

ПОЛЗУНОВСКИЙ

ISSN 2072-8921

ВЕСТНИК

№ 3
2020

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



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)**Р. Бессон**, 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 ма-
териалов» КНИТУ(г. Казань)**Ильясов С. Г.**, д.х.н., заместитель директора по
научной работе ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск)**Леонов Г. В.**, д.т.н., проф. БТИ (г. Бийск)**Петров Е. А.**, д.т.н., проф., декан инженерного
спецфакультета БТИ (г. Бийск)**Деев В. Б.**, д.т.н., проф., главный научный со-
трудник Инжинирингового центра «Литейные тех-
нологии и материалы» НИТУ МИСиС (г. Москва)**Батаев В. А.**, д.т.н., проф., ведущий научный со-
трудник НГТУ (г. Новосибирск)**Мэй Шунчи**, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)**Коновалов С. В.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Техно-
логии металлов и авиационного материаловедения»
Самарского университета (г. Самара)**Лыгденев Б. Д.**, д.т.н., проф. УТУ (г. Ухань, Китай)**Щетинин М. П.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Техноло-
гия продуктов питания» АлтГТУ (г. Барнаул)**Тамова М. Ю.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Обществен-
ного 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., директор Сибирского
НИИ сыроделия СО РАСХН (г. Барнаул)**Новоселов С. В.**, д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)**Погребенков В. М.**, д.т.н., проф. ТПУ (г. Томск)**Романов А. С.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Техноло-
гия хлеба, кондитерских и макаронных изделий»
КемГУ (г. Кемерово)**Алтухов И. В.**, д.т.н., проф. ИрГАУ (г. Иркутск)**Гуринович Г. В.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Техно-
логия мяса и мясных продуктов» КемГУ (г. Кеме-
рово)**Ананьева Е. С.**, к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)**РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ
ПИТАНИЯ****В. Ю. Айрумян, Н. В. Сокол, Е. А. Оль-
ховатов**Химический состав продуктов перера-
ботки зерна риса и кукурузы для повышения
пищевой и биологической ценности хлебу-
лочных изделий.....3**Е. А. Запорожан, Е. Ю. Егорова, С. Н. Цы-
ганок**Влияние предварительной ультразвуко-
вой обработки воды на характеристики мо-
дельных эмульсий на основе кедрового
жмыха.....11**Т. В. Орлова**Сапонины квиноа (*Chenopodium quinoa*
Willd): строение, очистка, биоактивная роль и
применение в пищевой промышленности.
Обзор.....16**Л. А. Оганесянц, Л. Н. Крикунова,
Е. В. Дубинина, С. Д. Швец**Оценка перспектив применения актива-
торов брожения в технологии дистиллятов из
плодов кизила.....24**Н. К. Шелковская, В. А. Вагнер**Столовые вина из винограда француз-
ских сортов, выращенного в условиях пред-
горной зоны Алтайского края.....31**А. Т. Пруссакова, М. С. Воронина**Изучение физико-химических показате-
лей плодово-ягодных ингредиентов макро-
биотических каш.....35**А. Л. Новокшанова, Н. О. Матвеева,
А. А. Невский**Взаимосвязь углеводного состава маль-
тодекстрина и органолептических показате-
лей концентрата творожной сыворотки, полу-
ченного нанопрофильтрацией.....39**В. В. Тригуб, М. В. Николенко**Изучение качества и безопасности мо-
лочных продуктов44**Е. П. Каменская, А. А. Чанчикова**Влияние различных способов брожения
пивного сусла на качественные показатели
светлого пива.....48

*А. М. Чистяков, И. Ю. Резниченко,
М. В. Петрова, Ю. В. Устинова*

Риск-ориентированный подход в технологии обогащенных мучных кондитерских изделий.....55

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И. А. Богданов, А. А. Алтынов, К. Э. Марданов, М. В. Киргина

Направление превращений углеводов стабильного газового конденсата на цеолитном катализаторе в условиях проведения цеоформинга.....60

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Д. В. Жуков, С. В. Коновалов, А. А. Мельников, К. К. Чаплыгин

Исследование структуры и прочности сварного соединения труб с расслоением стенки.....66

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

Влияние гамма-облучения на структурно-фазовые характеристики продуктов, полученных SPS спеканием.....71

С. А. Лысых, Ю. П. Хараев, В. Н. Корнопольцев, Хэ Сяо Чжун, Б. Д. Лыгденов, А. М. Гурьев

Формирование диффузионных слоев и исследование шероховатости при комплексном насыщении поверхности стали 5ХНМ бором и медью.....77

*Е. А. Письменный, А. М. Марков,
Д. А. Габец*

Исследование влияния химического состава кремнистой стали на её механические свойства.....83

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

Исследование жаростойкости покрытия Ti-Al-Nb на модельных образцах поршневого алюминиевого сплава.....88

*Ц. Эрдэнэбат, Б. Уурийнцолмон,
Р. Санжаасурэн, Б. Д. Лыгденов, Б. Намжилдорж, Ж. Оюун*

Исследование гидратации портландцемента с использованием глинистых минералов из восточной Гоби Монголии.....93

*С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, С. А. Земляков,
М. А. Гурьев*

Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы.....102

CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS.....106

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....115

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 07.10.2020 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.2072-8921.2020.03.001
УДК 664.761; 664.782.86

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА РИСА И КУКУРУЗЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В. Ю. Айрумян, Н. В. Сокол, Е. А. Ольховатов

Впервые обобщены результаты комплексного исследования химического состава продуктов переработки зерна риса. Для продуктов переработки зерна риса и кукурузы отечественного производства – мучки рисовой, муки рисовой и муки кукурузной, – изучены такие основные показатели их нутриентного состава, как общее содержание белка, липидов, крахмала, клетчатки и золы; определен аминокислотный состав и степень его сбалансированности; оценен жирнокислотный состав мучки рисовой и муки кукурузной; исследован углеводный, витаминный и минеральный комплексы мучки рисовой, муки рисовой и муки кукурузной.

Установлено, что аминокислотный состав мучки рисовой выгодно отличает благоприятное количество незаменимых аминокислот, а жирнокислотный – наличие незаменимых жирных кислот на общем фоне высокого содержания клетчатки, витаминов группы В, витамина Е, минеральных веществ, включая кальций, железо, цинк; муку рисовую характеризует высокое количество легкоусвояемого мелкогранулированного крахмала; мука кукурузная имеет благоприятный состав витаминного и минерального комплексов.

Всестороннее исследование химического состава муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой формирует предпосылки перспектив совместного использования этих материалов в виде мучных композитных смесей для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой и биологической ценности.

Ключевые слова: химический состав, мука рисовая, мука кукурузная, мучка рисовая, пищевая и биологическая ценность, хлебобулочные изделия.

Известные на настоящий момент времени и вновь разрабатываемые технологии продуктов питания должны быть ориентированы прежде всего на пищевую безопасность, сбалансированность нутриентного состава, а также иметь улучшенные потребительские характеристики, в первую очередь, пищевую и биологическую ценности. Такой подход актуален для продуктов массового и повседневного потребления, одним из которых является хлеб. Известно, что основной компонент хлеба – пшеничная мука, – имеет не сбалансированный белковый состав и обеднена многими биологически ценными компонентами.

Для решения проблемы повышения пищевой и биологической ценности хлеба многие отечественные и зарубежные исследователи применяют натуральные продукты растительного или животного происхождения, а также нетрадиционные источники нутриентов и вторичные продукты пищевой промышленности, особой ценностью которых является комплексное обогащение хлеба рядом компонентов условно белковой, минеральной или витаминной природы [1, 2, 3, 4].

Одним из перспективных направлений повышения пищевой и биологической ценности хлеба является целенаправленное изменение химического состава мучного компонента рецептурных смесей путем замены некоторого количества муки пшеничной продуктами переработки других зерновых культур в частности, риса и кукурузы.

Краснодарский край является крупнейшим производителем риса в России. Мука рисовая относится к гипоаллергенным продуктам, рекомендуемым для диетического, спортивного и детского питания. Благодаря уникальному строению крахмального зерна и его высокой питательности, мука рисовая, насыщая организм энергией, снижает его потребность в жирах и белом сахаре. При этом содержание липидов в муке рисовой предельно низкое, что в совокупности с легкоусвояемым крахмалом делает ее диетическим продуктом. Мука рисовая содержит также витамины, макро- и микроэлементы [5].

Крупяной промышленностью при переработке зерна риса вырабатываются различные вторичные продукты, в числе которых особо следует отметить мучку рисовую, состав кото-

рой содержит частицы мучнистого ядра, семенных и плодовых оболочек, небольшое количество зародышей и цветочных пленок. Согласно исследованиям, мучку рисовую отличает высокое содержание основных пищевых компонентов: клетчатки, витаминов и минеральных веществ, а также полноценные аминокислотный и жирнокислотный составы [6, 7, 8]. Продукты переработки риса благотворно влияют на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, улучшают всасывающую и моторную функции желудочно-кишечного тракта.

Значимость кукурузы как компонента питания в Европе отметили внесением ее в реестр хлебных продуктов наряду с пшеницей и рисом. Муку кукурузную выгодно отличают высокие вкусовые качества, состав витаминного и минерального комплексов, а по содержанию клетчатки она опережает другие злаковые культуры. Минеральный состав ее богат фосфором, цинком, железом, калием, натрием, магнием, марганцем, уникален присутствием небольших количеств золота, нормализующего гормональные процессы и укрепляющего иммунитет, а содержащиеся соединения никеля и меди сообщают ей гипоаллергенные свойства. Продукты переработ-

ки зерна кукурузы включены в число рекомендуемых для детских рационов и входят в состав различных диет благодаря ее высокой питательности, способности к активизации метаболических процессов, очищающему воздействию на организм, положительному эффекту на функции центральной нервной и женской репродуктивной систем, мочегонным свойствам и коррекции мышечной массы в сторону ее наращивания естественным путем в детском и пожилом возрасте [9, 10].

Цель работы заключается в комплексном исследовании химического состава продуктов переработки зерна риса и кукурузы – муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой, – для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой и биологической ценности.

Для определения возможности использования муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой в создании мучных композитных смесей повышенной пищевой и биологической ценности исследовали основные характеристики химического состава, включая содержание аминокислот, жирных кислот, полисахаридов, витаминов, минералов моно- и дисахаридов. Структурная схема исследований приведена на рисунке 1.

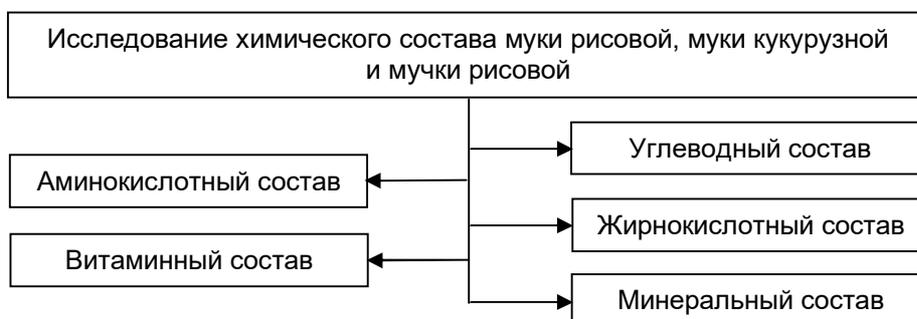


Рисунок 1 – Структурная схема исследований

Отдельные физико-химические характеристики муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой определяли по общепринятым методикам: содержание белка – по ГОСТ 10846-91, зольность – по ГОСТ 27494-2016, содержание крахмала – по ГОСТ 10845-98, содержание клетчатки – по ГОСТ ISO 6865-2015, содержание жира – по ГОСТ ISO 11085-2016. Аминокислотный состав объектов исследования оценивали на анализаторе аминокислот, состоящем из ВЭЖХ-системы YL9100 и системы постколоночной дериватизации Pinnacle PCX. Жирнокислотный состав липидов мучки рисовой и муки кукурузной анализировали методом газовой хроматографии в виде метиловых эфиров (FAME) на рабочей станции CHRONECT FAME. Витаминный и микроэлементный составы ис-

следовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе «Люмахром» со спектрофотометрическим детектированием.

В качестве объектов проводимых исследований в работе использовали образцы мучки рисовой, отобранные на предприятиях Краснодарского края: заводе «Приволье», заводе «Континент», ООО «Кубанская крупяная компания», а также муку рисовую и муку кукурузную отечественных производителей.

На первом этапе химический состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой был исследован по содержанию основных компонентов. Результаты проведенных анализов представлены в таблице 1.

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА РИСА И КУКУРУЗЫ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Таблица 1 – Химический состав мукирисовой, муки кукурузной и мучки рисовой

Объект исследования	Значение показателя, %				
	Белок	Липиды	Крахмал	Клетчатка	Зола
Мучка рисовая:					
- завод «Приволье»	16,5±0,01	15,2±0,02	48,5±0,01	25,4±0,02	8,6±0,01
- завод «Континент»	17,1±0,01	15,7±0,01	48,6±0,01	25,2±0,02	8,7±0,01
- ООО «Кубанская крупяная компания»	16,1±0,01	16,1±0,02	52,1±0,02	25,1±0,01	8,2±0,01
Мука:					
- рисовая	7,4±0,05	0,6±0,01	79,1±0,01	2,3±0,01	0,5±0,01
- кукурузная (из высоко-лизинового гибрида)	7,2±0,02	1,5±0,02	70,6±0,02	4,4±0,02	0,8±0,01

Установлено, что химический состав объектов исследования имеет ряд отдельных особенностей. Так, содержание белка в муке рисовой и муке кукурузной практически одинаковое, тогда как в мучке рисовой – в 2,2 раза выше. Наименьшее количество липидов отмечено в муке рисовой (0,6 %), максимальное значение этого показателя, почти в 10 раз больше, чем в муке кукурузной (1,5 %), выявлено в мучке рисовой (15,6 % в среднем). Установлено также, что в муке рисовой количество крахмала выше, чем в муке кукурузной и мучке рисовой на 11 % и 38,5 % соответственно.

Повышенное содержание клетчатки и зольных веществ в мучке рисовой (25,2 % и 8,5 %) по сравнению с мукой рисовой (2,3 % и 0,5 %) и мукой кукурузной (4,4 % и 0,8 %) обусловлено наличием в технологической схеме переработки сырья операций шелушения и шлифования, когда в мучку попадает значительное количество плодовых и семенных оболочек.

Таким образом, химический состав мучки

рисовой характеризуется высоким содержанием основных пищевых веществ, мука рисовая отличается высоким содержанием легкоусвояемого крахмала, а мука кукурузная – повышенным содержанием клетчатки, что в совокупности создает предпосылки их совместного использования в виде мучных композитных смесей направленного действия для повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий.

Поскольку по значениям исследуемых показателей отобранные образцы мучки рисовой существенных отличий не показали, то для дальнейших исследований нами была произвольно выбрана мучка рисовая, полученная с завода «Приволье».

На следующем этапе для обоснования целесообразности использования муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой с точки зрения их биологической ценности определяли аминокислотный состав и степень его сбалансированности. Результаты анализа аминокислотного состава объектов исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Аминокислотный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой, г/100 г белка

Показатель	Значение показателя по объектам исследования, г/100 г белка		
	Мучка рисовая	Мука	
		рисовая	кукурузная (из высоко-лизинового гибрида)
1	2	3	4
Незаменимые аминокислоты			
Лизин	5,0±0,05	2,21±0,01	3,35±0,05
Изолейцин	4,1±0,01	3,2±0,02	3,52±0,01
Лейцин	7,3±0,01	6,33±0,01	11,8±0,01
Треонин	4,1±0,02	3,5±0,01	3,7±0,02
Валин	5,2±0,01	4,6±0,01	5,42±0,01
Триптофан	1,5±0,01	0,59±0,02	2,24±0,01
Метионин	2,36±0,02	1,99±0,01	3,2±0,02

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Фенилаланин	6,6±0,01	4,1±0,02	5,9±0,02
Сумма незаменимых аминокислот	35,56±0,14	26,52±0,11	39,13±0,15
Заменимые аминокислоты			
Аспарагиновая кислота	9,2±0,01	10,3±0,01	8,13±0,02
Глутаминовая кислота	18,3±0,02	20,7±0,01	20,4±0,01
Тирозин	3,9±0,01	4,1±0,01	3,17±0,01
Цистин	2,3±0,01	3,8±0,02	3,4±0,01
Серин	4,4±0,01	5,1±0,01	4,2±0,01
Пролин	5,94±0,02	6,34±0,01	5,3±0,01
Глицин	3,3±0,01	3,45±0,02	3,45±0,02
Аланин	6,4±0,02	7,3±0,01	5,94±0,02
Аргинин	8,3±0,01	9,5±0,01	3,58±0,02
Гистидин	2,4±0,01	3,13±0,01	3,3±0,01
Сумма заменимых аминокислот	64,44±0,13	73,48±0,12	60,87±0,14

При анализе данных таблицы 2 установлено, что аминокислотный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой включает все незаменимые аминокислоты при значительном отличии отдельных образцов по их количеству.

Достоверно установлено по всем образцам, что максимальное количество незаменимых аминокислот содержится в муке кукурузной (39 г/100 г белка), минимальное – в муке рисовой (26,52 г/100 г белка). Количество лейцина, триптофана и метионина в муке кукурузной, чем в мучке рисовой на 38,1 %, 37,5 % и 27,2 % соответственно выше, со-

держание валина приблизительно одинаковое, остальных незаменимых аминокислот в среднем на 10–12 % меньше.

В целом в продуктах переработки зерна риса (мучка рисовая и мука рисовая) отмечено высокое количество аспарагиновой кислоты и гистидина, содержание других заменимых аминокислот незначительно отличается от муки кукурузной.

В дальнейшем содержание аминокислот муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой сравнивали с эталонным белком. Результаты сравнения представлены на рисунке 2.

