in comparison with the control sample without powders. Taking into account the loss of selenium during cooking of 30 %, the average daily requirement was met by 14.9% with the addition of celery leaf powder and 27.2% with the addition of broccoli powder. The results of the study can be useful for specialists who plan to work with vegetable powders, as well as for compiling tables of the chemical composition of Russian food products.

Keywords: food products, fortification, trace elements, selenium, vegetable powders, celery, broccoli.

QUALITY AND SAFETY MANAGEMENT OF SAUSAGE BREAD BASED ON HACCP PRINCIPLES

V. B. Muzalevskiy, O. K. Motovilov

The task of the food industry is to provide the population with safe food products. The HACCP system is designed to anticipate and prevent errors through step-by-step control of the production process chain, so it is recognized as a key part of food safety management practices in the global food industry. To ensure the safety and quality of sausage bread developed at the SFNCA RAS, a HACCP plan was drawn up, for which a product description was compiled, the main hazards and error prevention measures were identified. The peculiarity of the developed sausage bread is a recipe mixture that includes chicken meat trimmings and offal, as well as amaranth seeds. In the technological scheme, there is an operation for processing a prescription mixture in a mechanoacoustic homogenizer. The HACCP system was developed using the method described in GOST R 51705.1-2001 and GOST R ISO 9001-2015 using the "decision tree". Each operation of the flowchart of the technological process was analyzed to determine the presence of a critical control point. As a result, four critical control points were identified in the following technological operations: mechanoacoustic processing of the recipe mixture, baking, packaging and labeling, and storage.

Keywords: sausage bread, HACCP, system, quality, safety, risk, control points, offal, mechanoacoustic processing, amaranth seeds.

RESEARCH OF THE COMMERCIAL ASSORTMENT OF NON-ALCOHOLIC BEVERAGES USING FOOD COLORS AND FLAVORINGS

I.V. Sandrakova, I. Yu. Reznichenko

The article is devoted to the analysis of the assortment and informational identification of the "naturalness" of dyes and flavors declared by the manufacturer of non-alcoholic carbonated drinks, presented by domestic grocery retail. The objects of research were non-alcoholic drinks of various brands of 48 names, sold in the Lenta trade network. When performing the research, the methods of analysis and systematization were used, the study of the dyes and flavorings contained in the drinks was carried out by the method of observation and content analysis. As a result of the study, the information on the composition indicated on the labeling of carbonated soft drinks was studied. It has been established that most of the assortment in the Lenta trading network is occupied by drinks tinted with one or more natural food colors (48%), as well as drinks that do not contain food colors (25%). Synthetic dyes are found in 21% of drinks; non-alcoholic carbonated drinks containing natural and synthetic dyes make up 6% of the assortment. It was revealed that in the labeling of non-alcoholic carbonated drinks there is no uniformity in the information about the flavoring agent used, which makes it difficult for the consumer to choose a product. The data obtained can have a practical implementation. The formation of an assortment of domestic non-alcoholic beverages of appropriate quality contributes to an increase in the competitiveness of Russian brands, a decrease in the risk to consumer health, and a more complete satisfaction of consumer demand for high-quality products.

Keywords: non-alcoholic carbonated drinks, assortment analysis, presence of dyes, flavorings, information, identification.

A STUDY OF SUBLIMATION DRYING OF BACTERIAL NANOCELLULOSE

I.N. Pavlov, P.S. Kuznetsov, A.I. Shilov

Bacterial nanocellulose (BNC) is receiving a widespread use because it has advantages over plant cellulose, such as such as purity, high mechanical strength, and high specific surface. BNC is produced as a gel-film with a high water content of over 90% due to the fibrous structure. The drying methods used have an impact on BNC characteristics that define its application for various purposes in the dry state. Here we present the results on the sublimation drying of BNC gel-films synthesized by the Medusomyces gisevii Sa-12 culture. Four drying modes were evaluated. The modes were selected taking into account the preservation of the original shape of the BNC film. At the first and most prolonged drying stage, the removal of much of moisture, up to 65%, leads to an inconsiderable decrease in BNC humidity, up to 92.0%. Such an effect is associated with the low content of absolutely dry BNC, as low as 0.7-0.9 %, in the wet film. At the second stage, the drying rate increases. Consequently, at lower time expenses, most of moisture is eliminated and the BCN humidity declines to 10%. The optimum drying mode at which the process times is shortened to 36 h while reaching the residual moisture of 3% was identified. To shorten the time of the first stage, pre-removal of excess moisture from BNC film was performed by centrifugation. When centrifuged, the samples have a 0.2 % to 0.8 % decrease in moisture. In doing so, much of moisture is removed, ranging from 30.9 % to 50.5 %. The drawback of centrifugation is that BNC film is deformed by contraction. The optimum conditions for moisture removal on centrifugation were determined. The reduction of initial moisture would help shorten the drying time by 4 h at a minimum deformation of 28% over BNC thickness.

Keywords: Bacterial nanocellulose, drying methods, sublimation drying, centrifugation, deformation, sublimator, semisynthetic medium, relative weight, gel-film, Medusomyces gisevii Sa-12 culture.

INVESTIGATION OF FLOW STRUCTURE FORMATION IN ROUND HORIZONTAL TUBES

V. I. Semikhin, R. V. Malyugin, D. D. Korovin

Experimental data on determining the flow rate of water through horizontal tubes of circular cross-section having different diameters and made of different materials are presented in the article. The schematic diagram of the experimental equipmentand and the experimental technique are presented. The dependence of the volumetric flow rate on the pressure drop is determined, it is shown that it is nonlinear. It is shown that the nature of the flow of water in the tubes and the volumetric flow rate of the liquid are significantly affected by intermolecular interaction, which is experimentally described by the value of the contact angle of water wetting of the tube material. Based on the analysis of the dependence of the volumetric flow rate on the pressure at the inlet of the tube, it was concluded that the influence of the initial section affects the nature of the flow at large distances, in comparison with the theoretically calculated one. The concept of the tube caliber is introduced, which is equal to the ratio of the tube length to its diameter. Using the example of tubes of different diameters, it is shown that with an increase in the tube caliber, a nonlinear decrease in the volumetric water flow rate occurs. Approximation dependences of the volumetric flow rate on the value of the reciprocal to the caliber were obtained. It is shown that an increase in the tube caliber by a factor of 7.3 leads to an increase in the volume flow rate by a factor of 1.845 at ∆P = 1.33 kPa and by a factor of 1.75 at ∆P = 2.4 kPa.

Keywords: laminar flow, turbulent flow, volumetric flow rate, flow structure.

HEAT EXCHANGE BETWEEN A SOLID PARTICLE WITH AN INTERNAL SOURCE OF THERMAL ENERGY AND ITS ENVIRONMENT

V.B. Tishin, A.G. Novosyolov, YU.N. Gulyaeva, A.A. Fedorov

Processes of heat and mass transfer between small solid particles with an internal source of heat energy and their environment are found in various industries. The issues of heat exchange between these particles and the environment of microbiological production are poorly studied. The equations used to describe the polymer production processes are analyzed. Based on these analytical studies, similar dependencies are proposed for microbiological production. These dependencies describe the heat exchange between microbial cells, which are an internal source of heat energy, and the liquid medium. It is shown that, according to these equations, with an unlimited decrease in the particle size, an unlimited increase in the heat transfer coefficient between them and the medium occurs. The concept of a large and small particle is introduced. The boundary between them is set using a special characteristic particle size v/u_*^'=L_* determined by the physical properties of the liquid and the turbulence parameters within the boundary layer. The analytical verification of the presented assumptions and the obtained equations for calculating the coefficient from microbial cells to the nutrient medium showed a more realistic picture of the process. The introduction of the Nusselt criterion as a characteristic linear size L_* of more allowed us to eliminate the result that contradicts reality.