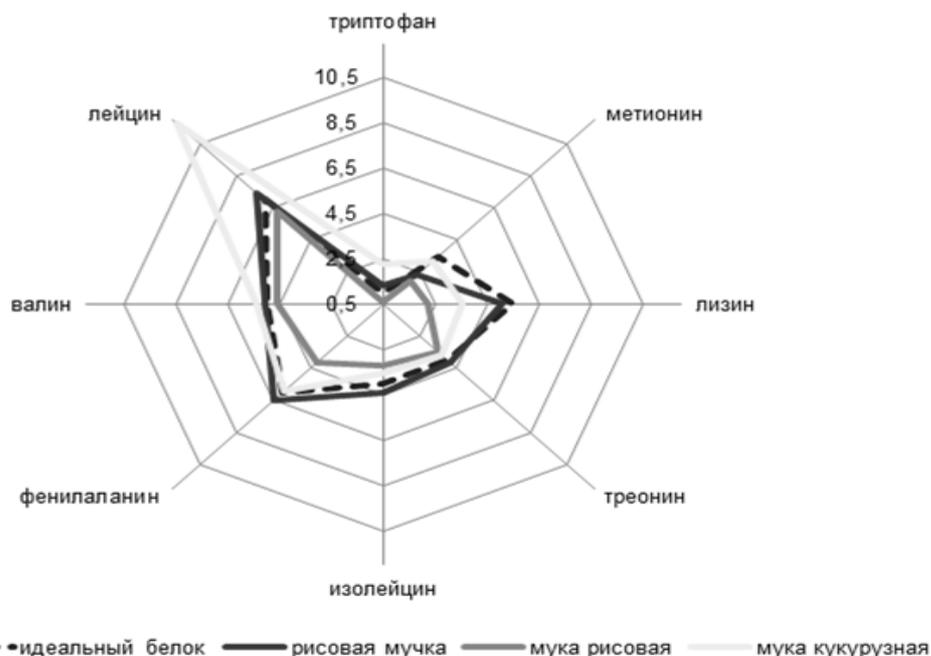


Рисунок 2 – Сравнительный анализ аминокислотного состава муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой с эталонным белком

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА РИСА И КУКУРУЗЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Анализ данных диаграммы рисунка 2 позволяет с высокой степенью достоверности установить степень соответствия аминокислотного состава белка объектов исследования требованиям к содержанию незаменимых аминокислот в эталонном белке.

Стоит отметить, что в мучке рисовой значение показателя аминокислотного сора превышает 100 % для триптофана, треонина, изолейцина, фенилаланина, валина и лейцина. Первой лимитирующей аминокислотой при этом является метионин (аминокислотный скор 65,7 %), второй – лизин (аминокислотный скор 92,7 %). В муке кукурузной количество лейцина на 60 % и 86 % больше, чем в мучке рисовой и мучке рисовой соответственно, содержание треонина, валина и фенилаланина приблизительно одинаковое в сравнении с мучкой рисовой.

Таким образом, белки мучки рисовой и муки кукурузной отличаются высоким содержанием незаменимых аминокислот, по многим из которых они приближаются к идеальному белку, что показывает реальные перспективы использования их в составе хлебобулочных изделий для повышения биологической ценности.

Согласно литературным данным [11], мучку рисовую отличает высокое содержание жиров, поэтому исследование жирнокислотного состава представляет дополнительный интерес для обоснования биологической значимости мучки рисовой. Поскольку содержание липидов в мучке рисовой очень низкое (0,6 %), то исследовать ее жирнокислотный состав нецелесообразно. Результаты жирнокислотного состава липидов мучки рисовой и муки кукурузной приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Жирнокислотный состав липидов мучки рисовой и муки кукурузной, % общего количества жирных кислот

Показатель	Значение показателя, %:	
	Мучка рисовая	Мука кукурузная
насыщенные жирные кислоты		
Миристиновая	0,25±0,02	–
Пальмитиновая	14,57±0,01	0,44±0,01
Стеариновая	1,38±0,01	0,06±0,02
Общее содержание насыщенных жирных кислот	16,2±0,04	0,50±0,03
мононенасыщенные жирные кислоты		
Пальмитолеиновая	0,04±0,01	–
Олеиновая (омега-9)	28,56±0,01	0,99±0,01
Гондоевая (11-эйкозеновая) (омега-9)	0,49±0,01	–
Общее содержание мононенасыщенных жирных кислот	29,09±0,03	0,99±0,01
полиненасыщенные жирные кислоты		
Линолевая	23,41±0,01	1,68±0,01
γ-Линоленовая (омега-3)	0,63±0,02	0,065±0,02
α-Линоленовая (омега-3)	0,57±0,01	–
Общее содержание полиненасыщенных жирных кислот	24,61±0,04	1,745±0,03

Согласно данным таблицы 3, липидный состав мучки рисовой и муки кукурузной представлен насыщенными, мононенасыщенными и ненасыщенными жирными кислотами.

Насыщенные жирные кислоты, которые физиологически неактивны и являются лишь запасным энергетическим материалом, представлены в мучке рисовой и муке кукурузной пальмитиновой (14,57 % и 0,44 % соответственно) и стеариновой (1,38 % и 0,06 % соответственно) кислотами, в мучке рисовой отмечено также незначительное содержание миристиновой кислоты (0,25 %).

Из мононенасыщенных омега-9 жирных

кислот в муке кукурузной присутствует лишь около одного процента олеиновой кислоты, тогда как в мучке рисовой она является преобладающей (28,56 %). Кроме олеиновой кислоты в рисовой мучке содержатся гондоевая (0,49 %) и пальмитолеиновая (0,04 %) кислоты. Полиненасыщенные жирные кислоты, являющиеся незаменимыми для человека, в мучке рисовой и муке кукурузной представлены линолевой (23,41 % и 1,68 % соответственно) и линоленовой (1,1 % и 0,065 % соответственно) кислотами.

В зерне риса углеводы составляют большую часть его химического состава. Продукты переработки риса содержат части-

цы оболочек, эндосперма, зародыша. Углеводный комплекс цельного зерна риса и продуктов его переработки изучен достаточно детально, информация же об углеводном со-

ставе побочных продуктов переработки риса практически отсутствует. Углеводный состав муки рисовой и кукурузной, мучки рисовой представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Углеводный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой

Показатель	Значение показателя по объектам исследования, %:		
	Мучка рисовая	Мука рисовая	Мука кукурузная
полисахариды			
Крахмал	48,5±0,01	79,1±0,01	70,6±0,01
Клетчатка	25,4±0,02	2,3±0,01	4,4±0,01
моно- и дисахариды			
Глюкоза	0,13±0,02	0,05±0,02	0,11±0,02
Сахароза	0,97±0,01	0,24±0,01	0,84±0,01
Раффиноза	0,31±0,01	0,19±0,02	0,1±0,01

Согласно данным таблицы 4, углеводный состав объектов исследования представлен полисахаридами, моно- и дисахаридами. Преобладающим углеводом является крахмал, содержание которого максимальное в муке рисовой (79,1 %), минимальное – в мучке рисовой (48,5 %). Высокое содержание клетчатки установлено в мучке рисовой (25,4 %), что обусловлено наличием в ней семенных и плодовых оболочек, попадающих в процессе переработки зерна.

Кроме крахмала и клетчатки в муке кукурузной отмечено 2,1 % гемицеллюлоз, которые состоят из остатков различных пентоз и гексоз также, как клетчатка, улучшают пищеварение, облегчая перистальтику кишечника, чем предотвращают развитие рака толстой кишки.

Из моно- и дисахаридов в исследуемом сырье обнаружены глюкоза, сахароза и раффиноза (не восстанавливающий олигосахарид). Отмечено примерно одинаковое количество глюкозы и фруктозы в муке кукурузной (0,11 % и 0,84 % соответственно) и мучке рисовой (0,13 % и 0,97 % соответственно). Максимальное содержание раффинозы установлено в мучке рисовой (0,31 %).

Согласно литературным данным [11, 12], наличие витаминов и минеральных веществ в мучке рисовой обусловлено присутствием в ней плодовых оболочек, частиц зародыша и алейронового слоя.

Результаты исследований витаминного состава муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой представлены на рисунке 3.

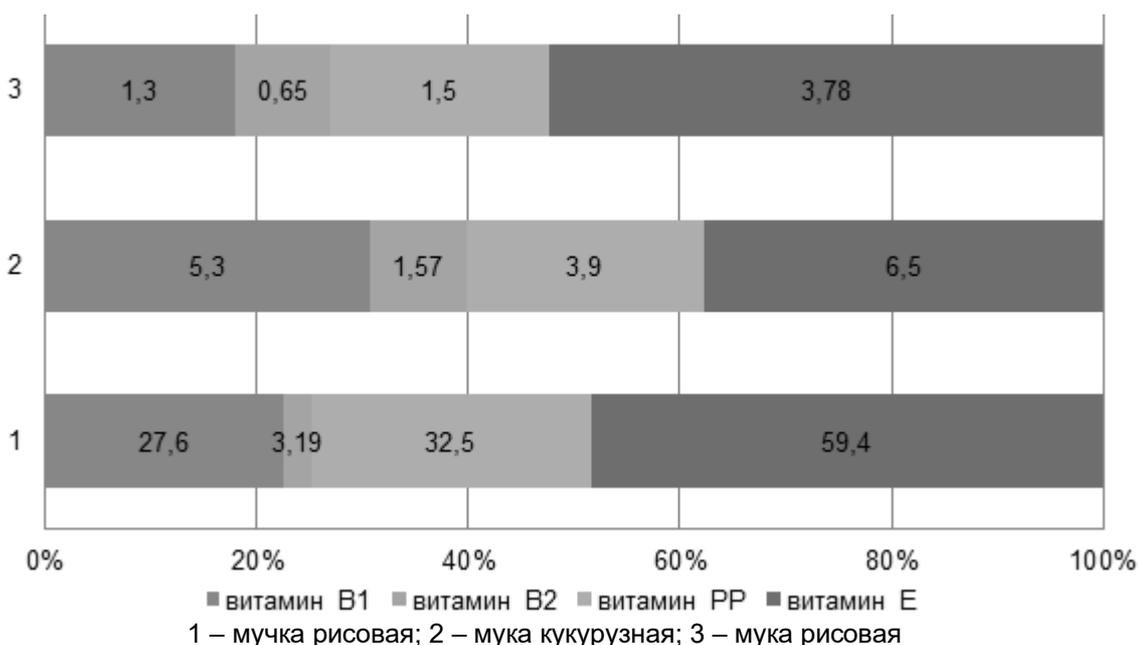


Рисунок 3 – Витаминный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА РИСА И КУКУРУЗЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Анализ рисунка 3 позволяет заключить, что витаминный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой представлен в основном витаминами группы В, РР и Е. Наибольшее количество витаминов по объектам исследования отмечено в мучке рисовой, наименьшее – в муке рисовой. Содержание витаминов В₁ и В₂ в рисовой мучке в 5,2–21 и

2–5 раза выше, чем в муке кукурузной и муке рисовой соответственно. В целом, содержание витаминов в муке кукурузной в 2 раза выше, чем в муке рисовой.

Результаты исследований минерального состава объектов исследования приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Минеральный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой

Показатель	Значение показателя по объектам исследования, %:		
	Мучка рисовая	Мука рисовая [13]	Мука кукурузная [13]
макроэлементы (мг)			
Натрий (Na)	180	26	122
Калий (K)	183	54	147
Кальций (Ca)	84	24	20
Магний (Mg)	204	26	36
Фосфор (P)	255	97	109
микроэлементы (мкг)			
Железо (Fe)	2500	1020	2690
Цинк (Zn)	850	420	500
Марганец (Mn)	182	125	400

В результате анализа данных таблицы 5 установлено, что минеральный состав муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой отличается содержанием макро- и микроэлементов. Наибольшее количество минеральных веществ отмечено в мучке рисовой, наименьшее – в муке рисовой. Среди макроэлементов в исследуемом сырье преобладает фосфор. Содержание кальция и магния в муке рисовой и муке кукурузной отличается незначительно. Из микроэлементов отмечено высокое содержание железа: в мучке рисовой и муке кукурузной его количества практически одинаковы.

Витаминный и минеральный состав мучки рисовой выгодно отличает ее от других объектов исследования высоким содержанием витаминов группы В, РР и Е, макро- и микроэлементов, что обуславливает возможность ее применения для обогащения химического состава хлебобулочных изделий.

Таким образом, обобщая результаты исследований состава муки рисовой, муки кукурузной и мучки рисовой установили, что мука рисовая выделяется легкоусвояемым, мелкогранулированным и стабильным при хранении крахмалом; мука кукурузная – благоприятным аминокислотным составом с высоким содержанием лизина; мучка рисовая – благоприятным аминокислотным составом, включающим все незаменимые аминокислоты, и жирнокислотным составом с наличием незаменимых жирных кислот при высоком содержании клетчатки, водорастворимых витаминов группы В, витамина Е, минеральных ве-

ществ, включая дефицитный кальций, железо, цинк.

Таким образом, совокупное применение продуктов переработки зерна риса и кукурузы – муки рисовой, мучки рисовой и муки кукурузной, – является перспективным в деле создания мучных композитных смесей для производства хлебобулочных изделий повышенной биологической и пищевой ценности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усембаева, Ж. К. Разработка технологии пшеничного хлеба с применением продуктов переработки крупяного производства / Ж. К. Усембаева, Д. А. Шаншарова, А. М. Максут // Вестник Алматинского технологического университета. – 2017. – № 3. – С. 30–33.
2. Кузьмина, С. С. Хлеб из муки повышенной пищевой ценности / С. С. Кузьмина, Э. П. Могучева // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 255–257.
3. Пономарева, Е. И. Хлеб из биоактивированного зерна пшеницы повышенной пищевой ценности / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, И. А. Бакаева // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85. – № 2. – С. 116–121.
4. Salah, K. Effect of canola proteins on rice flour bread and mathematical modelling of the baking process / K. Salah, M. Aïder, E. A. Olkhovaton // Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Т. 56. – № 8. – P. 3744–3753.
5. Иванова, З. А. Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием рисовой муки / З. А. Иванова, Ф. Х. Тхазеплова, И. Б. Шогенова // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 168–170.
6. Айрумян, В. Ю. Актуальные проблемы ис-

пользования отходов вторичных сырьевых ресурсов перерабатывающих отраслей АПК / В. Ю. Айрумян // *Материалы III научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского государственного аграрного университета* – Краснодар : Изд-во КубГАУ им. И. Т. Трубилина. – 2017. – С. 516–519.

7. Айрумян, В. Ю. Рисовая мука – альтернативное сырье для хлебопечения / В. Ю. Айрумян // *Материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края*. – Краснодар : Изд-во КубГАУ им. И. Т. Трубилина. – 2017. – С. 902.

8. Болдина, А. А. Использование рисовой муки в качестве биологически активной добавки и изучение ее влияния на реологию теста / А. А. Болдина, Н. В. Сокол // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – Мичуринск : Издательско-полиграфический центр «МичГАУ», 2014. – С. 71–74.

9. Зеленская, Г. А. Использование белозерной кукурузы в технологии производства хлеба / Г. А. Зеленская, О. П. Храпко // В сборнике : *Инновационные технологии в АПК ; материалы Международной научно-практической конференции ; общ. ред. В. А. Бабушкин*. – 2018. – С. 305–307.

10. Глазачева, Е. С. Высоколизиновая кукурузная мука в пищевой промышленности / Е. С. Глазачева, А. С. Бережной, О. П. Храпко // В сборнике : *Научное обеспечение агропромышленного комплекса ; сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых ; отв. за вып. А. Г. Коцаев*. – 2019. – С. 368–369.

11. Санжаровская, Н. С. Комплексное исследование химического состава и показателей безопасности рисовой муки / Н. С. Санжаровская, А. А. Болдина, Н. В. Сокол // В сборнике : *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции ; сборник статей по материалам II научно-практической конферен-*

ции студентов, аспирантов и молодых ученых ; ответственный за выпуск А. А. Нестеренко. – 2016. – С. 289–296.

12. Сокол, Н. В. Использование вторичных сырьевых ресурсов переработки зерна риса в технологии хлебопечения / Н. В. Сокол, А. А. Болдина, Н. С. Санжаровская // *Агропромышленные технологии Центральной России*. – 2016. – № 1 (1). – С. 36–43.

13. Скурихин, И. М. Химический состав российских продуктов питания / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тутельяна. – X 46. – М. : Делипринт, 2002. – 236 с.

Айрумян Ваагн Юрикович, аспирант 4 курса кафедры «Технология хранения и переработки растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, e-mail: vaagn_airutyan@mail.ru, тел.: (918)077-88-32.

Сокол Наталья Викторовна, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология хранения и переработки растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, e-mail: sokol_n.v@mail.ru, тел.: (918)414-40-20.

Ольховатов Егор Анатольевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, e-mail: olhovatov_e@inbox.ru, тел.: (961) 524-68-02.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ КЕДРОВОГО ЖМЫХА

Е. А. Запорожан, Е. Ю. Егорова, С. Н. Цыганок

Поиск рациональных технологических решений, направленных на получение стабильных эмульсий пищевого назначения, не теряет своей актуальности. Основными причинами совершенствования технологий получения эмульсионных продуктов являются потенциальная широта их ассортимента и неоспоримые преимущества при моделировании пищевой ценности.

Целью представленной работы являлось исследование влияния предварительной ультразвуковой обработки воды на характеристики сложных эмульсий, получаемых на основе маслянистых жмыхов (на примере измельченного в муку жмыха из ядра кедровых орехов). Авторами установлено, что предварительная ультразвуковая активация способствует изменению физико-химических свойств воды, используемой для экстракции водорастворимых компонентов из кедрового жмыха. Согласно полученным результатам, с увеличением продолжительности ультразвуковой обработки повышается температура воды. Как следствие этого повышается растворяющая способность воды, что подтверждается экспериментальными данными по извлечению из жмыха суммы сухих веществ и белков.

По результатам исследований определена рекомендуемая продолжительность ультразвуковой активации воды: 2–3 минуты при интенсивности 16 Вт/см^2 , обеспечивающая максимальную эффективность извлечения из обрабатываемого сырья суммы сухих веществ, включая растворимые фракции белков.

Ключевые слова: пищевые технологии, эмульсионные продукты, получение эмульсий, маслянистые жмыхи, кедровый жмых, ультразвуковая обработка, активация воды, физико-химические свойства воды, качество эмульсий.

Многие пищевые продукты представляют собой эмульсии, суспензии или суспендированные эмульсии – микрогетерогенные коллоидные системы, состоящие из двух взаимно нерастворимых фаз, существенно различающихся между собой на молекулярном уровне. К диетическим преимуществам продуктов такой структуры, по сравнению с остальными, относятся более высокая биодоступность содержащихся в них компонентов и более высокая сохранность этих компонентов вследствие повышения их устойчивости к неблагоприятным физико-химическим воздействиям, в частности, к окислению, благодаря формированию специфичных мицеллярных структур.

Однако такие коллоидные системы являются термодинамически неустойчивыми, для них характерен целый ряд механизмов дестабилизации: флокуляция, агрегация, коалесценция, инверсия и разделение фаз [1]. Поэтому получение эмульсионных и суспендированных продуктов с сохранением пищевой ценности используемого сырья возможно лишь при соблюдении условия грамотного подхода к выбору параметров обработки сырья, обеспечивающих необходимую интенсивность и эффективность технологи-

ческих процессов. Одним из наиболее перспективных в перечне используемых для этой цели приемов считается ультразвуковое воздействие [2].