Keywords: polymerization, particle, cell, cultivation, heat transfer, turbulence, pulsations, dynamic speed.

MECHANICAL PROPERTIES AND PERFORMANCE (CORROSION RESISTANCE) OF AL-MG SYSTEM ALUMINUM FLAT ROLLED PRODUCTS ALLOYED WITH SCANDIUM AND ZIRCONIUM

Ragazin A.A., Khalimova A.F.

The article investigates mechanical properties and performance of 1570 aluminum alloy through various types of corrosion susceptibility tests. The samples were studied in H116 temper obtained by the following flow path: industrial DC casting, homogenization, hot rolling and cold rolling in a laboratory mill. At the end of the process operations, samples were taken and studied by flat tensile (mechanical property) testing, intergranular and exfoliation corrosion testing, and microstructural examination. In the course of study, it was found that the homogenization treatment at 360-380℃ for 8 hours gives the ingot structure with the particle density distribution sufficient to stop recrystallization at treatment temperatures below 400℃; mechanical properties of 1570 alloy sheets in H116 temper with 7% work hardening exceed mechanical properties of AlMg6 alloy sheets with 25% cold work hardening; 1570 alloy flat rolled products in H116 temper exhibit high resistance to intergranular and exfoliation corrosion as per ASTM G 67 and ASTM G 66 standards.

Keywords: Aluminum alloys, homogenization, hot rolling, cold rolling, corrosion.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НИКЕЛЕВОГО ПОРОШКА В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Т.Х. Нгуен, Нгуен Ван Минь, Нгуен Тхай Ха, До Тхань Лич

Проведено исследование кинетических параметров процесса получения никелевого порошка восстановлением водородом микронного порошка NiO в изотермических условиях. Процесс водородного восстановления порошка NiO при изотермических условиях проводили в трубчатой печи в интервале температур от 275 до 316°С. Исследование кристаллической структуры и состава порошков выполняли методом рентгенофазового анализа. Удельную поверхность образцов измеряли методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота. Средний размер частиц порошков рассчитали по данным измерения удельной поверхности. Размерные характеристики и форму частиц изучали на сканирующем электронном микроскопе. Расчет кинетических параметров процесса получения никелевого порошка в изотермических условиях проводили с помощью модели Грея-Веддингтона и уравнения Аррениуса. Установлено, что константа скорости восстановления при 316°С примерно в 2 раза больше, чем в случае восстановления при 275°С, длительность процесса при этом сократилась больше, чем в 1,89 раза. Величина энергии активации процесса водородного восстановления микронных порошков NiO в изотермических условиях составила ~48 кДж/моль, что свидетельствует о смешанном режиме реагирования. В данном режиме рациональным способом ускорения процесса является как повышение температуры, так и устранение диффузионного слоя продукта восстановления путем интенсивного перемешивания.

Ключевые слова: никель, оксид никеля, микронный порошок, кинетические параметры, водородное восстановление, изотермические условия.

THE STUDY OF THE PROCESS DISSOLUTION OF BORPOLYMER IN EPOXYANHYDRIDE BINDER

A.G. Tuisov, A.A. Kychkin, E. S. Anan'eva, E.M. Maksimova

The development of new compositions of polymer binders for the production of composite materials by modifying the basic formulations with various additives remains one of the most relevant areas of research in the field of materials science. By varying the component composition and the ratio of components, it is possible to regulate the properties of the binder and obtain composites with the required values of strength, modulus of elasticity and deformability. The polymer matrix ensures the solidity of the material and resistance to operational factors. One of the important requirements for the binder material is the requirements for heat resistance and technology.

Polymer binder based on epoxy resin and anhydride hardener is one of the most common types of binder in the production of reinforced plastics. Despite its high strength characteristics, the binder has low thermal stability and resistance to aggressive media (relative to the desired operating conditions). In order to improve these characteristics, a modification with the addition of boric acid polymethylene-p-triphenyl ether is proposed. In order to study the possibility of introducing an additive into the binder, the process of dissolution of polymethylene-p-triphenyl ether of boric acid in the components of an epoxy anhydride binder was studied. The temperature and time conditions for the dissolution of polymethylene-p-triphenyl ether of boric acid in an anhydride type hardener are obtained.

Keywords: epoxy binder, isomethyltetrahydrophthalic anhydride, boron-limer, modifying additive, viscosity, solubility, melting point, initial conditional viscosity, dissolution time.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SANDWICH PANELS MADE OF POLYMER COMPOSITES PRODUCED BY VACUUM INFUSION AND CONTACT ADHESIVES

A. E. Protsenko, V. V. Petrov, D. P. Malysheva

In this paper, we discuss data on the strength properties of sandwich panels made by vacuum infusion (VaRTM)and contact molding. These materials are widely used in shipbuilding. The Central part of the sandwich panel is made of fiberglass corrugated element with forming trapezoidal inserts made of PVC foam. Fiberglass, made of four sheets of fiberglass, was used as the structure's cladding. In the case of sandwich panels made by the VaRTM method, the middle layer and both sheaths were formed in one technological transition. When using the contact molding method, the middle layer was first formed, on which the skin was alternately molded. The samples obtained using VaRTM are a single monolithic laminate without any defects. The density of the sample obtained by the VaRTM method is 20% higher than the density of the sample obtained by the contact molding method. The use of scanning electron microscopy revealed a significant number of pores with a diameter from 200 microns to 400 microns and reaching 1 mm in length in samples obtained by contact molding. The tensile strength of panels produced using VaRTM is 13 % higher than in products made by contact molding.

Keywords: polymer composite materials, PCM, sandwich panels, vacuum infusion, contact molding, strength, electron microscopy, thermal analysis, epoxy vinyl ester binder, technology.

HIGH TEMPERATURE SYNTHESIS OF MECHANICALLY ACTIVATED MIXTURE OF Ti + Al, IRRADIATED BY GAMMA-QUANTA WITH LOW DOSE RATE

A. A. Sitnikov, M. V. Loginova, A. V. Sobachkin, V. I. Yakovlev, V. Y. Filimonov, A. Y. Myasnikov, M. R. Syrovezhkin

Gamma-irradiation is used before high-temperature synthesis to implement "fine" structure control in mechanically activated powder materials. Experimental studies on the effect of low-dose gamma-quanta on the phase state of mechanoactivated T + Al powder mixtures were carried out. The features of the subsequent high-temperature synthesis in such a system with different exothermic exposure times are revealed, and the effect of gamma irradiation on the phase state of the synthesized products is studied. The mechanoactivated mixture corresponded to the stoichiometric composition of Ti (64 wt.%) + Al (36 wt.%). The dose rate of gamma radiation was 0.1 Gy/s. The level of exposure to gamma-quanta was characterized by absorbed doses of $Dy=1\cdot10^3$ *Gy and* $Dy=2\cdot10^4$ *Gy. It has been experimentally established that low-power irradiation (0.1 Gy/s) does not lead to the formation of a single-phase TiAl during high-temperature synthesis in the thermal explosion mode. The synthesis products contain intermetallic compounds: TiAl,* $TiAl_3$, Ti_3Al, *and residual Ti.*

Keywords: powder mixture, mechanical activation, gamma-irradiation, high-temperature synthesis, x-ray diffractometry, phase formation.