Применение ультразвука является прогрессивным методом как для извлечения из обрабатываемого сырья ценных биологически активных компонентов [3, 4], так и в плане диспергирования, растворения, эмульгирования и гомогенизации [1, 2, 5]. Помимо достигаемых технологических эффектов, применение ультразвука характеризуется относительно низким энергопотреблением и простотой реализации рассматриваемых процессов, благодаря чему востребовано в разных отраслях промышленности [5–9].

Оценке эффективности использования ультразвука в пищевой промышленности посвящены очень многие работы. Основной целью таких работ является модификация технологий получения пищевых продуктов, основанная на сокращении продолжительности технологических процессов и улучшении органолептических свойств этих продуктов в условиях обработки ультразвуком. В рамках каждой технологии эффективность выбранных режимов технологических процессов в определенной степени зависит от условий

предварительной подготовки обрабатываемых компонентов, в т. ч. от способа подготовки воды. В частности, для улучшения значений физико-химических характеристик эмульсий на основе животного и/или растительного сырья, а именно: достижения максимально возможного перехода сухих веществ из сырья в раствор – возможно использование предварительной ультразвуковой обработки воды.

Согласно литературным данным, первичное воздействие ультразвука на воду способствует изменению её структурного каркаса [6]. В результате такой обработки происходит изменение структурно-энергетического состояния ассоциированной фазы воды, что отражается на её электрохимических характеристиках. На примере непищевых объектов (таких, как строительные смеси и водные среды на их основе) показано, что обработка ультразвуком способствует изменению водородного показателя (рН), поверхностного натяжения и окислительно-восстановительного потенциала воды [6].

Существует мнение, что вода, обработанная ультразвуком, обладает высокой метаустойчивостью и пониженной абсолютной вязкостью. Как следствие, проявление эффектов кавитации в ультразвуковом поле вызывает интенсивное физико-механическое разрушение и жидкой фазы, и взвешенных в ней твердых частиц. Сочетание этих эффектов дает повышение растворяющей способности воды как растворителя и хорошую гидратацию взвешенных и коллоидных частиц.

Всё вышесказанное свидетельствует о том, что воздействие ультразвука на воду должно способствовать повышению её растворяющей способности, что подтверждено, в частности, на примере восстановления сухого молока и сухой подсырной сыворотки [10].

Ранее проведенные исследования свидетельствуют о недостаточной насыщенности экстрагируемыми веществами эмульсий, получаемых в результате прямой обработки суспендированного кедрового жмыха ультразвуковым полем [11], вследствие чего поиск рациональных решений данной проблемы продолжается. Одним из вариантов таких решений может стать предварительная ультразвуковая активация воды для повышения её растворяющей способности.

Целью данной работы стало исследование влияния предварительной ультразвуковой обработки воды на эффективность экстракции и характеристики эмульсий, полу-

чаемых на основе жмыха из ядра кедровых орехов.

Основными этапами исследований являлись:

- предварительная обработка воды ультразвуком при варьируемой интенсивности и продолжительности воздействия, анализ свойств обработанной воды;

- приготовление суспензий из кедрового жмыха и предварительно обработанной ультразвуком воды;

- обработка полученных суспензий ультразвуком при варьируемых параметрах (температура, продолжительность обработки) эксперимента;

- исследование наиболее значимых характеристик экспериментальных эмульсий, позволяющих быстро и объективно оценить влияние условий обработки на качество получаемых эмульсионных систем.

Эмульсии получали с использованием ультразвукового аппарата серии «Волна» (модель УЗТА-0,4/22–ОМ), спроектированного сотрудниками Лаборатории акустических процессов и аппаратов АлтГТУ для интенсификации процессов в жидких и жидкодисперсных средах, в т. ч. для ускорения процессов диспергирования, растворения и экстракции активных компонентов из растительного сырья.

В качестве объектов исследования использовали полуобезжиренную муку из ядра кедровых орехов (кедровую муку) и воду (из централизованной системы водоснабжения и дистиллированную).

Воду нагревали до 40 °С и подвергали обработке ультразвуком интенсивностью 8 Вт/см² и 16 Вт/см²; продолжительность обработки варьировали от 0 до 5 минут.

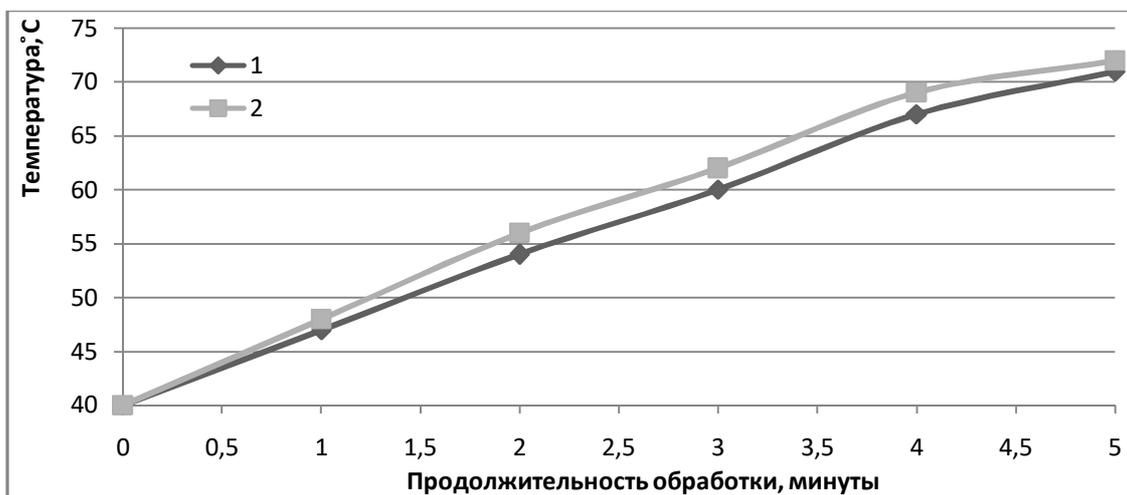
При оценке влияния продолжительности и интенсивности ультразвукового воздействия на характеристики обработанной воды определяли такие её параметры, как температура, рН, плотность, вязкость и значение показателя преломления после обработки ультразвуком.

Согласно полученным данным, ультразвуковая обработка воды не вызвала изменения её плотности, вязкости и показателя преломления, однако повлияла на значение рН (таблица 1) и температуру воды: с увеличением продолжительности ультразвукового воздействия температура обработанной воды корреляционно повышалась (рисунок 1).

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ КЕДРОВОГО ЖМЫХА**

Таблица 1 – Влияние продолжительности предварительной обработки ультразвуком на pH воды

pH / Источник воды		Значение pH после продолжительности обработки, минут					
		без УЗ	1	2	3	4	5
pH	дистиллированная вода	6,83	6,66	6,42	6,40	6,38	6,36
	вода из централизованной системы водоснабжения	7,58	7,54	7,46	7,38	7,32	7,31



1 – вода из централизованной системы водоснабжения; 2 – дистиллированная вода

Рисунок 1 – Влияние продолжительности предварительной обработки воды ультразвуком на температуру обработанной воды

Основу эмульсий из кедрового жмыха намешивали в стеклянных химически стойких стаканах (250 мл), «заваривая» подготовленную навеску измельченного жмыха – кедровой муки – обработанной водой. Данные параметры и гидромодуль 1 : 7 были рекомендованы ранее в качестве оптимальных для получения эмульсионных коллоидных систем из кедрового жмыха [11].

В полученных эмульсиях определяли показатели, позволяющие экспрессно оценить эффективность исследуемых режимов ультразвукового воздействия. Массовую долю сухих веществ определяли рефрактометрическим методом, массовую долю белка – принятым методом формольного титрования.

Механизм образования структуры эмульсий, наблюдаемый при последующем исследовании влияния ультразвукового воздействия на систему из предварительно обработанной воды и кедрового жмыха, можно описать в виде нескольких последовательно протекающих процессов:

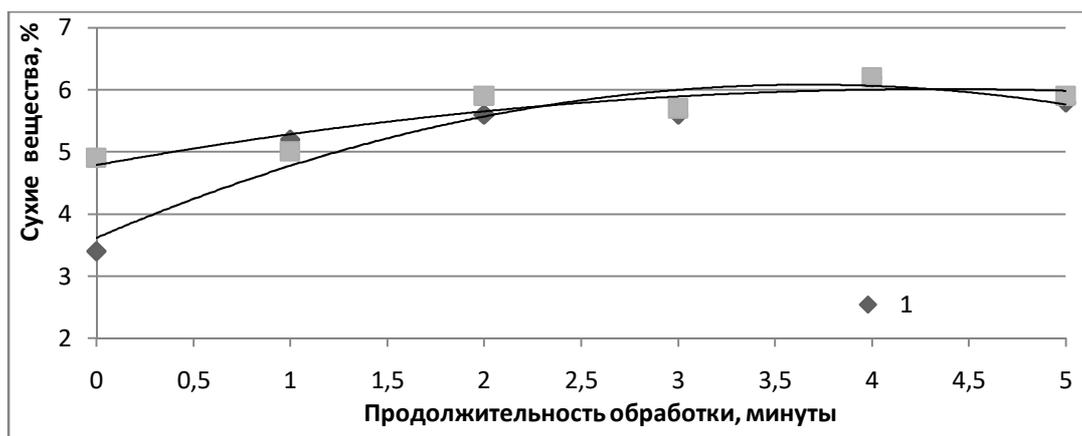
- гидратация частиц кедровой муки и экстракция-растворение её компонентов с образованием насыщенных растворов;

- самопроизвольное диспергирование мицелл и экстрагированных из кедровой муки сухих веществ до коллоидов;

- возникновение стабильных, нераспадающихся коллоидных структур, характерных для прямых эмульсий.

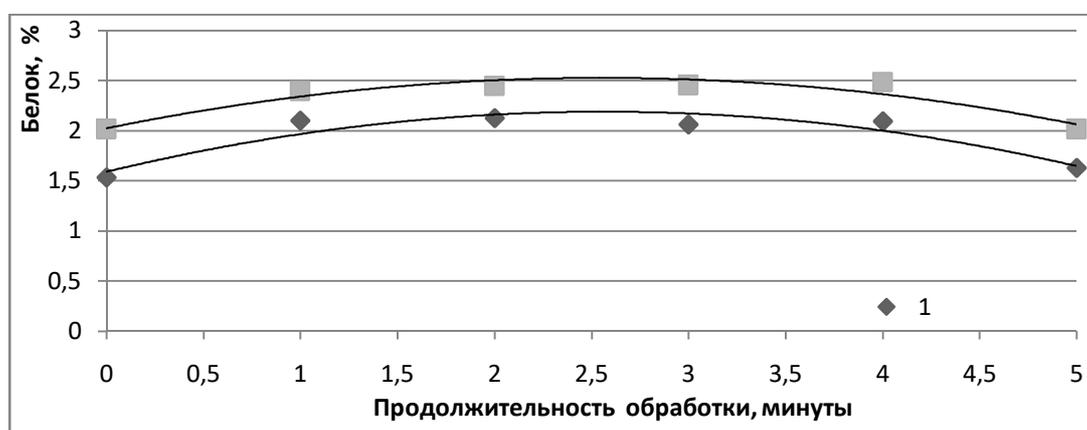
Увеличение интенсивности и продолжительности ультразвуковой обработки в отношении дистиллированной и водопроводной воды вызывает сдвиг pH в сторону более нейтральных и слабокислых значений, что, в целом, не противоречит данным других авторов [10]. Объяснить такое «поведение» воды, вероятно, можно следующим образом: ультразвуковая обработка ускоряет процессы диссоциации воды со смещением в сторону ионов H^+ . Подтверждение механизма отмеченного эффекта требует дополнительных исследований.

Как следует из экспериментальных данных, предварительная ультразвуковая обработка воды способствует повышению растворимости компонентов кедровой муки: с увеличением продолжительности ультразвуковой обработки воды повышается эффективность экстракции из обрабатываемого сырья суммы сухих веществ.



1 – 8 Вт/см², 1:7; 2 – 16 Вт/см², 1:7

Рисунок 2 – Влияние продолжительности предварительной обработки воды ультразвуком на содержание сухих веществ в полученных эмульсиях



1 – 8 Вт/см², 1:7; 2 – 16 Вт/см², 1:7

Рисунок 3 – Влияние продолжительности предварительной обработки воды ультразвуком на содержание белка в полученных эмульсиях

Согласно гипотезе, высказанной по результатам восстановления сухого молока и сухой подсырной сыворотки авторами работ [10] и [12], повышение растворимости компонентов обрабатываемого сырья может быть связано со снижением общей жесткости воды. Однако в случае использования дистиллированной либо просто умягченной воды вероятность проявления предполагаемого эффекта при ультразвуковой обработке воды можно считать близкой к нулю.

Все полученные эмульсии имели характерный слабо выраженный молочнокореховый запах. При обработке образцов ультразвуком интенсивностью воздействия 16 Вт/см² в течение 4–5 минут на поверхности охлажденных до комнатной температуры эмульсий появлялась характерная белково-жировая пленка «молочной» пенки, образованная в результате изменения структуры и свойств экстрагированного белка.

Целесообразно уже применение интенсивности ультразвуковой обработки 16 Вт/см², как способствующее повышению растворимости белков и их переходу в состав эмульсий. Вместе с тем, увеличение продолжительности предварительной обработки воды ультразвуком до 4–5 минут сопровождается снижением содержания водорастворимых белков в получаемых впоследствии эмульсиях. Это может быть объяснено как самостоятельным денатурирующим воздействием температуры и ультразвуковых волн на белок или сочетанием этих факторов, так и повышением температуры воды (как растворителя) до значений, неблагоприятных для целей экстракции белка из кедрового жмыха.

Согласно полученным данным, в изученных условиях наиболее приемлемыми режимами можно считать интенсивность ультразвукового воздействия 16 Вт/см² при

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ КЕДРОВОГО ЖМЫХА

продолжительности предварительной обработки воды ультразвуком в течение 2–3 минут.

Таким образом, предварительная ультразвуковая активация воды способствует как повышению эффективности экстракции, так и изменению характеристик эмульсий, получаемых на основе жмыха из ядра кедровых орехов. По результатам проведенных исследований, для достижения выявленных эффектов при получении эмульсий на основе кедрового жмыха можно считать достаточной предварительную обработку воды ультразвуком в течение 2–3 минут при интенсивности воздействия 16 Вт/см².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aslan, D. The influence of ultrasound on the stability of dairy-based, emulsifier-free emulsions: rheological and morphological aspect / D. Aslan, M. Dogan // *European Food Research and Technology*. – 2018. – V. 244. – Iss. 3. – P. 409–421.
2. Chemat, F. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction // F. Chemat, Z. Huma, M.K. Khan // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2010. – V. 18 (4). – P. 813–835, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.
3. Shanmugam, A. Ultrasonic preparation of stable flax seed oil emulsions in dairy systems – physicochemical characterization / A. Shanmugam, M. Ashokkumar // *Food Hydrocoll.* – 2014. – V. 39. – P. 151–162. – <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.01.006>.
4. Думитраш, П. Г. Ультразвуковая экстракция биологически активных соединений их семян томатов / П. Г. Думитраш, М. Г. Болога, Т. Д. Шемякова // *Электронная обработка материалов*. – 2016. – Т. 52. – № 3. – С. 47–52.
5. Potoroko, I. Ultrasound effects based on simulation of milk processing properties / I. Potoroko, I. Kalinina, R. Fatkullinet [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2018. – V. 48. – P. 463–472, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.06.019.
6. Кудяков, А. И. Улучшение качества цементного камня путем многочастотной ультразвуковой активации воды затворения / А. И. Кудяков, А. Г. Петров, Г. Г. Петров, К. В. Иконникова // *Вестник ТГАСУ*. – 2012. – № 3. – С. 143–152.
7. Nemelcov, A. B. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from brown *Alga Fucuseva-nescens*. Structure and biological activity of the new fucoidan fractions / A. B. Nemelcov, T. N. Zvyagintseva, N. M. Shevchenko, A. B. Rasin, S. P. Ermacova // *Journal of Applied Phycology*. – 2018. – V. 30. – Iss. 3. – С. 2039–2046.
8. Попова, Н. В. Исследование влияния эффектов низкочастотного ультразвука на процессы ображивания виноматериалов / Н. В. Попова, Ш. Соनावайн, А. Р. Абдуллина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. – 2019. – Т. 7. – № 1. – С. 79–88.
9. Yang, X. Effects of ultrasound-assistant α -amylase degradation treatment with multiple modes on the extraction of rice protein / X. Yang, S. Li, A. O. Oladejo, Y. Wang, S. Huang, C. Zhou, X. Ye, H. Ma, Y. Duan // *Ultrasonic sonochemistry*. – 2018. – V. 40. – С. 890–899.
10. Эль Могази, А. Х. Нетрадиционные способы водоподготовки в производстве сыровоточных напитков / А. Х. Эль Могази // *Техника и технология пищевых производств*. – 2011. – № 4. – С. 72–76.
11. Запорожан, Е. А. Влияние параметров ультразвуковой обработки на дисперсность жировых капель в эмульсиях типа «растительное молоко» / Е. А. Запорожан, Е. Ю. Егорова, С. Н. Цыганок // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции*. – Бийск : Изд-во АлтГТУ, 2019. – С. 614–618.
12. Попова, Н. В. Изучение влияния ультразвукового воздействия на показатели качества воды / Н. В. Попова, С. А. Фатеева // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. – 2014. – Т. 2. – № 1. – С. 30–33.

Запорожан Екатерина Александровна, студентка гр. ПРС-62, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, ул. Ленина, 46, e-mail: kate-na.zaporozhan@mail.ru.

Егорова Елена Юрьевна, д.т.н., зав. кафедрой 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.

Цыганок Сергей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: grey@bti.secna.ru.

САПОНИНЫ КВИНОА (*CHENOPodium QUINOA WILLD*): СТРОЕНИЕ, ОЧИСТКА, БИОАКТИВНАЯ РОЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР

Т. В. Орлова

В обзоре представлены обобщающие зарубежные исследования сапонинов квиноа, их строение и состав. Сапонины квиноа представляют собой сложную смесь тритерпеновых гликозидов, выделенных из различных частей растения. Агликоновая часть сапонины квиноа представлена олеаноловой кислотой, гедерагенином и фитолаккагеновой кислотой, сахарная часть – арабинозой, глюкозой и галактозой. Установлено, что содержание сапонинов в квиноа зависит от генотипа и места выращивания растения и может колебаться от 0,2 до 11,3 г/кг сухого вещества. Сапонины квиноа оказывают различное воздействие на организм человека: в высоких дозировках они являются токсичными для кровеносной системы, разрушая мембрану эритроцитов и вызывая потерю гемоглобина. Полезные свойства сапонинов квиноа заключаются в иммуностимулирующих, антибактериальных, противогрибковых, противовоспалительных и противоопухолевых действиях. Очистка сапонинов квиноа осуществляется механическим шлифованием после уборки семян с последующей их промывкой водой. С учетом широкого спектра полезных свойств сапонины квиноа нашли применение в медицине, фармацевтике, агрономии, косметологии, бытовой химии. В пищевой промышленности их применение должно быть строго регулируемым и ограниченным в производстве пищевых добавок, консервантов, модификаторов вкуса, пенообразующих компонентов при создании безалкогольных напитков и кондитерских изделий.

Ключевые слова: квиноа, сапонины, строение, агликон, очистка, биоактивная роль, применение в промышленности.

Квиноа (*Chenopodium quinoa Willd*) является не только известным основным продуктом питания жителей Южной Америки (Андского региона), но и альтернативным источником пищи в других регионах мира. После объявления ООН 2013 г. как Международного года квиноа мировой интерес к ней резко увеличился. Квиноа содержит высококачественный белок с полным набором незаменимых аминокислот, больше витаминов и минеральных веществ, чем известные зерновые культуры. Также она является гипоаллергенной культурой для людей, страдающих непереносимостью глютена, и может использоваться в диетотерапии при лечении целиакии [1, 2, 3]. Квиноа является потенциальной кормовой культурой, способной произрастать в регионах мира с различными климатическими условиями. До недавнего времени квиноа в нашей стране была исключительно импортной культурой, но вот уже 2 года она успешно возделывается в Краснодарском крае. С каждым годом увеличивается интерес и российских ученых к этой культуре [4, 5, 6, 7]. Однако при всех ее уникальных достоинствах у квиноа есть один существенный нюанс, о котором должны знать и технологи, и агрономы, и потребители.

Поэтому целью настоящего обзора зару-

бежных многолетних исследований культуры квиноа является изучение сапонинов квиноа: их химической структуры, строения, содержания в различных частях растения и генотипах, оптимальных способов очистки семян от сапонинов, их биоактивной роли и применения в промышленности, в т. ч. и в пищевой.

Неочищенные семена квиноа содержат сапонины. Сапонины – это соединения, содержащиеся во многих растениях и способные образовывать стабильные мылообразные пены в водных растворах [8]. По некоторым данным, термин «сапонин» происходит от растения *Saponaia*, корни которого исторически использовали для изготовления мыла (лат. «sapo» означает мыло) [9]. Биологическая роль сапонинов еще до конца не изучена, однако из-за их горького вкуса они считаются защитным механизмом растений от патогенов и травоядных животных [10, 11]. Сапонины обладают разной биологической активностью. Francis приводит сведения о сильном гемолитическом, противомикробном, фунгицидном, аллелопатическом, инсектицидном действии, а Vera-Galves – о положительном эффекте в качестве адъювантов вакцины [12, 13]. Их уникальная способность стимулировать иммунный ответ и выработку цитотоксических Т-лимфоцитов против экзо-

САПОНИНЫ КВИНОА (*CHENOPodium QUINOA WILLD*): СТРОЕНИЕ, ОЧИСТКА, БИОАКТИВНАЯ РОЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР

генных антигенов делает их идеальными для использования в субъединичных вакцинах против внутриклеточных патогенов и терапевтических противораковых вакцинах [11].

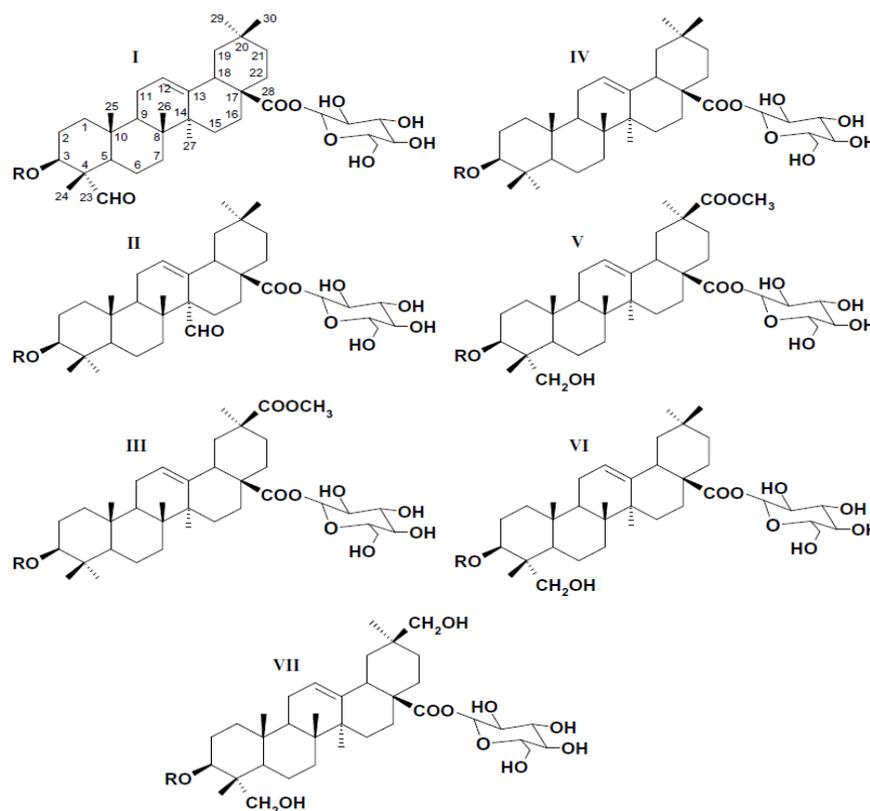
Однако именно гемолитическая активность и обуславливает токсичность сапонинов. Они разрушают мембрану эритроцитов и связывают мембранные стеарины. Когда мембрана лопается, происходит потеря гемоглобина. Вагманн и другие исследовали влияние сапонинов на структуру мембраны путем гемолиза эритроцитов человека. Полученные данные показывают, что сапонизированные эритроциты не активны, а значит сапонин-индуцированное повреждение липидного биослоя необратимо [14, 15]. По данным Wang, уровень гемолитической активности сапонинов связан с типом агликона и наличием боковых цепей сахаров [16].

По химическому строению сапонины относятся к гликозидам с полициклическим агликоном (без гликозидов), который может

принимать форму стероида или тритерпеноид холина, связанный через углерод C3 посредством эфирной связи с боковой цепью сахара. Агликон обычно называют сапогенином, в то время как подмножество стероидных сапонинов обычно именуется сарапогенином. Сапонины являются амфипатическими из-за функции жирорастворимого агликона и их водорастворимых сахарных цепей. Эта характеристика и есть способность образовывать пену [17].

Строение сапонинов квиноа.

Сапонины квиноа представляют собой сложную смесь тритерпеновых гликозидов, выделенных из различных частей растения (семена, околоплодник, цветы). Химическая структура сапонинов квиноа идентифицирована с помощью химического анализа 1D–2D спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и представлена на рисунке 1 и в таблице 1.



I – 3β-гидрокси-23-оксо-олеан-12-ен-28-овая кислота

II – 3β-гидрокси-27-оксо-олеан-12-ен-28-овая кислота

III – олеаноловая кислота

IV – олеаноловая кислота

V – фитолаккагеновая кислота

VI – гедерагенин

VII – 3β,23,30-тригидрокси-олеан-12-ен-28-овая кислота

Рисунок 1 – Структура сапонинов квиноа [11]

Таблица 1 – Состав и содержание агликона сапонинов квиноа в различных частях растения [11]

Состав	Агликон	Название состава агликона	Цветы	Семена	Околоплодник
1	I	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	+	+
2	II	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	+	+
3	III	α -L-Ara	+	++	++
4	III	β -D-GlcA	+	++	++
5	III	β -D-Glc(1→2)- β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	++	++
6	III	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	+	++
7	IV	β -D-Xyl(1→3)- β -D-GlcA	+	+	+
8	IV	β -D-Glc(1→2)- β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	+	+
9	IV	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	+	+
10	IV	β -D-GlcA	+	++	++
11	V	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	++++	++++	++++
12	V	α -L-Ara	+++	++++	++++
13	V	β -D-Glc(1→3)- β -D-Gal	++	++	++
14	V	β -D-Glc(1→2)- β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	++	+	++
15	V	β -D-Glc(1→4)- β -D-Glc(1→4)- β -D-Glc	++	+	++
16	VI	β -D-Glc(1→3)- β -D-Gal	+	+	+
17	VI	α -L-Ara	+	+	+
18	VI	β -D-GlcA	++	++	++
19	VI	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+++	++	+++
20	VII	β -D-Glc(1→3)- α -L-Ara	+	++	+++

(+) – следовое содержание

(++) – низкое содержание

(+++)

(++++)

В результате анализа рисунка 1 и таблицы 1 установлено, что агликоновая часть сапонинов квиноа (I–VII) является производными олеаноловой кислоты, гидерагенина, фитолаккагеновой кислоты, серьяновой кислоты и 3 β ,23,30-тригидроксо-олеан-12-ен-28-овой кислоты, которые содержат гидроксильные и карбоксильные группы у атома углерода C3 и C28 соответственно и модулируются активностью фермента β -амирина. Сахарная часть сапонинов квиноа представлена арабинозой,

глюкозой и галактозой. Структура сапонинов квиноа включает монодесмозидные (одна углеводная цепь) и бидесмозидные (две углеводные цепи) сапонины. Неочищенные сапонины, полученные из околоплодника (выход 10,7 %), семян (выход 8 %) и цветов (выход 4 %) с помощью ВЭЖХ фракционировали на 20 соединений (1–20) в чистом виде [11].

Gomez-Caravaca оценивал структуру сапонинов квиноа с точки зрения схемы их очистки, представленной на рисунке 2.

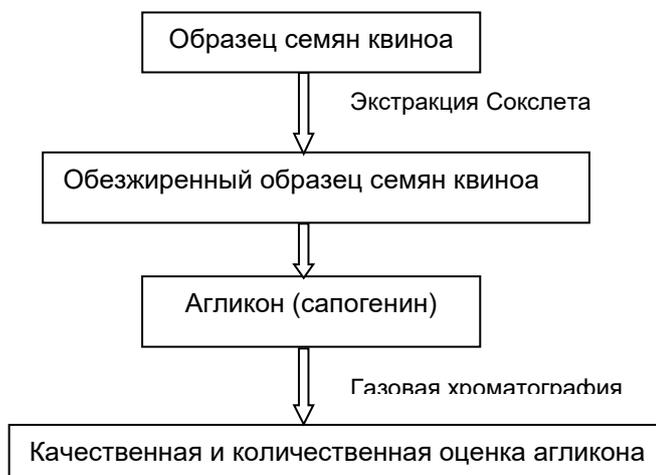
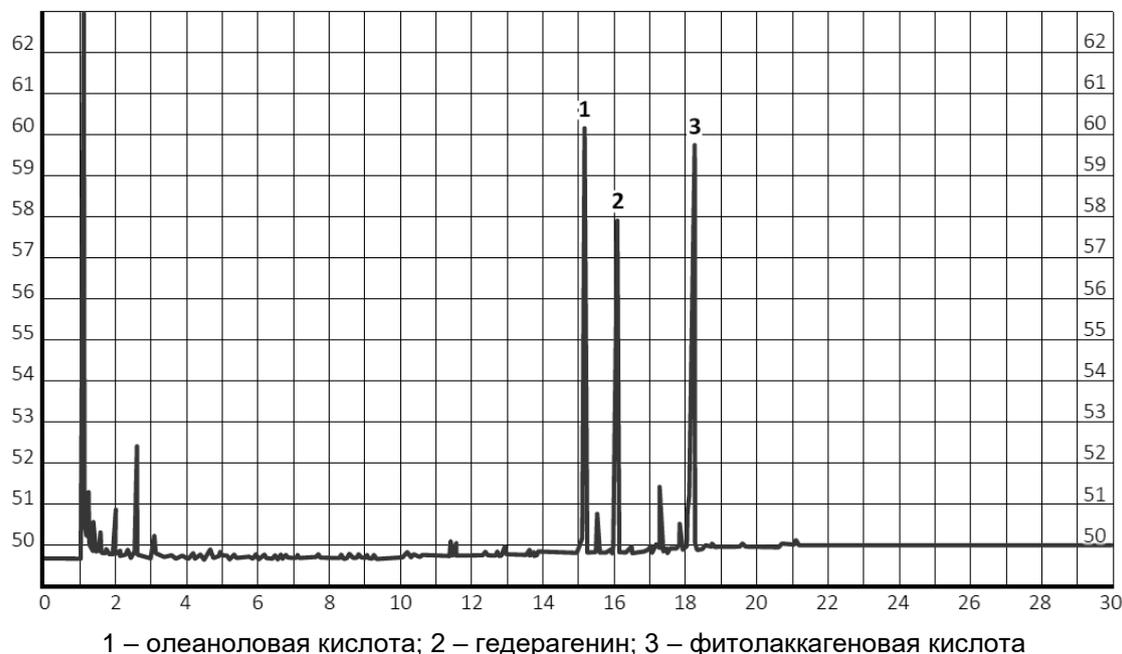


Рисунок 2 – Схема экстракции сапонинов квиноа [17]

САПОНИНЫ КВИНОА (*CHENOPodium QUINOA WILLD*): СТРОЕНИЕ, ОЧИСТКА, БИОАКТИВНАЯ РОЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР

Качественный и количественный состав агликонов (сапогенинов), полученный в результате обезжиривания семян квиноа в аппарате Сокслета, оценивали в дальнейшем с

помощью газовой хроматографии [18]. Результаты хроматографической оценки состава сапонинов квиноа сорта «Титикака» представлены на рисунке 3.



1 – олеаноловая кислота; 2 – гедерагенин; 3 – фитолаккагеновая кислота

Рисунок 3 – Хроматографическая оценка сапонинов квиноа сорта «Титикака» [19]

Установлено, что основные агликоны сапонинов квиноа представлены олеаноловой кислотой (36–50 %), гедерагенином (27–28 %) и фитолаккагеновой кислотой (21–36 %).

Содержание сапонинов в семенах квиноа варьируется от сладкого до горького генотипа: от 0,2–0,4 до 4,7–11,3 г/кг сухого вещества и зависит не только от сорта, но и места выращивания [20, 21]. Так, чилийские староместные сорта квиноа содержат более 1 % сапонинов и являются горькими (горечь ощущается при содержании сапонинов более 0,11 %). Отмечено, что в северной и центральной частях Чили в стрессовых условиях выращивания (засушливый климат и высокая соленость почв за счет океанских приливов) содержание сапонинов в квиноа гибридного сорта «Регалона» может достигать до 4 %. А при проведении полевых испытаний этого же генотипа квиноа на юге Италии (Средиземноморская среда) содержание сапонинов составило 328 мг/100 г сухого вещества. Но, несмотря на многолетние мировые исследования, до сих пор до конца не изучена зависимость содержания сапонинов в квиноа [22, 23].

Очистка сапонинов квиноа

Учитывая разнообразную биохимическую активность сапонинов и способность прида-

вать горечь, семена перед реализацией в торговую сеть или переработкой в муку очищают механическим шлифованием с последующей промывкой водой. В процессе шлифования и мойки теряются ценные питательные вещества, и химический состав квиноа изменяется. Однако окончательное содержание сапонинов квиноа остается серьезной проблемой с точки зрения их горечи и негативного биологического воздействия на кровеносную систему организма. Поэтому зарубежные исследователи удаление сапонинов из семян квиноа во время мойки описывают регулированием твердожидкостной экстракцией с применением математических моделей, обычно используемых для оценки кинетики процесса [24]. Общая концентрация сапонинов квиноа после первоначального выщелачивания быстро стремится к асимптотическому значению. Fuentes и другие показывают, что это бессимптомное значение уменьшается с увеличением температуры мойки. Для моделирования кинетики выщелачивания сапонинов семян квиноа используют параметр соответствия сапонинов SR, который представляет собой безразмерную концентрацию, используемую для изучения кинетики выщелачивания, предложив меха-

низм диффузии внутри твердого тела и незначительный внешний массообмен в условиях интенсивного перемешивания. Параметр SR определяется по формуле:

$$SR = (X_{st} - X_{se}) / (X_{so} - X_{se}), \quad (1)$$

где X_{st} – содержание сапонинов в реальном времени, мг/100 г;

X_{so} – начальное содержание сапонинов, мг/100 г;

X_{se} – конечное содержание сапонинов, мг/100 г;

В таблице 2 представлены наиболее важные модели описания кинетики удаления сапонинов квиноа.

Таблица 2 – Математические модели кинетики удаления сапонинов квиноа [25]

Модель	Уравнение
Midilli–Kuçuk	$SE = n_{11} \exp(-k_{12} t^{n_{12}}) + Ct$
Weibull	$SR = \exp(-(-t / \beta)^\alpha)$
Logarithmic	$SR = C + n_5 \exp(-k_6 t)$
Henderson–pabis (modified)	$SR = n_8 \exp(-k_9 t) + n_9 \exp(-k_{10} t) + n_{10} \exp(-k_{11} t)$
Twoterm	$SR = n_6 \exp(-k_7 t) + n_7 + n_7 \exp(k_8 t)$
Page (modified)	$SR = \exp(-k_3 t^{n_2})$

Биоактивная роль и применение сапонинов квиноа

Исследования сапонинов, выделенных из квиноа, выявили различные их свойства и

воздействия на организм человека [26]. На рисунке 4 представлены биологические свойства сапонинов квиноа.

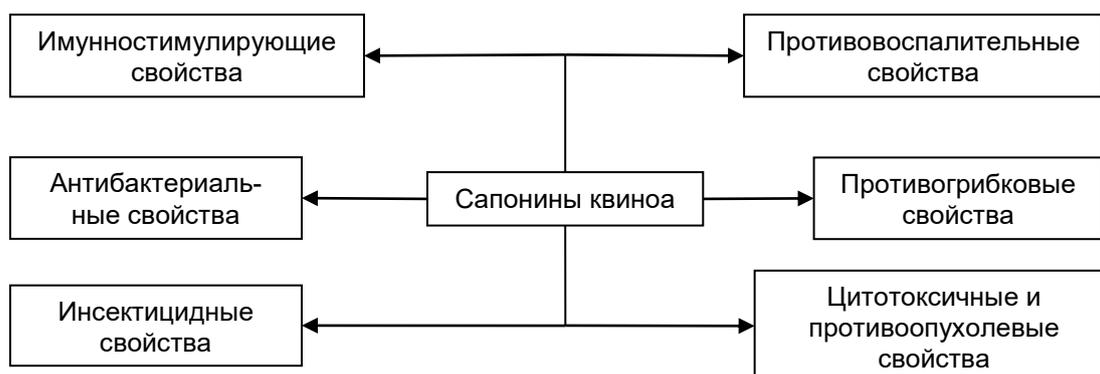


Рисунок 4 – Биологические свойства сапонинов квиноа

Иммуностимулирующее действие сапонинов квиноа заключается в индуцированном росте Т-лимфоцитов, способствующих апоптозу и запускающих гибель аутофагических клеток. Поэтому сапонины квиноа можно использовать как адъюванты вакцины против внутриклеточных патогенов [27].