THE MECHANISM OF FORMATION OF DIFFUSION LAYER PREPARIROVANIE WEAR-RESISTANT CAST IRON CHH28

V. I. Mosolov, W. L. Dashdorjiin, B. D. Lygdenov, O. 3. Gala, Bayaraa Javhlan

The paper presents the results of a study of the mechanism of formation of the diffusion layer during boronation of wear-resistant cast iron. Metallographic analysis of the microstructure showed that a diffusion boride layer 45-50 microns thick was formed on the surface. The layer has a characteristic needle-like structure for borides, rather compact, without branching ends of boride needles. The low layer thickness is affected by the high chromium content (25-30%) in cast iron, which prevents diffusion processes. It should be noted that there is no graphite layer, the formation of which is typical for chemical and thermal treatment of cast iron. Durometric studies have shown that the maximum microhardness is 21000 MPa, with a gradual decrease to the values of 9500-9700 MPa, in the core. The absence of a sharp drop in microhardness values to the core of cast iron indicates the presence of a transition zone after the boride layer. The transition zone of the main material has a predominantly perlite-cementite structure. It is known that alloying elements interfere with the diffusion process from the point of view of forming layers of large thickness. However, the effect of chromium (Cr) on the phase composition clearly has a positive effect. Chromium reduces the proportion of the highly porous phase FeB in the diffusion layer, increasing the plasticity of the boride coating and increases the coefficient of friction of the diffusion layer, increasing the service life of hardened products.

Keywords: boration, wear-resistant cast iron, microstructure, microhardness, boron carbide.

OPTIMAL CHOICE OF COMPOSITION OF THE MECHANOACTIVATED MIXTURE TI + AL FOR INVESTIGATION THE DYNAMICS OF STRUCTURAL-PHASE PROCESSES IN HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

M. V. Loginova, A. V. Sobachkin, A. A. Sitnikov, V. Yu. Filimonov,
V. I. Yakovlev, A. Y. Myasnikov, M. V. Pogorel'tsev

One of the promising methods for producing titanium aluminides is self-propagating high-temperature synthesis. An important factor that determines the structure-phase formation in the Ti-Al system, as well as the final phase composition of the synthesized product, is the ratio of the initial elements. In this regard, experimental studies on the choice of the composition of a mechanoactivated Ti + Al powder mixture were carried out in this paper for further research on the detailed analysis of the dynamics of structural-phase transformations during high-temperature synthesis of the γ-phase (TiAl). Titanium and aluminum powders were selected as research objects. A mechanical mixture was prepared from these powders, varying the ratio of Al and Ti by mass percent from 32 to 40 % Al. Then the mixtures were subjected to mechanical activation in a planetary ball mill AGO-2 under completely identical conditions: the mill's energy intensity is 40 g, and the activation time is 7 min. At the next stage, high-temperature synthesis was performed in these compositions, and diffractograms of the synthesis products were analyzed. It was found that the optimal composition is Al (36 wt.%) + Ti, since in this case the synthesized product is closest to the monophase γ-TiAl

Keywords: powder mixture, mechanical activation, high-temperature synthesis, phase composition, titanium aluminides.

STUDY OF THE EFFECT OF THE RATIO OF INDIVIDUAL COMPONENTS AND CHARGE COMPOSITIONS ON THE PROPERTIES OF POROUS PERMEABLE SHS-CATALYTIC MATERIALS FOR SHIP DIESEL NEUTRALIZATION SYSTEMS

N. N. Gorlova, G. V. Medvedev, A. A. Sitnikov

The main characteristics and properties of materials based on alloy steel and molding clay obtained by high-temperature synthesis were studied. The attractiveness of using steel scale and molding clay as part of the charge for obtaining porous permeable catalytic materials lies in its significant resources, availability and low cost.

The possibility of obtaining a porous permeable SHS - catalytic material with the replacement of valuable components in the charge by grinding ores containing the necessary elements to ensure self-propagating high-temperature synthesis and providing a material with the necessary physical, physico-mechanical and functional properties is considered. The main properties and characteristics of a porous permeable SHS-catalytic material based on the grinding of ilmenite ore are studied. A comparative assessment was made to determine the effect of the proportion of components that ensure the passage of the process of self-propagating high-temperature synthesis on the air permeability and impact strength of the resulting catalytic material for ship diesel neutralization systems.