Согласно данным Wang, зерно квиноа издавна использовалось жителями Анд как противовоспалительное средство при лечении растяжения мышц, ушибах и травмах. Спиртовые припарки из зерна квиноа (особенно черных семян) наносили на пораженные участки тела [28]. По сведениям [29], именно десмозидный сапонин квиноа 3-О-β-D глюкопиранозилолеанолювая кислота и 3-О-β-D глюкопиранозилгедерагенин обладают высокой противовоспалительной активностью. Квиноа в качестве основного агликона содержит олеанолювую кислоту в семенах и гедерагенин в листьях, которые также вовлечены

в различные противовоспалительные молекулярные механизмы.

По данным [30], растворимые в спирте сапонины квиноа обладают антибактериальной активностью в отношении прокариотических и эукариотических организмов, но только при низкой плотности клеток.

Тритерпеноидные сапонины из семян *Chenopodium quinoa* Willd. (Chenopodiaceae) обладают противогрибковой активностью [31]. Исследование Bader показали, что на противогрибковую активность сапонинов против различных штаммов *Candida albicans* может влиять вариация углеводных единиц, связанных с простой эфирно-гликозидной связью, и олигосахарида с ацилгликозидной связью на C-28 агликона. Однако только сырая смесь сапонинов квиноа подавляет рост *Candida albicans*. Чистые соединения проявляют небольшую активность или не проявляют никакой активности, что предполагает

САПОНИНЫ КВИНОА (*CHENOPodium QUINOA WILLD*): СТРОЕНИЕ, ОЧИСТКА, БИОАКТИВНАЯ РОЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР

возможный синергетический эффект между этими сапонинами [32].

Многочисленные зарубежные отчеты подчеркивают высокую цитотоксичность сапонинов квиноа как потенциальных антиметастазирующих, химиотерапевтических и иммуностимулирующих агентов [33, 34, 35]. В частности, олеананы проявляют противоопухолевый эффект в различных путях, включая антиметастазирующие, иммуностимулирующие и химиопрофилактические. Подробные механизмы сложны, но включают дефосфорилирование Stat 3 в различных линиях опухолевых клеток человека и приводят к снижению транскрипционной активности Stat3, который регулирует такие белки, как c-мус, циклин D1, Bcl2, сурвивин и VEGF. Кроме того, сообщалось о нескольких иммуностимулирующих действиях, таких как индуцированный рост Т-лимфоцитов человека, способствующий апоптозу и запускающий гибель

аутофагических клеток. Они снижают респираторную активность и индуцируют поток АТФ после ингибирования потенциал-зависимого аниона [36, 37].

По данным Kuljanabhagavad, цитотоксическим эффектом в клетках рака шейки матки обладает агликонгедерагенина с IC50 15–23 мкг/мл и олеаноловая кислота с IC50 62–69 мкг/мл из-за присутствия альдегида в их структурах [11].

Инсектицидная деятельность сапонинов квиноа основана на трех различных механизмах: вмешательство в процесс пищеварения насекомых, энтомотоксичность (различные формы токсичности, например, снижение женской фертильности насекомых) и регулирование роста насекомых [11].

Таким образом, с учетом широкого спектра полезных свойств сапонины квиноа нашли применение во многих отраслях пищевой промышленности (рисунок 5).

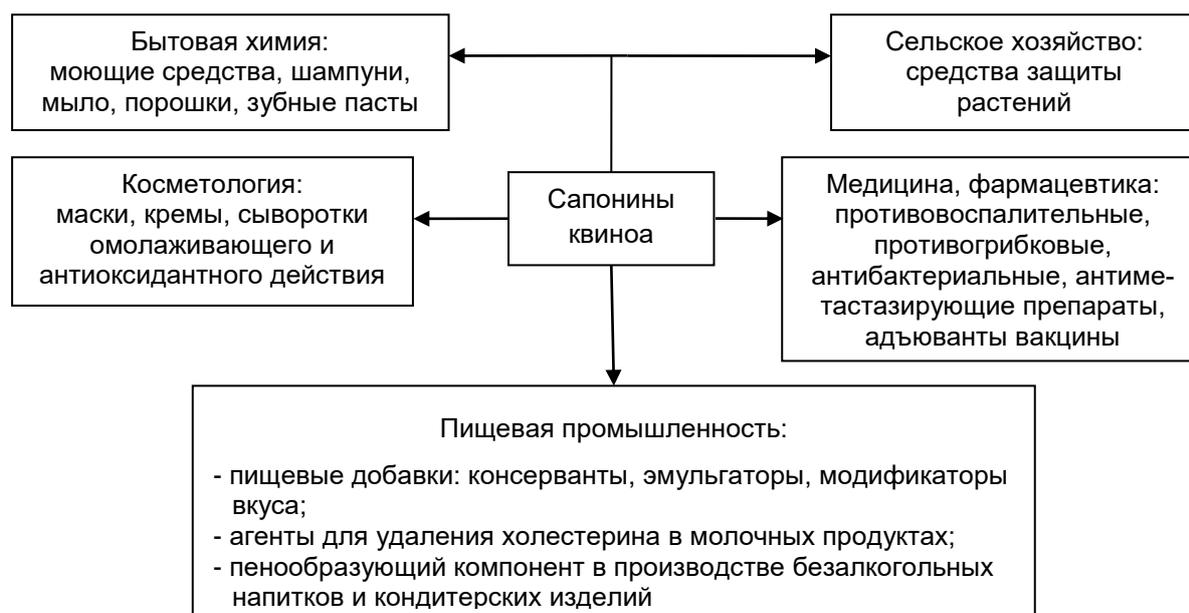


Рисунок 5 – Применение сапонинов квиноа в промышленности

Таким образом, культура квиноа (*Chenopodium quinoa Willd*) в зависимости от генотипа и условий выращивания содержит сапонины до 11,3 г/кг сухого вещества. Сапонины квиноа представлены агликоновой частью – олеаноловой кислотой, гедерагенином и фитолаккагеновой кислотой, сахарной частью – арабинозой, глюкозой и галактозой. Они оказывают различное влияние на организм человека: в высоких дозировках являются токсичными для кровеносной системы, но при этом проявляют полезные свойства: иммуностимулирующие, антибактериальные, **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2020**

противовоспалительные, противогрибковые, противоопухолевые свойства. В настоящее время очистка сапонинов осуществляется механическим шлифованием и удалением семенной оболочки с последующей промывкой водой. Сапонины квиноа применяют в медицине, фармацевтике, сельском хозяйстве, косметологии, бытовой химии и пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щеколдина, Т. В. Квиноа – уникальная культура многоцелевого назначения / Т. В. Щекол-

- дина, А. Г. Христенко // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2013. – № 5 (22). – С. 91–96.
2. Хюпинина, Е. В. Квиноа – новая перспективная культура / Е. В. Хюринина, А. С. Эрднеев // В сборнике : *Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования*. – 2018. – С. 435–438.
3. Щеколдина, Т. В. Технология смешивания композиций безглютеновых мучных смесей на основе квиноа / Т. В. Щеколдина // *Ползуновский вестник*. – 2019. – № 3. – С. 19–24.
4. Кухаренкова, О. В. Продуктивность новой для России крупяной культуры – квиноа (*Chenopodium Quinoa*) в агроклиматических условиях Подмосковья / О. В. Кухаренкова, Е. М. Куренкова // В сборнике : *Доклады ТСХА ; Материалы международной научной конференции*. – 2018. – С. 96–99.
5. Гриц, Н. В. Изучение особенностей развития квиноа (*Chenopodium Quinoa*) в условиях Верхневолжья / Н. В. Гриц, А. В. Диченский, А. С. Васильев и др. // В сборнике : *Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов ; Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции*. – 2018. – С. 31–33.
6. Ганыч, Л. Я. Изучение мирового рынка квиноа / Л. Я. Ганыч, В. В. Олефиренко, Н. В. Мацакова // В сборнике : *Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции ; Сборник материалов III Международной научно-практической конференции*. – 2019. – С. 488–495.
7. Леушкина, Е. В. Оценка функциональных свойств семян квиноа для производства продуктов питания / Е. В. Леушкина, Л. В. Донченко // В сборнике : *Современные проблемы техники и технологии пищевых производств*. – 2019. – С. 215–218.
8. Фаттахова, Г. А. Сапонины как биологически активные вещества растительного происхождения / Г. А. Фаттахова, А. В. Канарский // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 3. – С. 196–202.
9. Augustin, J. M., Kusina, V., Anderson, S. B. & Bak, S. 2011. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry*, 72: 435–457.
10. Liu, J. & Henkel, T., 2002. Traditional chinese medicine (TCM): are polyphenols and saponins the key ingredients triggering biological activities? *Curr Med Chem*, 9:1483–1485.
11. Kuljanabhagavad, T., Thongpasuk, P., Chamulitrat, W. & Wink, M., 2008. Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry*, 69: 1919–1926.
12. Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. & Becker, K., 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition*, 88 (6): 587–605.
13. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martínez, E. A., 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of Science Food and Agriculture*, 90: 2541–2547.
14. Khalil, A. H. & El-Adawy, T. A., 1994. Isolation, identification and toxicity of saponin from different legumes. *Food Chemistry*, 50: 197–201.
15. Baumann, E., Stoya, G., Völkner, A., Richter, W., Lemke, C. & Linss, W., 2000. Hemolysis of human erythrocytes with saponin affects the membrane structure. *Acta Histochemica*, 102 (1): 21–35.
16. Wang, Y., Zhang, Y., Zhub, Z., Zhuc, S., Lic, Y., Lia, M. & Yua, B., 2007. Exploration of the correlation between the structure, hemolytic activity, and cytotoxicity of steroid saponins. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 15: 2528–2532.
17. Gómez-Caravaca, A., Iafelice, G., Lavini, A., Pulvento, C., Caboni, C. & Marconi, E., 2012. Phenolic Compounds and Saponins in Quinoa Samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown under Different Saline and Non saline Irrigation Regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(18): 4620–4627.
18. Lavini, A., Pulvento, C., Riccardi, M., d'Andria, R., Iafelice, G., Marconi, E., Gómez-Caravaca, A. M. & Caboni, M. F., 2011. Caratteristiche qualitative e produttive di un acoltura di nuovo introdotto nell'ambiente mediterraneo (*Chenopodium quinoa* Willd.) sottoposta a stress idrico e salino. 8° AISTEC Congress, Catania, 11–13 May, 2011.
19. Woldemichael, G. M. & Wink, M., 2001. Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5): 2327–2332.
20. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Rodríguez, M.J., Maureira, H. & Martínez, E. A. 2012. Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 72(2): 175–181.
21. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E. A., Lopez, J., Marin, R., Aranda, M. & Fuentes, F., 2013. Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean Journal of Agronomical Research*, 73.
22. Fuentes, F., Bazile, D., Bhargava, A. & Martínez, E. A., 2012. Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150 (6): 702–716.
23. Martínez, E. A., Delatorre, J. & Von Baer, I., 2007. Quinoa: las potencialidades de un cultivo subutilizado en Chile. *Tierra Adentro (INIA)*, 75: 24–27.
24. Wright, K. H., Pike, O. A., Fairbanks, D. J. & Huber, C. S., 2002. Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Food Science*, 67: 1383–1386.
25. Fuentes, I. Q., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Lemus-Mondaca, R., Lozano, M. & Hen, A. K., 2013. A kinetic approach to saponin extraction during washing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed. *Journal of Food Process Engineering*, 36 (2013): 202–210.
26. Abugoch, L. E. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional and

САПОНИНЫ КВИНОА (*CHENOPodium QUINOA WILLD*): СТРОЕНИЕ, ОЧИСТКА,
БИОАКТИВНАЯ РОЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР

functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58: 1–31.

27. Sosa, S., Morelli, C. F., Tubaro, A., Cairolì, P., Speranza, G. & Manitto, P., 2007. Anti-inflammatory activity of *Maytenus senegalensis* root extracts and of maytenoic acid. *Phytomedicine*, 14: 109–114.

28. Wang, X., Liu, R., Zhang, W., Zhang, X., Liao, N., Wang, Z., Li, W., Qin, X. & Hai, C., 2013. Oleanolic acid improves hepatic insulin resistance via antioxidant, hypolipidemic and anti-inflammatory effects. *Mol Cell Endocrinol*, 376: 70–80.

29. Killeen, G. F., Madigan, C. A., Connolly, C. R., Walsh, G. A., Clark, C., Hynes, M. J., Timmins, B. F., James, P., Headon, D. R. & Power, R. F., 1998. Antimicrobial saponins of *Yucca schidigera* and the implications of their *in vitro* properties for their *in vivo* impact. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 3178–3186.

30. Kim, Y. K., Kim, R. G., Park, S. J., Ha, J. H., Choi, J. W., Park, H. J. & Lee, K. T., 2002. *In vitro* anti-inflammatory activity of kalopanax-saponin A isolated from *Kalopanax pictus* in murine macrophage raw 264.7 cells. *Biol Pharm Bull*, 25: 472–476.

31. Mastebroek, H. D., Limberg, H., Gilles, T. & Marvin, H. J. P., 2000. Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Journal of the Sciences of Food and Agriculture*, 80: 152–156.

32. Bader, G., Seibold, M., Tintelnot, K. & Hiller, K., 2000. Cytotoxicity of triterpenoid saponins. Part 2: Relationships between the structures of glycosides of polygalacic acid and their activities against pathogenic *Candida* species. *Pharmazie*, 55(1): 72–74.

33. Hwang, T.-L., Wang, C.-C., Kuo, Y.-H., Huang, H.-C., Wu, Y.-C., Kuo, L.-M. & Wu, Y.-H., 2010.

The hederagenin saponin SMG-1 is a natural FMLP receptor inhibitor that suppresses human neutrophil activation. *Biochem Pharmacol*, 80:1190-1200.

34. Li, L. C., Carroll, P. R. & Dahiya, R., 2005. Epigenetic changes in prostate cancer: Implication for diagnosis and treatment. *Journal of the National Cancer Institute*, 97(2): 103–115.

35. Man, S., Gao, W., Zhang, Y., Huang, L. & Liu, C., 2010. Chemical study and medical application of saponins as anticancer agents. *Fitoterapia*, 81: 703–714.

36. Musende, A. G., Eberding, A., Wood, C., Adomat, H., Fazli, L., Hurtado-Call, A., Jia, W., Bally, M. B. & Gonsky, E. T., 2009. Preclinical evaluation of Rh2 in PC-3 human xenograft model for prostate cancer *in vivo*: Formulation, pharmacokinetics, biodistribution and efficacy. *Cancer Chemotherapy Pharmacology*, 64: 1085–1095.

37. Su, Z. Y., Shu, L., Lee, J. H., Fuentes, F., Wang, H., Wu, T. Y., Yu, S. & Kong, A. H., 2013. Perspective on Nrf2, epigenomics and cancer stem cells in cancer chemoprevention using dietary phytochemicals and traditional Chinese medicines. *Progress in Chemistry*, 25(9): 1526–1543.

Орлова Татьяна Владимировна,
к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, e-mail: schekoldina_tv@mail.ru, тел.: 8(909)45-46-355.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДИСТИЛЛЯТОВ ИЗ ПЛОДОВ КИЗИЛА

Л. А. Оганесянц, Л. Н. Крикунова, Е. В. Дубинина, С. Д. Швец

Настоящая работа посвящена оценке перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила. Испытаны пять образцов активаторов брожения, наиболее часто применяемых в бродильных производствах и виноделии. Сравнительная оценка растворимых фракций испытанных препаратов показала, что они существенно различаются по содержанию растворимого белка, свободных аминокислот и минеральному составу. Установлено, что интенсивность процесса сбраживания кизиловой мезги и выход этанола повышаются при использовании активаторов с высоким содержанием свободных аминокислот. При этом использование активатора с концентрацией свободных аминокислот более 1000 мг/дм³ и содержанием фосфора до 60 мг/дм³ приводило к образованию более высокой концентрации метанола. Минимальное образование метанола зафиксировано в образцах сброженной кизиловой мезги с использованием активатора брожения Вита Ферм Ультра Ф3 (Erbslöh, Германия), содержащего в растворимой части максимальное количество фосфора – более 3000 мг/дм³. Показано, что использование при сбраживании кизиловой мезги активаторов с величиной отношения концентрации аминного азота к концентрации фосфора от 0,07 до 0,10 позволяет получить сброженное сусло с достаточно высокой концентрацией этилового спирта и оптимальным содержанием основных летучих компонентов.

Ключевые слова: активаторы брожения, состав растворимых компонентов, азотсодержащий комплекс, свободные аминокислоты, минеральные вещества, эффективность брожения, сброженная кизиловая мезга, выход этанола, метанол, летучие компоненты.

Разработка новых инновационных технологий дистиллятов из культурного и дикорастущего фруктового сырья на основе изучения процессов трансформации его биохимического состава является одним из приоритетных направлений научных исследований, проводимых в течение последнего десятилетия во ВНИИПБиВП. В результате созданная научно-практическая база позволила существенно расширить ассортимент высококачественной продукции на основе фруктовых (плодовых) дистиллятов и повысить конкурентоспособность отечественных спиртных напитков. Научная новизна разработанных технологий защищена Патентами РФ [1, 2, 3, 4], предложенные технологические решения внедрены на ведущих российских предприятиях.

В настоящее время работы специалистов института посвящены вовлечению в производство дистиллятов нового перспективного вида сырья – кизила. Повышенный интерес к данному виду сырья обусловлен тем, что кизил, встречающийся как в дикорастущем виде, так и в виде культурных форм, распространен не только в пределах его естественного ареала (Кавказ), но также в более северных регионах Российской Федера-

ции. Связано это с неприхотливостью растения, способностью его переносить морозы до минус 30–35 °С и устойчивостью к засухе.

Плоды кизила, как культурного, так и дикорастущего, обладают сильным приятным ароматом, который усиливается при тепловой обработке. Это свойство кизила позволит получать продукцию с оригинальными органолептическими характеристиками.

На основании результатов исследования биохимического состава плодов культурного и дикорастущего кизила установлено, что данный вид сырья может рассматриваться как перспективный для производства дистиллятов. Плоды кизила характеризуются высоким содержанием сахаров, представленных преимущественно моносахаридами [5]. Также установлено высокое содержание органических кислот и фенольных соединений в данном виде сырья [5, 6], что необходимо учитывать при разработке режимных параметров подготовки его к дистилляции. Анализ азотсодержащего комплекса плодов кизила показал, что по сравнению с другими видами фруктов они характеризуются более низкой массовой концентрацией свободных аминокислот (по сравнению с яблоками в 1,5 раза меньше) и одновременно более высоким содержанием фос-

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДИСТИЛЛЯТОВ ИЗ ПЛОДОВ КИЗИЛА

фора (по сравнению с яблоками в 2,5 раза выше) [7, 8].

Сравнительная оценка способов подготовки плодов кизила к дистилляции показала, что оптимальным является способ подготовки сырья, предусматривающий сбраживание мезги. Применение данного способа позволяет сократить продолжительность процесса в 2 раза, повысить выход этанола в среднем на 1,4 %, снизить концентрацию метанола и отдельных высших спиртов в сброженном сырье, а также способствует образованию ценных ароматобразующих летучих компонентов [9].

В целом, в качестве варьируемых факторов на стадии сбраживания сырья, в т. ч. и фруктового, рассматриваются используемая раса дрожжей, ферментные препараты, режимы сбраживания (норма внесения дрожжей, температура, аэрация). На эффективность процесса сбраживания и направленность происходящих при этом биохимических реакций оказывает влияние метаболизм дрожжей. Известно, что для стимуляции роста и развития дрожжевой популяции, а также с целью направленного регулирования образования вторичных продуктов брожения, широко используются активаторы брожения [10, 11, 12].

Цель настоящей работы состояла в оценке перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовали пять образцов активаторов брожения и образцы сброженной кизиловой мезги, полученной с их использованием.

Образец 1 – Активит (ИОС, Франция). Комплексная подкормка, состоящая из инактивированных дрожжей, диамония фосфата и тиамин. Предназначен для добавления в виноградное сусло при дефиците азота. По данным производителя, способствует хорошему размножению дрожжей и поддержанию их бродильной активности.

Образец 2 – Истлайф Экстра (Lallemand, Великобритания) представляет собой комплексную смесь питательных веществ, содержащую растворимые протеины, аминокислоты, минералы и витамины. Рекомендован к использованию в технологии пивоварения с целью обеспечения энергичного накопления активных дрожжевых клеток, усиления их бродильной активности и сохранения заданных свойств расы длительное время.

Образец 3 – Биоклин (ИОС, Франция) представляет собой смесь из инактивированных дрожжей и инертного вспомогательного материала. Предназначен для интенсификации процессов брожения в виноделии.

Образец 4 – Шиха Спид Ферм (Vegeow, Германия) – смесь неактивных дрожжей, обогащенная витаминами группы В, минеральными веществами (магний, цинк, марганец) и аминокислотами. Данный препарат рекомендован к использованию в виноделии для ускорения размножения дрожжевых клеток, увеличения количества активных клеток в процессе брожения, обеспечения высокой степени выбраживания и сокращения образования H_2S .

Образец 5 – Вита Ферм Ультра Ф3 (Erbslöh, Германия) – мультипитательный комплекс, содержащий инактивированные дрожжи, диаммоний фосфат и тиамин. Используют в виноделии для быстрого забраживания, повышения эффективности брожения и снижения образования нежелательных вторичных продуктов брожения.

В связи с тем, что для дрожжей доступными являются только растворимые формы веществ активаторов, были приготовлены водные экстракты путем смешивания сухого компонента и дистиллированной воды в определенном соотношении (1 : 50), настаивания в течение 10 минут при периодическом перемешивании с последующим отделением жидкой фазы путем центрифугирования.

В водных экстрактах определяли массовую концентрацию растворимых белков (метод Лоури) [13], массовую концентрацию аминного азота (медный способ) [14]. Массовую концентрацию аммиачного азота определяли диффузионным методом [15]. Массовую концентрацию свободных аминокислот определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе «Agilent Technologies 1200 Series» («Agilent», США) [16]. Массовую концентрацию минеральных веществ определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3 («Карл Цейс Йена», Германия) [17].

Объемную долю этилового спирта в сброженной кизиловой мезге определяли по ГОСТ 32095-2013 [18].

Состав летучих компонентов определяли газохроматографическим методом на приборе «Кристалл 5000.1» («Хроматек», Россия) с пламенно-ионизационным детектором по ГОСТ 33834-2016 [19].

Все испытания проводили не менее 2-х раз. За результат измерений принимали среднее арифметическое полученных значений. Для подтверждения достоверности получен-

ных результатов проводили статистический анализ с использованием математических методов в стандартном пакете программ Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы определяли растворимость исследуемых образцов активаторов. Установлено (рисунок 1), что макси-

мальной растворимостью характеризовался экстракт, полученный из образца 2 (Истлайф Экстра). Водные экстракты из образцов 1 (Активит) и 5 (Вита Ферм Ультра Ф3) имели растворимость ниже на 23 % и 11 %, соответственно. Минимальная растворимость отмечена в образце 3 (Биоклин), в котором по данным производителя, использован инертный вспомогательный материал.

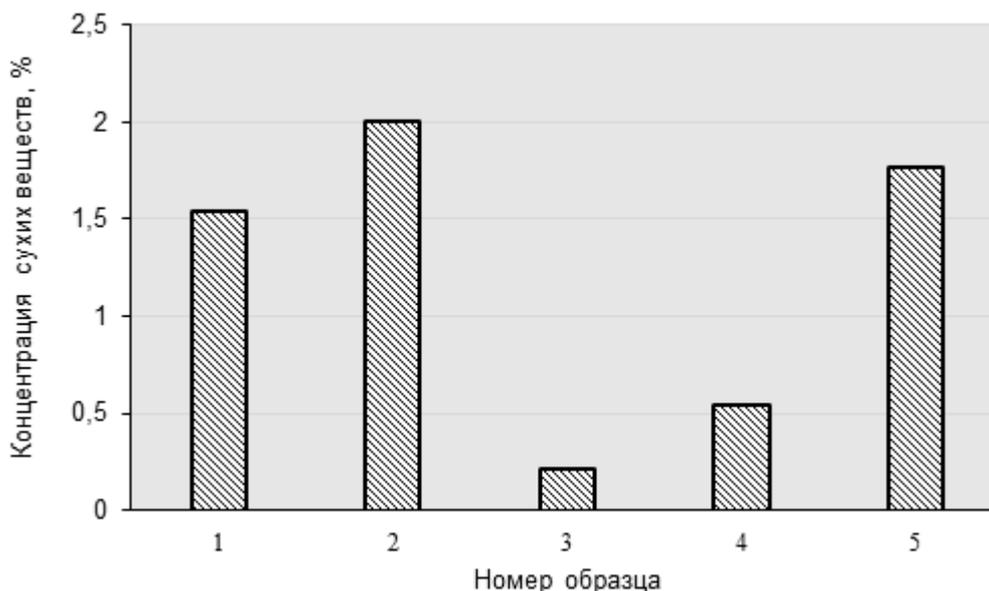


Рисунок 1 – Оценка растворимости образцов активаторов брожения

Сравнительная оценка азотсодержащих соединений в водных экстрактах позволила выявить существенные отличия образцов по содержанию водорастворимого белка (таблица 1). Вместе с тем содержание аминного азота и аммиачного азота в исследованных образцах отличалось не столь существенно. Это свидетельствует о том, что в образцах 2 и 5 присутствует большое количество растворимых белков, в первую очередь альбуминов, и полипептидов, которые непосредственно дрожжевой клеткой не усваиваются.

Анализ состава и концентрации свободных аминокислот в водных экстрактах актива-

торов брожения показал, что их общее содержание в образце, полученном из активатора Шиха Спид Ферм выше, чем в других образцах в 1,6–2,2 раза (таблица 2). Причем массовая концентрация аспарагиновой кислоты выше в 2,9–19,7 раз, глутаминовой кислоты – в 3,2–6,1 раз, глутамина – в 4,2–13,3 раза и треонина – в 2,3–5,3 раза. Высокая концентрация хорошо усваиваемых дрожжами аминокислот в данном образце является, как известно, предпосылкой их более интенсивного размножения и повышения эффективности сбраживания.

Таблица 1 – Характеристика водорастворимых форм азотсодержащего комплекса активаторов брожения

Номер образца	Наименование активатора	Массовая концентрация, мг/дм ³		
		растворимый белок	аммиачный азот	аминный азот
1	Активит	304	4	336
2	Истлайф Экстра	1 790	4	364
3	Биоклин	215	2	252
4	Шиха Спид Ферм	591	4	322
5	Вита Ферм Ультра Ф3	1 092	2	238

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДИСТИЛЛЯТОВ ИЗ ПЛОДОВ КИЗИЛА

Кроме азотистых соединений для развития дрожжей и повышения эффективности брожения большое значение имеет фосфор, который входит в состав важнейших компонентов клетки – нуклеопротеидов, нуклеиновых кислот, полифосфатов и фосфолипидов. Недостаток фосфора в среде может привести

к нарушению потребления и усвоения дрожжами углеводов и азота. Стимуляторами роста и развития дрожжей являются также витамины, микроэлементы, в т. ч. кальций и калий, обеспечивающие активизацию некоторых ферментов.

Таблица 2 – Оценка состава свободных аминокислот в водном экстракте, полученном из активаторов брожения

Наименование аминокислот	Массовая концентрация, мг/дм ³				
	Активит	Истлайф Экстра	Биоклин	Шиха Спид Ферм	Вита Ферм Ультра Ф3
Аспарагиновая кислота	12,5	64,0	46,6	189,0	9,6
Глутаминовая кислота	85,9	62,6	118,9	381,0	65,2
Аспарагин	7,1	24,7	21,2	34,6	10,0
Гистидин	6,9	30,3	12,0	25,8	8,3
Серин	3,2	9,0	7,0	11,3	9,9
Глутамин	18,2	14,5	38,9	164,9	12,4
Аргинин	3,8	19,8	7,4	8,7	5,5
Глицин	14,9	32,8	23,7	71,0	23,9
Треонин	26,8	40,0	62,1	143,2	44,0
Аланин	47,1	85,4	157,1	131,7	33,3
Тирозин	19,8	93,4	4,7	12,3	50,7
Валин	10,3	40,9	23,7	49,2	15,4
Метионин	1,7	11,1	6,9	5,5	5,2
Триптофан	250,1	104,0	7,0	20,8	344,6
Изолейцин	48,5	64,6	17,5	25,2	58,1
Фенилаланин	29,2	52,5	16,2	23,5	35,9
Лейцин	21,0	74,1	27,3	37,5	24,9
Лизин	7,1	22,7	15,8	26,9	12,9
Всего	614,2	846,9	614,2	1362,2	769,8

Установлено, что в водных экстрактах исследованных активаторов в наибольшей концентрации присутствует фосфор (таблица 3).

Выявлены существенные различия в концентрации данного компонента в зависимости от образца.

Максимальным содержанием фосфора

характеризовались экстракты, полученные из препаратов Истлайф Экстра и Вита Ферм Ультра Ф3. Для этих образцов величина отношения концентрации аминного азота к концентрации фосфора составляла 0,07 и 0,13, в остальных образцах эта величина варьировалась в пределах от 1,73 до 17,5.

Таблица 3 – Минеральный состав водных экстрактов, полученных из активаторов брожения

Наименование катиона	Массовая концентрация катионов в активаторах, мг/дм ³				
	Активит	Истлайф Экстра	Биоклин	ШихаСпид Ферм	Вита Ферм Ультра Ф3
Na	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4
NH ₄	33,0	37,2	0,2	0,1	33,9
K	2,1	1,6	0,1	4,1	1,8
Ca	2,5	0,7	0,6	0,8	0,7
Mg	0,3	следы	0,2	следы	следы
P	199,4	2715,6	14,4	54,5	3328,2

В документации фирм-производителей активаторов рекомендуемая норма их внесения представляется по массе препарата на единицу объема сбраживаемого сырья.

В данной работе использована норма внесения активаторов по массовой концентрации аминного азота в водном экстракте из расчета 100 мг на 1 дм³ подготовленной кизиловой мезги.

Эффективность процесса сбраживания с использованием активаторов брожения контролировали по динамике выделения диоксида углерода.

Процесс проводили в термостате при температуре 22 °С с использованием сухих активных дрожжей Red Fruit, внесенных из расчета 0,2 г/дм³. Установлено, что в образце с использованием активатора Шиха Спид Ферм процесс брожения проходил наиболее интенсивно и с выделением большего количества диоксида углерода (рисунок 2). Минимальное образование CO₂ на протяжении всего эксперимента отмечалось для образца с использованием препарата Биоклин.

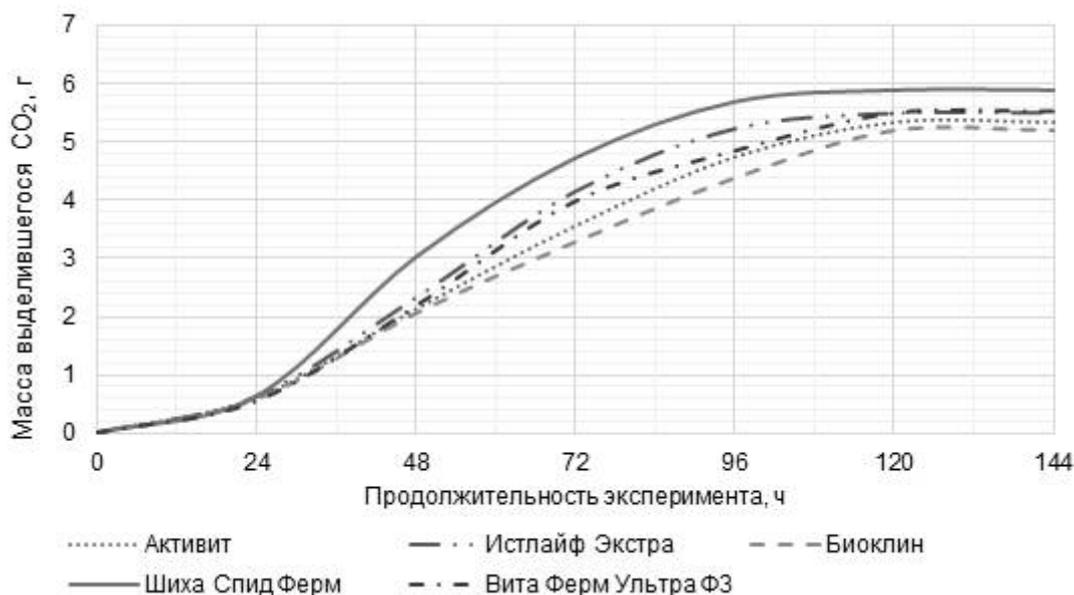


Рисунок 2 – Влияние активатора брожения на динамику образования диоксида углерода

В образцах после шести суток сбраживания определяли объемную долю этилового спирта, а также проанализирован качественный и количественный состав летучих компо-

нентов. Установлено, что качественные показатели сброженной кизиловой мезги зависят от используемого активатора брожения (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние активатора брожения на качественные показатели сброженной кизиловой мезги

Наименование показателя	Активит	Истлайф Экстра	Биоклин	Шиха Спид Ферм	Вита Ферм Ультра Ф3
Объемная доля этилового спирта, %	7,2	7,5	6,6	7,6	7,2
Массовая концентрация летучих компонентов, мг/дм ³ , в т. ч.:					
ацетальдегид	42,3	49,3	56,7	57,1	39,3
этилацетат	48,7	40,6	57,8	70,8	45,4
метанол	296,8	344,2	322,9	547,5	168,7
1-пропанол	11,9	12,9	11,7	20,4	16,3
изобутанол	107,5	119,9	118,2	218,5	119,0
изоамилол	331,1	367,6	379,5	598,5	371,9
фенилэтиловый спирт	8,3	14,0	16,1	25,4	17,5

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДИСТИЛЛЯТОВ ИЗ ПЛОДОВ КИЗИЛА

Как видно из представленных данных, использование активаторов Шиха Спид Ферм и Истлайф Экстра приводит к повышению набода этилового спирта на 0,3–1,0 % об. Это может быть связано с более глубоким гидролизом твердой фракции мезги, переходом полисахаридов в растворимое состояние и их последующей утилизацией дрожжевой клеткой. Кроме того отмечено, что в зависимости от состава активатора изменяется концентрация и соотношение основных летучих компонентов сброженного сырья. Максимальное суммарное содержание летучих компонентов выявлено в образце, полученном с использованием препарата Шиха Спид Ферм, причем данный образец характеризовался также максимальным накоплением метанола, превышающем другие образцы в 1,6–3,2 раза. Учитывая то, что концентрация метанола во фруктовых дистиллятах строго регламентируется использованием препарата Шиха Спид Ферм при сбраживании мезги из кизила не рекомендуется.

Минимальная концентрация метанола отмечалась в образце с использованием препарата Вита Ферм Ультра Ф3, однако этот образец имел среднее значение объемной доли этилового спирта.

Известно, что при дистилляции метанол концентрируется в средней фракции, поэтому окончательный выбор активатора брожения, в основу которого будут положены данные по оценке экономической эффективности и безопасности продукта, можно будет сделать только после изучения стадии дистилляции.

В результате проведенных исследований показана перспективность применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из кизила. Установлены значительные различия в растворимости, азотном и минеральном составе исследованных активаторов брожения. Показано, что использование при сбраживании кизиловой мезги активаторов с величиной отношения концентрации аминного азота к концентрации фосфора от 0,07 до 0,10 позволяет получить сброженное сусло с более высокой концентрацией этилового спирта и оптимальным содержанием основных летучих компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ получения вишневого дистиллята. Патент РФ № 2487928 / Оганесянц Л. А., Песчанская В. А., Алиева Г. А., Дубинина Е. В., опублик. 20.07.2013, Бюл. № 20.
2. Способ получения шелковичного дистиллята. Патент РФ № 2560266 / Оганесянц Л. А., Песчанская В. А., Дубинина Е. В., Лорян Г. В., опублик. 20.08.2015, Бюл. № 23.

3. Способ производства дистиллята из черной смородины. Патент РФ № 2609659 / Оганесянц Л. А., Песчанская В. А., Дубинина Е. В., опублик. 02.02.2017, Бюл. № 4.