Data on the dependence of air permeability and impact strength of a porous SHS-catalytic material on the charge composition were obtained experimentally for the first time. The results were described mathematically.

As a result of preliminary studies, the variants of the charge composition that provide physical, physical-mechanical and functional properties of a porous permeable SHS-catalytic material for ship diesel neutralization systems were determined.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, steel scale, molding clay, ilmenite, exhaust gases, diesel.

USE OF XENOTIMA ORE IN THE PRODUCTION OF POROUS PERMEABLE CATALYTIC MATERIALS FOR CLEANING DIESEL EXHAUST GASES IN NEUTRALIZERS

N. N. Gorlova, G. V. Medvedev, M. S. Kanapinov, A. E. Svistula

The paper considers the possibility of using xenotimum ore grinding in the charge of a porous permeable catalytic material obtained using self-expanding high-temperature synthesis. The attractiveness of the xenotime ore consists in its qualitative and quantitative composition. Rare-earth metals in the xenotim ore composition ensure the passage of self-propagating high-temperature synthesis to obtain a catalytic material with the necessary physical, physical-mechanical and functional properties and characteristics.

In the course of the study, the dependence of the average reduced pore diameter in the material on the content of xenotimum ore in the grinding charge, which was described mathematically, was determined. The expression makes it possible to predict the average reduced pore diameter in the material depending on the content of xenotimum ore grinding in the charge.

For the first time, experimental data on the dependence of pore tortuosity, porosity, and specific surface area in a porous material on the content of xenotimum ore grinding in the charge were obtained and described mathematically.

In the course of research, the influence of the xenotimum ore grinding concentration in the charge on the change in the mechanical strength of materials and the impact strength obtained by high-temperature synthesis was found, which confirmed the hypothesis that there is a General law of the impact of the main component of the material on the mechanical strength indicators.

Processing of experimental data indicates the existence of linear relationships between the concentration of xenotimum ore in the charge and the values of the compressive Flexural strength and impact strength.

Keywords: exhaust gases, diesel, purification, self-propagating high-temperature synthesis, ore.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Ананьева Е.С. 117
Афанасьева Ю.Г. 10
Баяраа Жавхалан 131
Брасалин С.Н. 40
Брашко И.С. 62
Бухарев А.Г. 44
Варивода А.А. 66
Гаврилова Н.Б. 44
Галаа О.З. 131
Горлова Н.Н. 140, 147
Гуляева Ю.Н. 100
Do Thanh Lich 112
Евграфова В.Е. 53
Егорова Е.Ю. 3
Ермош Л.Г. 26
Захарова А.С. 3
Инербаева А.Т. 48
Канапинов М.С. 147
Козубаева Л.А. 3, 14
Колесниченко М.Н. 53
Коровин Д.Д. 95
Красноселова Е.А. 66
Кузнецов П.С. 88
Кузьмина С.С. 3, 14
Курцева В.Г. 53
Кычкин А.А. 117
Лобов А.А. 31
Логинова М.В. 127, 136
Лыгденов Б.Д. 131
Мазалевский В.Б. 75
Максимова Е.М. 117
Малышева Д.П. 121
Малюгин Р.В. 95
Медведев Г.В. 140, 147
Мелёшкина Л.Е. 10, 36
Минаков А.С. 40
Мишигдоржийн У.Л. 131
Мосоров В.И. 131
Мотовилов О.К. 75
Мясников А.Ю. 127, 136
Nguyen T.H. 112
Nguyen Thai Ha 112
Nguyen Van Minh 112
Непомнящих Е.Н. 26
Новосёлов А.Г. 100
Ногина А.А. 62
Павлов И.Н. 88
Петров В.В. 121
Погорельцев М. В. 136
Присухина Н.В. 26
Протопопов Д.Н. 14
Проценко А.Е. 121
Рагазин А.А. 107
Резниченко И. Ю. 82
Сандракова И.В. 82
Свистула А.Е. 147
Семихин В.И. 95
Ситников А.А. 127, 136, 140
Смирнов С.О. 20, 70
Собачкин А.В. 127, 136
Стурова Ю.Г. 10
Сыровежкин М. Р. 127
Тихонов С.Л. 62
Тихонова Н.В. 62
Тишин В.Б. 100
Туисов А.Г. 117
Урубков С.А. 20
Фазуллина О.Ф. 70
Федоров А.А. 100
Филимонов В. Ю. 127, 136
Халимова А.Ф. 107
Хованская С.С. 20
Червякова Н.В. 36
Шилов А.И. 88
Шкарпетко В.А. 14
Щетинина Е.М. 44
Яковлев В. И. 127, 136