4. Способ производства дистиллята из мандаринов. Патент РФ № 2698136 / Оганесянц Л. А., Песчанская В. А., Дубинина Е. В., опублик. 22.08.2019, Бюл. № 24.

5. Песчанская, В. А., Дубинина, Е. В., Крикунова, Л. Н., Трофимченко, В. А. Оценка биохимического состава плодов кизила как сырья для производства дистиллятов // Пиво и напитки. – 2020. – № 1. – С. 44–47. DOI:10.24411/2072-9650-2020-10009.

6. Qing-An Zhang, Xue-Hui Fan, Wu-Qi Zhao, Xiao-Yu Wang, Hong-Zhu Liu. Evolution of some physicochemical properties in *Cornus officinalis* wine during fermentation and storage // European Food Research and Technology. – 2013. – Vol. 237. – № 5. – P. 711–719.

7. Использование плодово-ягодного дикорастущего сырья Дагестана в ликероводочном производстве / М-З. В. Вагабов [и др.] // Известия Вузов. Пищевая технология. – 2001. – № 2–3. – С. 14–16.

8. Касумова, А. А. Изучение химического состава дикорастущих плодов и ягод Гянджа-Газахской зоны // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 10. – С. 34–36.

9. Сравнительная оценка способов сбраживания кизила при производстве дистиллятов / Е. В. Дубинина [и др.] // Пиво и напитки. – 2020. – № 2. – С. 45–49. DOI: 10.24411/2072-9650-2020-10020.

10. Кукушкин, А. В., Раджабов, А. К., Марутян, А. Л. Влияние регуляторов роста и биологически активных препаратов нового поколения на аминокислоты в винах // Виноделие и виноградарство. – 2011. – № 5. – С. 22–23.

11. Пермьякова, Л. В. Классификация стимуляторов жизненной активности дрожжей // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 46–55.

12. Полянина, Т. С., Степура, М. В., Качаева, Н. Ю., Стрибижева, Л. И. Реактивирование активных сухих дрожжей, используемых в виноделии // Известия Вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 2–3. – С. 51–54.

13. Пищевая химия. Лабораторный практикум / А. П. Нечаев [и др.]. – СПб.: ГИОРД. – 2006. – 304 с.

14. Инструкция по технологическому и микробиологическому контролю спиртового производства. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 399 с.

15. Агабальянц, Г. Г. Химико-технологический контроль виноделия / Г. Г. Агабальянц. – М.: Пищевая промышленность. – 1968. – 612 с.

16. Методика измерения массовой концентрации свободных аминокислот в напитках алкогольных и безалкогольных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Свидетельство об аттестации № 01.00225/205-48-12. 2012.

17. ГОСТ Р 57162-2016 Вода. Определение содержания элементов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермиче-

ской атомизацией. – Введен 2018-01-01. – М. : Стандартиформ, 2016. – 18 с.

18. ГОСТ 32095-2013 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения объемной доли этилового спирта. – Введен 2014-07-01. – М. : Стандартиформ, 2014. – 5 с.

19. ГОСТ 33834-2016 Продукция винодельческая и сырье для ее производства. Газохроматографический метод определения массовой концентрации летучих компонентов. – Введен 2018-01-01. – М. : Стандартиформ, 2016. – 11 с.

Оганесянц Лев Арсенович, д.т.н., профессор, академик РАН, директор ВНИИБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, e-mail: vniiqbivp@fnscps.ru, тел.: 8(499)246-67-69.

Крикунова Людмила Николаевна, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков ВНИИ-

БиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, e-mail: cognac320@mail.ru, тел.: 8(499)255-20-21.

Дубинина Елена Васильевна, к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков ВНИИБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, e-mail: elena-vd@yandex.ru, тел.: 8(499) 246-66-12.

Швец Светлана Дмитриевна, инженер-исследователь отдела технологии крепких напитков ВНИИБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, e-mail: lanaschvets@yandex.ru, тел.: 8(963)688-35-94.

СТОЛОВЫЕ ВИНА ИЗ ВИНОГРАДА ФРАНЦУЗСКИХ СОРТОВ, ВЫРАЩЕННОГО В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Н. К. Шелковская, В. А. Вагнер

Использование местного экологически чистого сырья для создания функциональных продуктов питания, в т. ч. и высококачественных вин, является актуальным направлением в пищевой промышленности. Цель исследования: установить возможность использования винограда французских сортов, выращенного в суровых климатических условиях Алтайского края для производства вин столового типа. Легкие столовые вина из винограда французских сортов: Пино нуар, Шардоне, Мюллер-Тургау и Мускат Оттонель получали методом микровиноделия путем полного сбраживания сахаров виноградного сока без добавления спирта. Соки имели тонкий гармоничный вкус и сортовой аромат. К окончанию брожения в трех соках сахар практически насухо выброжен, за исключением сорта Пино нуар с остаточным сахаром $1,27\text{г/дм}^3$. Наброд спирта 8,1–10,3 % об. Накопление летучих кислот составило $0,23\text{--}0,45\text{ г/дм}^3$, что находится в пределах требований ГОСТ. Полифенольные соединения уменьшились с 1436–2809 до 1123–2269 мг/дм^3 , но находятся на высоком уровне. В сброженных соках при длительной выдержке произошли небольшие изменения, не повлиявшие на их качество. Виноматериалы во вкусе и аромате отражали свойства сортового винограда без постороннего привкуса. Готовые вина имели мягкий вкус, гармоничный сортовой аромат и букет. Доказано, что по основным физико-химическим показателям и органолептическим качествам сортовые виноградные вина соответствуют ГОСТ 32030 «Вина столовые и винноматериалы столовые. Общие технические условия».

Ключевые слова: соки, виноматериалы из винограда французских сортов, активные сухие дрожжи, брожение по белому и красному способу, сортовые столовые вина.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных и актуальных направлений в пищевой промышленности является эффективное использование местного экологически чистого сырья для создания функциональных продуктов питания, в т. ч. и высококачественных вин. Улучшение качества виноградных вин, повышение их конкурентоспособности возможно лишь на основе глубокого изучения биохимического состава исходного сырья, виноматериалов и вин, а также биохимических процессов при их изготовлении.

В Алтайском крае промышленного виноградарства и виноделия практически нет. Но в последние 10–15 лет культура винограда стремительно входит в массовую практику сибирского приусадебного и коллективного садоводства. В 2009 г. в с. Алтайское заложен виноградник полупромышленного типа, на котором высажены саженцы четырех сорта винограда, привезенных из Франции и разрешенных к культивированию в России: Мускат Оттонель, Мюллер-Тургау, Пино нуар и Шардоне. В настоящее время общая площадь виноградника ООО «Алтайская лоза» составляет 7,5 га.

Пино нуар – сорт винограда, имеет круглые ягоды с темной кожицей и ярко розовым

соком. В суровых сибирских условиях у этого сорта хорошая морозостойкость, неплохая урожайность, средняя масса ягод с грозди 90 г. Накопление сахара равномерное до 18,5 % brix. Сорт Мюллер-Тургау – один из 3-х сортов винограда с белой окраской ягод с наименьшим накоплением сахара – 14,2 % brix при высокой урожайности. Средняя масса ягод грозди 126 г, это максимальное значение из всех изучаемых сортов. При высокой урожайности сорт не стоек к морозам. В плодах винограда сорта Шардоне к моменту сбора урожая накопление сахара 17,9 % brix. Средняя масса ягод грозди составила 93 г, урожайность небольшая при хорошей устойчивости к морозам. Мускат Оттонель – ягоды с гармоничным ярко выраженным ароматом и приятным вкусом. На момент сбора урожая содержание сахара 19,0 % brix. Средняя масса грозди 90 г при средней урожайности, сорт среднезимостойкий [1].

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в лаборатории индустриальных технологий ФГБНУ ФАНЦА Отдела «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко» и учебных лабораториях Алтайского

государственного технического университета. В 2016–2017 г. выработаны опытные партии виноматериалов и вин столового типа из сортов винограда с красной и белой окраской ягод в соответствии с «Основными правилами, технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству винодельческой продукции» [2]. Сброженные соки из винограда сорта Пино нуар с красной окраской ягод готовили по красному способу на мезге с плавающей шапкой. Виноматериалы из соков 3-х сортов винограда с белой окраской ягод – по белому способу. Физико-химический контроль процесса брожения проводили по уменьшению содержанию сахара и накоплению спирта [3], микробиологический – по состоянию дрожжевых клеток [4]. После выдержки виноматериалы подвергали оклейке бентонитом в сочетании с желатином для стабилизации в соответствии с применяемыми в виноделии методиками [5], затем фильтровали и разливали горячим способом в стерильные бутылки. Физико-химические исследования соков, виноматериалов и вин столового типа из винограда французских сортов проведены в соответствии с ГОСТами ISO750; 24556; 26188; 28562; 32001; Р 51620. Общее содержание полифенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу [6]. Анализы проведены в 2-х кратной повторности. Статистическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову [7].

Цель работы: установить возможность использования винограда французских сортов, выращенного в суровых климатических условиях Алтайского края, для производства вин столового типа и разработать нормативно-техническую документацию (ТИ).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Ягоды винограда для изучения отбирали в стадии технической зрелости. Виноматериалы готовили способом микровиноделия на активных сухих дрожжах расы (АСД) Франс Суперстарт [8]. По окончании брожения виноматериалы снимали с осадка закрытой переливкой в емкости на 20 дал доверху, герметично укупоривали, ставили на выдержку в течение 6 месяцев в холодильную камеру при температуре до 10 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Массовая концентрация общего сахара в виноградных соках довольно высокая – 16,3–18,1 г/100г, растворимых сухих веществ 19,0–21,0 % (таблица 1). Исключение составил

сорт Мюллер-Тургау, в котором содержание сахара минимальное 13,5 г/100 г, РСВ – 15,5 %. Титруемая кислотность умеренная – 7,62–8,36 г/дм³. Значение рН коррелирует с титруемой кислотностью (3,30–3,44 единиц). Фенольные (дубильные, красящие и др.) вещества играют важную роль в процессах формирования органолептических качеств виноматериала и вина. Избыточное их содержание в соках сообщает будущим винам терпкость, грубость. Недостаток фенольных веществ может быть причиной отсутствия в винах «тела», что делает их «жидкими», неяркими [9]. В исследуемых виноградных соках содержание полифенольных веществ на уровне – 1436–2809 мг/дм³, что указывает на высокое качество сырья. Высокий сахарокислотный индекс, как правило, характеризует хорошую оценку вкуса ягод и соков из них. Сахарокислотный индекс в соках изученных сортов высокий и составил 17,07–23,36 единиц. Содержание витамина С небольшое – 3,15–5,16 мг/100 г. Соки имели приятный вкус и гармоничный сортовой аромат.

Брожение трех соков из ягод винограда с белой окраской проводили в анаэробных условиях на АСД Франс Суперстарт. Дробленый виноград сорта Пино нуар без прессования подбраживали на мезге и далее вели брожение аналогично белому способу. По завершении брожения сахар практически насухо выброжен в трех соках, за исключением сорта Пино нуар, в котором остаточное содержание сахара – 1,27 г/дм³ (таблица 2). Наброд спирта в виноградных виноматериалах – 8,1–10,3 % об. Титруемая кислотность понизилась незначительно – на 0,17–0,38 г/дм³. По всей вероятности, наряду со спиртовым брожением прошло яблочно-молочнокислое брожение, что в данном случае является положительным фактором.

Накопление летучих кислот составило 0,23–0,45 г/дм³, что находится пределах нормируемых требований. В результате окислительных процессов в ходе брожения претерпели изменение полифенольные соединения в сторону уменьшения с 1436–2809 до 1123–2269 мг/дм³, но находятся на высоком уровне. Витамин С исчез практически полностью.

Длительная выдержка виноматериалов сопровождается комплексом биохимических и физических процессов, влияющих на состав и содержание компонентов экстракта. В виноматериалах при выдержке в течение 6 месяцев и соблюдении всех требуемых условий, произошли небольшие изменения, не повлиявшие на качество.

Содержание остаточного сахара умень-

**СТОЛОВЫЕ ВИНА ИЗ ВИНОГРАДА ФРАНЦУЗСКИХ СОРТОВ, ВЫРАЩЕННОГО
В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

шилось в вино материале Пино нуар на 1,0 %, 10,5 % об. за счет подбраживания сахаров в
соответственно увеличился спирт с 9,9 до период выдержки.

Таблица 1 – Физико-химические показатели виноградных соков урожаев 2016–2017 гг.

Сок, сорт	PCB, %	Массовая кон- центрация са- харов, г/100 г	Титруемая кислотность, г/дм ³	СКИ (ед.)	pH (ед.)	Суммапо- лифенолов, мг/дм ³	Витамин С, мг/100 г
Пино нуар	21,0	17,8	7,62	23,36	3,44	2809	5,16
Шардоне	19,0	16,3	8,36	19,50	3,30	1756	4,95
Мюллер- Тургау	15,5	13,5	7,91	17,07	3,35	1718	3,15
Мускат Оттонель	20,6	18,1	7,98	22,68	3,35	1436	4,05
min	15,5	13,5	7,62	17,07	3,30	1436	3,15
max	21,0	18,1	8,36	23,36	3,44	2809	5,16
X±m	19,03 ±1,25	16,43±1,05	7,97±0,15	20,65± 1,46	3,36± 0,03	1930± 301,65	4,33±0,46

* *Примечание: PCB – растворимые сухие вещества; СКИ – сахарокислотный индекс; ед – единица*

Незначительно снизилась титруемая ки-
слотность. Содержание летучих кислот в ви-
номатериалах при длительном хранении
имеет большое значение для характеристики
вкуса продукта. Произошло сравнительно
небольшое накопление летучих кислот и
суммарное их содержание в пределах 0,26–
0,49 г/дм³, при ПДК не более 1,10 г/дм³ – для

белых и 1,20 г/дм³ – для красных винома-
териалов. Сумма полифенолов уменьшилась за
счет окислительных процессов, но находится
на очень высоком уровне – 1150–2200 мг/дм³.

Виноматериалы во вкусе и аромате от-
ражают свойства сортового винограда без
постороннего привкуса.

Таблица 2 – Физико-химические показатели свежеприготовленных виноградных винома-
териалов урожаев 2016–2017 гг.

Вино- материал, сорт	Сахар, остаточ- ный, г/100 г	Титруемая Кислотность, г/дм ³	pH, (ед.)	Сумма полифе- нолов, мг/дм ³	Приве- денный экстракт, г/дм ³	Спирт, % об.	Летучие кислоты, г/дм ³
Пино нуар	1,27	7,45	3,46	2269	25,4	9,9	0,23
Шардоне	0,40	8,05	3,37	1280	21,9	9,4	0,26
Мюллер- Тургау	0,35	7,57	3,43	1308	22,6	8,1	0,33
Мускат Оттонель	0,25	7,60	3,44	1123	23,7	10,3	0,45
min	0,25	7,45	3,37	1123	21,9	8,1	0,23
max	1,27	8,05	3,46	2269	25,4	10,3	0,45
X±m	0,57±0,24	7,67±0,13	3,43± 0,02	1495± 261,19	23,40± 0,76	9,43± 0,48	0,32±0,05

После выдержки виноградные винома-
териалы разливали в новые стерильные бу-
тылки по уровню, пастеризовали при темпе-
ратуре 75 °С и закупоривали стерильными
пробками. Титруемая кислотность виноград-
ных готовых вин (в пересчете на винную ки-
слоту) составляла 7,30–7,98 г/дм³. Содержа-
ние полифенольных веществ на высоком
уровне – 1100–2150 мг/дм³. Приведенный
экстракт, объемная доля этилового спирта и
содержание летучих кислот находятся в со-
ответствии с нормируемыми требованиями
на вина виноградные столового типа (табли-
ца 3). Значение pH коррелирует с титруемой

кислотностью (3,35–3,40 единиц). Массовая
концентрация PCB – 4,0–4,6 %, остаточного
сахара – 0,20–0,50 г/100 см³, вина практиче-
ски сухие.

Дегустация сухих сортовых виноградных
вин столового типа показала, что в них на-
блюдается хорошо выраженный винный вкус
и аромат, соответствующий каждому иссле-
дованному сорту винограда. Цвет вин, приго-
товленных из винограда сортов Шардоне,
Мюллер-Тургау и Мускат Оттонель, – соло-
менный, Пино нуар – вишневый с гранатовым
оттенком. Виноградные вина – кристально
прозрачные с блеском. Органолептические

оценки виноградных вин столового типа сортов Мускат Оттонель, Пино нуар и Шардоне – 9,2–9,5 балла. По физико-химическим показателям вина этих сортов соответствуют требованиям ГОСТ 32030 «Вина столовые и вино-материалы столовые. Общие технические ус-

ловия» [10]. Вино из винограда сорта Мюллер-Тургау получило дегустационную оценку значительно ниже – 8,9 балла. В связи с низким накоплением сахара в ягодах рекомендуем использовать его в купаже с вино-материалами из высокосахаристых сортов винограда.

Таблица 3 – Физико-химические показатели и органолептическая оценка купажных вин столового типа

Вино виноградное, сорт	Титруемая кислотность, г/дм ³	Сумма полифенолов, мг/дм ³	Спирт, % об.	Летучие кислоты, г/дм	Приведенный экстракт, г/100 г	Дегустационная оценка (балл)
Пино нуар	7,30	2150	10,2	0,21	25,0	9,5
Шардоне	7,98	1230	9,1	0,24	20,9	9,2
Мюллер-Тургау	7,45	1250	7,9	0,33	21,5	8,5
Мускат Оттонель	7,52	1100	10,0	0,41	23,0	9,4
min	7,30	1100	7,9	0,21	20,9	8,5
max	7,98	2150	10,2	0,41	25,0	9,5
X±m	7,56±0,15	1432,50±241,47	9,30±0,52	0,30±0,05	22,60±0,91	9,15±0,23

ВЫВОДЫ

1. Вина столового типа 3-х исследуемых сортов винограда Мускат Оттонель, Шардоне и Пино нуар по основным физико-химическим показателям и органолептической оценке соответствуют требованиям ГОСТ 32030 «Вина столовые и вино-материалы столовые. Общие технические условия».

2. Сорт винограда Мюллер-Тургау рекомендуем использовать в сепаже с плодами винограда высокосахаристых сортов или в купаже с вино-материалами, накапливающих естественный наброд спирта в соответствии с требованиями НТД.

3. Выработана опытная партия вин столового типа из четырех сортов винограда.