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке (в начале текста статьи) с приложением в отдельном файле перевода названия, аннотации, ФИО авторов и ключевых слов на английском языке, а также сведений об авторах (учёной степени, звания и места работы, e-mail и/или контактного телефона) должна отвечать следующим требованиям:

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке *«Разметка страницы»*: используется *размер бумаги* формата А4, *ориентация* листа *книжная*. *Поля: верхнее* – 3,5 см; *нижнее* – 2,5 см; *левое* – 2,5 см; *правое* – 2,5 см; *переплет* – 0 см; В диалоге «*Колонки*» – *«Другие колонки»* выбирается расположение текста в *"две"* колонки, устанавливается *ширина колонок* – 7,65 см, *промежуток* между ними – 0,7 см. В диалоге *«Расстановка переносов»* выбирается *"авто"*.

Во вкладке *«Вставка»* выбирается *«Верхний колонтитул» – «Пустой»*, далее появляется вкладка *«Конструктор»*, включаются *"Особый колонтитул для первой страницы"* и *"Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц"*. Колонтитулы от края: *верхний* – 2,0 см; *нижний* – 2,0 см.

В верхнем колонтитуле указывается: на титульной странице – «особый колонтитул»; на чётных страницах – *инициалы и фамилия автора* (“Arial“, 10 пунктов, прописные); на нечётных страницах – *название статьи* (“Arial“, 10 пунктов, прописные). Нумерация страниц проставляется шрифтом размером “Arial“, 12 пунктов, курсив. Расположение нумерации – внизу страницы в нижнем колонтитуле, для *четных страниц* выравнивание по *левому краю*, для *нечетных* по *правому*.

Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:

- УДК (размещение в левом верхнем углу документа);
- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт “Arial“, размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа;
- Инициалы и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт “Arial“, размер шрифта текста – 12 пунктов);
- аннотация (шрифт “Arial“, размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками “одинарный“) – текст (объемом 150 - 200 слов), отражающий актуальность, цель, методы исследования, полученные результаты;
- ключевые слова (не менее 10 слов или словосочетаний) (шрифт “Arial“, размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками “одинарный“);
- основной текст (для основной части текста используется шрифт “Arial“, размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками “одинарный“);
- список литературы (шрифт “Arial“, размер – 9 пунктов) – не менее 10 позиций, оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления»;
- сведения об авторах (Фамилия, имя, отчество, учёная степень, звание, место работы, e-mail и/или контактный телефон);
- на английском языке перевод названия статьи, ФИО авторов, аннотации и ключевых слов в отдельном файле.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста!

При приеме работы в печать обязательно наличие твердой копии и экспертного заключения!

К публикации принимаются статьи, ранее нигде не опубликованные и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят закрытое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу polz_journal@mail.ru. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

К статье прилагается согласие на обработку персональных данных.

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

Ананьева Елена Сергеевна – тел.: 8 (3852) 298-765, e-mail: eleana2004@mail.ru

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 89039905960, e-mail: polz_journal@mail.ru

Подписано в печать 14.12.2020. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл.п.л. 19,53. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46