4. На основании проведенных исследований разработана технологическая инструкция по производству виноградных вин столового типа из винограда, выращенного в сложных климатических условиях предгорной зоны Алтайского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагнер, В. А. Исследование французских сортов винограда, произрастающих на территории ОАО «Алтайский винзавод» / В. А. Вагнер, Ю. А. Юсупова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. Материалы XIV международной научно-практической конференции. – Барнаул. – 2013. – С. 3–5.

2. Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. – Москва : Пищепромиздат, 1998. – С. 42–46.

3. Методы теххимического контроля в виноделии / под ред. В. Г. Гержиковой. – Симферополь : Таврида, 2002 – 260 с.

4. Бурьян, Н. Н. Микробиология виноделия / Н. Н. Бурьян. – Москва : Пищевая промышленность, 1979. – С. 226–235.

5. Валуйко, Г. Г. Технология виноградных вин / Г. Г. Валуйко. – Симферополь, Таврида, 2001. – С. 352–353; 3620365.

6. Методические рекомендации, по технологической оценке, сортов винограда для виноделия. – Ялта, 1983. – С. 25–26.

7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва, 1979. – 416 с.

8. Тихонова, А. Н. Влияние штаммов активных сухих дрожжей на органолептику вина / А. Н. Тихонова, Л. И. Стрибжева, Е. В. Ежова, Н. Ю. Качаева // Виноделие и виноградарство. – 2011. – № 2. – С. 14–15.

9. Исследование фенольных веществ и антиоксидантной активности красных столовых вин, произведенных из сорта винограда Пино нуар / В. А. Маркосов [и др.] // Виноделие и виноградарство. – 2018. – № 3. – С. 30–35.

10. ГОСТ 32030-2013 Вина столовые и вино-материалы столовые. Общие технические условия.

Шелковская Наталья Кирилловна, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА Отдел «НИИСС им. М.А. Лисавенко», 656045, г. Барнаул, Змеиногорский тракт, 49, тел.: (3852) 68-50-65, e-mail: shelk49@mail.ru.

Вагнер Владимир Анатольевич, к.т.н. заведующий кафедрой «Технология бродильных производств и виноделия» ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел. (3852) 29-87-38, e-mail: kafedratbvp@mail.ru.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ МАКРОБИОТИЧЕСКИХ КАШ

А. Т. Пруссакова, М. С. Воронина

На протяжении десятилетий макробиотические каши доказывают свою эффективность в восстановлении здоровья у людей. Целебные свойства этих каш связывали главным образом с присутствием в их составе цельного зерна, растительных лечебных добавок с максимальным количеством биологически активных веществ. В тоже время наблюдался интересный эффект. Применение макробиотических каш было намного полезнее, чем употребление простых смешанных составов: крупы и аналогичных растительных компонентов. У макробиотического питания есть принципы, которые необходимо соблюдать для достижения лучшего результата. Макробиотическое питание может воздействовать на процесс старения, замедляя его. Самым основным принципом макробиотического питания является соблюдение баланса в питании. Целью данного исследования является изучение физико-химических показателей плодово-ягодных ингредиентов для макробиотических каш. Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе высушивались образцы при помощи ИК излучения. На втором этапе определялись физико-химические показатели высушенных образцов, а именно: кислотность, влажность и сухие вещества. Кислотность определялась методом титрования экстракта гидроокисью натрия. Сухие вещества и влажность определялись при высушивании образцов ягод при фиксированной температуре фиксированное время. Сделаны основные выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: макробиотические каши, плодово-ягодное сырье, ягоды, сушка, ИК излучение, кислотность, сухие вещества, влажность, выжимки, функциональные продукты питания.

Макробиотическое питание по классической макробиотике — это, в основном, питание злаками. Определение современной макробиотики классифицирует макробиотические продукты как продлевающие жизнь человека. Такое определение позволяет значительно расширить рацион человека, ведущего здоровый образ жизни. Макробиотические продукты должны соответствовать следующим критериям:

1. С пищей человек должен получать «строительный материал» для клеток организма только высшего качества.

2. Макробиотические продукты – это источник доступной и длительно расходуемой энергии для организма

3. С макробиотическими продуктами должно поступать достаточное количество витаминов, микро- и макроэлементов, генетически заложенных катализаторов жизнедеятельности

4. Макробиотическая пища – это носитель информации о долгой и здоровой жизни. В процессе ее производства не должно быть заложено убийство. Поэтому это только вегетарианская еда.

Основой макробиотических оздоровительных диет являются каши из злаковых

культур и растительные масла. Этот выбор не случаен, т. к. в этих продуктах сохраняется большое количество полезных веществ, они имеют длительный срок хранения без потери своих свойств и могут употребляться в пищу в любом возрасте. Для приготовления тестовых образцов для исследования была использована овсяная крупа, амарантовая и кукурузная мука.

Использование натурального сырья в производстве продуктов питания одна из актуальных проблем в современной науке. Употребление химических добавок в пищевых продуктах растет все больше и больше с каждым годом, однако спрос на природные источники важнейших химических соединений также увеличивается [1]. Современные пищевые продукты чаще всего обогащены синтетическими соединениями, которые трудно усваиваются в человеческом организме [2]. Периодическое употребление продуктов с синтетическими соединениями может вызывать негативные побочные реакции, в т. ч. и аллергию [3]. В природных аналогах эти соединения представлены в усвояемой форме и безвредны для организма. Такие соединения, как, например, антиоксиданты, содержащиеся в ягодах, необходимы для

нормальной жизнедеятельности организма [4].

Ягоды растут в определенный сезон и не хранятся долго. Возникает проблема сохранения ягод на более долгий срок с максимальным сохранением питательных веществ. Одним из таких способов является сушка при помощи инфракрасного излучения. Этот способ позволяет максимально сохранить биоактивные вещества в ягодах [5]. Рекомендуемые сроки хранения свежих ягод: 5–10 суток с даты сбора при температуре от 0 до 5 °С и относительной влажности 85–90 % [6, 7]. Сроки хранения высушенного плодово-ягодного сырья при температуре от 5 до 20 °С и относительной влажности воздуха не более 75 % достигают 12 месяцев. При таких условиях ингредиенты сохраняют свои свойства [8].

Ягоды, высушенные при помощи ИК сушки, в дальнейшем будут использованы для обогащения макробиотических каш необходимыми для нормальной жизнедеятельности человеческого организма соединениями. Данная необходимость возникла в связи с отсутствием в рецептуре макробиотических каш функциональных ингредиентов, обогащающих каши витаминами.

На протяжении десятилетий макробиотические каши доказывают свою эффективность в восстановлении здоровья у людей. Целебные свойства этих каш связывали главным образом с присутствием в их составе цельного зерна, растительных лечебных добавок с максимальным количеством биологически активных веществ. В тоже время наблюдался интересный эффект. Применение макробиотических каш было намного полезнее, чем употребление простых смешанных составов: крупы и аналогичных растительных компонентов. Дело в том, что в составе макробиотических каш присутствуют как щелочные продукты с отрицательной кислотной нагрузкой (лен и рапсодорпша, амарант, кремний, просо), так и зерновые, которые в обычном состоянии имеют кислотную нагрузку. В процессе подготовки основы макробиотических каш цельное зерно приобретает выраженные щелочные свойства.

Макробиотическую кашу не нужно варить – достаточно крупу залить теплой жидкостью: водой или молоком – вкусная и полезная каша готова.

Главный секрет макробиотических каш – все они являются продуктами с выраженными щелочными свойствами. Употребляя макробиотические каши, человек восстанавливает один из фундаментальных параметров здо-

ровья – кислотно-щелочное (энергетическое) равновесие своей внутренней среды. При достижении кислотно-щелочного баланса запускается механизм самоисцеления.

Так же макробиотические каши могут влиять на процессы старения. Макробиотические зерновые каши замедляют старение организма по трем причинам.

Во-первых, они прекращают разрушение здоровых клеток. Имея отрицательную кислотную нагрузку, они защелачивают организм. В слабощелочной среде погибают вирусы, бактерии, не образуются свободные радикалы и раковые клетки. Благодаря этому здоровые клетки живут дольше.

Во-вторых, макробиотические каши – это полноценное питание для организма. Они содержат необходимое количество аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, микроэлементов, витаминов, которые участвуют в синтезе здоровых клеток. В результате этих факторов здоровых клеток образуется больше, чем погибает больных, и старение организма замедляется.

В-третьих, все макробиотические продукты содержат в своем составе полиненасыщенные жирные кислоты группы омега-3, восстанавливают длину концевых участков хромосом – теломеры. Теломеры можно назвать счетчиками продолжительности жизни клеток. Чем длиннее теломеры, тем клетки живут дольше.

Для замедления процессов старения наиболее эффективно работает кремниевая макробиотическая каша. В ее состав входит промытое зерно ячменя (перловая крупа) и семена льна. Предусматривается вариант добавления муки из семян льна вместо семян льна. В составе каши содержится большее количество природного кремния – элемента, обеспечивающего связь мозга с клетками всего тела. Благодаря кремнию, организм работает слаженно и гармонично. С возрастом количество кремния в организме человека сокращается. Кремниевая макробиотическая каша содержит достаточное количество кремния, чтобы не только поддерживать уровень кремния на необходимом уровне, но и даже восполнить недостаток кремния в течение нескольких лет естественных потерь кремния.

Омолаживающий эффект от употребления макробиотических каш наблюдается достаточно быстро. Через неделю регулярного употребления ощущается прилив энергии, хорошего настроения, исчезает усталость, улучшаются мыслительные процессы, нормализуется пищеварение. Через 2–3 месяца

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ МАКРОБИОТИЧЕСКИХ КАШ

происходят положительные изменения в сердечно-сосудистой и опорно-двигательной системах. Восстанавливается обмен веществ. Кожа становится эластичной, начинают исчезать морщины.

Еще одной важной деталью макробиотической составляющей является баланс. Необходимо понимать важность равновесия употребляемых продуктов питания. Важно поддерживать баланс между цельным зерном, бобами, овощами, фруктами, ягодами и дополнительными продуктами. Нет необходимости достигать идеального баланса в каждом приеме пищи. Нужно сохранять баланс в общем объеме потребляемой пищи в день. Однако необходимо, чтобы в каждом приеме пищи было блюдо из цельного зерна. Также стоит соблюдать разнообразие блюд, например, использовать несколько видов зерна, разнообразные овощи, фрукты или ягоды. Не стоит забывать о регулярности питания.

Целью данного исследования является определение физико-химических показателей плодово-ягодных ингредиентов для макробиотических каш. Задачами исследования являются: проведение экспериментов, устанавливающих физико-химические показатели ягод и выжимок. Перед началом исследования были отобраны следующие ягоды: клюква, вишня, черная смородина, красная смородина, клубника, облепиха. Эксперимент проводился в несколько этапов. На первом этапе отобранные ягоды и их выжимки высушивались при помощи ИК излучения. Для получения выжимок ягод из них был отжат сок. Подготовленные образцы помещались в ИК излучатель и высушивались до постоянной массы.

На втором этапе исследований выявлялись физико-химические показатели высушенных образцов, такие как кислотность, влажность, доля сухих веществ. Кислотность ягод и выжимок определялись титрованием раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора фенолфталеина [9]. Расчет данных о кислотности производился по следующей формуле:

$$X = \frac{5,611 \times V \times K}{m},$$

где V – объем раствора гидроксида натрия концентрации $0,1$ моль/дм³, использованный на титрование, см³;

K – коэффициент пересчета $1,4$;

m – масса навески.

Ниже в таблице 1 представлены средние результаты исследований.

Таблица 1 – Результаты исследований кислотности высушенных ягод и их выжимок

Наименование	Титруемая кислотность, моль Н ⁺ / г	
	Ягоды	Выжимки
Клюква	5,3	3,25
Черная смородина	1,47	0,93
Красная смородина	3,72	4,55
Облепиха	5,35	1,04
Клубника	6,18	3,85
Вишня	2,1	6,75

Из полученных данных можно сделать вывод, что наибольшей кислотностью обладают образцы высушенной клюквы и выжимки вишни. Наименьшей кислотностью – образцы высушенной черной смородины и выжимки черной смородины.

Также для экспериментальных образцов была определена влажность и содержание сухих веществ. Сущность метода заключалась в обезвоживании навески высушенных ягод и их выжимок при фиксированных параметрах температуры и продолжительности сушки [10]. Результаты исследования влажности представлены в таблице 2. Расчеты производились по формуле:

$$X = 100 \times \frac{m_1 - m_2}{m_1},$$

где m_1 – масса навески образца до высушивания, г;

m_2 – масса навески образца после высушивания, г.

Таблица 2 – Результаты исследования влажности образцов ягод и их выжимок

Наименование	Влажность, %	
	Ягоды	Выжимки
Клюква	9,65	8
Черная смородина	26,25	7
Красная смородина	4	9,8
Облепиха	3,5	2
Клубника	32,8	10,1
Вишня	4,2	7

По полученным данным делаем вывод, что наибольшей влажностью обладают ягоды и выжимки клубники. Наименьшей влажностью обладают высушенные образцы облепихи.

На основании данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что наи-

большим количеством сухих веществ обладают высушенные образцы облепихи, а наименьшим – образцы клубники.

На основании данных, полученных во время эксперимента, сделаны следующие выводы. Для производства макробиотических каш нужны ягоды и выжимки с меньшей влажностью и наибольшей кислотностью. Наибольшей кислотностью обладают образцы ИК-высушенной клюквы и выжимки вишни. Наименьшей кислотностью обладают образцы ИК-высушенной черной смородины и выжимки черной смородины. Наибольшей влажностью обладают ягоды и выжимки клубники. Наименьшей влажностью обладают высушенные образцы облепихи. Следовательно, для производства макробиотических каш в дальнейшем необходимо рассмотреть образцы ИК-высушенных ягод клюквы и облепихи, выжимок вишни, клюквы и красной смородины. Данный выбор компонентов обуславливается тем, что перечисленные образцы отвечают требованиям по содержанию влаги и кислотности для будущего продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмакова, Н. С. Последние исследования в области безопасности синтетических красителей и тенденции развития рынка / Н. С. Колмакова // Пищевая промышленность. – 2008. – № 11.

2. Овсянников, Ю. А. Проблемы безопасности продуктов питания / Ю. А. Овсянников // АБУ. 2016. – № 7 (149).

3. Иванов, С. В. Е-добавки, их негативное влияние на организм / С. В. Иванов, В. В. Баранова // Вестник науки и образования. – 2019. – № 7–2 (61).

4. Габитова, Д. М. // Антиоксидантная защитная система организма / Д. М. Габитова // Башкирский химический журнал. – 2006. – Том 13. – № 2. – С. 94.

5. Киптелея, Л. В. // ИК сушка плодоягодного сырья / Л. В. Киптелея // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 3.

6. ГОСТ 6829-2015. Смородина черная свежая. Технические условия.

7. ГОСТ 19215-73. Клюква свежая. Требования при заготовках, поставках и реализации.

8. ГОСТ 32896-2014. Фрукты сушеные. Общие технические условия.

9. ГОСТ ISO 750-2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности.

10. ГОСТ 33977-2016. продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ.

ПруссакOVA Анастасия Тимофеевна, студент, ФГБОУ ВО СамГТУ, кафедра «Технология и организация общественного питания», anastasia.p.1399@gmail.com.

Воронина Марианна Сергеевна, к.т.н, доцент, кафедра «Технология и организация общественного питания».

ВЗАИМОСВЯЗЬ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА МАЛЬТОДЕКСТРИНА И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАТА ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОГО НАНОФИЛЬТРАЦИЕЙ

А. Л. Новокшанова, Н. О. Матвеева, А. А. Невский

Для людей, имеющих большие физические нагрузки, углеводы являются основным источником энергии. Производство отечественных продуктов питания для спортсменов, включая углеводно-белковые, в настоящее время ограничено. В ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА» на кафедре технологии молока и молочных продуктов исследуется возможность применения концентрата творожной сыворотки, полученного наночистотой, в качестве источника биологически полноценных белков и углеводов для продукта спортивного профиля. Дополнительным углеводным ингредиентом предлагается использовать мальтодекстрин отечественного производства с разной степенью гидролиза. В работе представлены результаты исследований органолептических показателей концентрата творожной сыворотки, полученного наночистотой, при внесении разных количеств мальтодекстрина двух видов. В образцы концентрата творожной сыворотки, полученного наночистотой, вносили мальтодекстрин с декстрозным эквивалентом 12 и 20 в количестве от 5 % до 15 % с шагом 5 %. Для описания органолептических показателей разработаны шкалы оценки вкуса, запаха, консистенции и цвета. В качестве контроля использовали водные растворы мальтодекстрина. Установлено, что количество и разновидность вносимого мальтодекстрина оказывают влияние на органолептические показатели концентрата творожной сыворотки. Мальтодекстрин с более высокой степенью гидролиза, вносимый в количестве от 5 % до 15 %, полностью растворялся в концентрате творожной сыворотки и не нарушал стабильность коллоидной системы. В результате рекомендовано необходимое количество мальтодекстрина для внесения в продукт.

Ключевые слова: специализированные продукты питания, спортивное питание, наночистота-концентрат, творожная сыворотка, мальтодекстрин, органолептические показатели.

В настоящее время вопросы развития физической культуры, спорта и активного образа жизни становятся перспективными направлениями социальной политики в нашей стране. В свою очередь, популяризация здорового образа жизни, здорового питания в значительной степени оказывает влияние на развитие специализированной пищевой продукции. Важнейшим условием достижения спортивного успеха и сохранения здоровья является правильное и рациональное питание, способное удовлетворить потребности человека в энергии, пластическом материале, биологически активных компонентах и вызывать у него положительные эмоции [1, 2, 3].

У людей, имеющих большие физические нагрузки, ускорен клеточный обмен и повышен расход энергии, основным источником которой служат углеводы. Поэтому при разработке пищевого рациона спортсменов и лиц, активно занимающихся спортом, углеводной составляющей продуктов придается особое значение. При этом используются как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные формы углеводов, учитывается соотно-

шение между ними и вклад в общую энергетическую ценность рациона [4]. Также относительно недавно доказано, что при интенсивной мышечной работе окисление аминокислот превышает суточные рекомендации для людей, ведущих малоподвижный образ жизни [5]. Поэтому в специализированных продуктах для спортсменов важно использовать белки повышенной биологической ценности с коэффициентом усвоения от 70 % и более.

По запросам на сайтах спортивного питания белково-углеводные и углеводно-белковые продукты являются самыми востребованными у целевой аудитории. Эти продукты актуальны для всех видов спорта, в разные периоды спортивного макроцикла и на разных этапах тренировочного процесса. Несмотря на большой перечень товаров такого рода, имеющих в продаже, многие продукты имеют недостатки ингредиентного состава, что сказывается на пищевой и энергетической ценности продукта: большинство из них является биологически активными добавками, суточное потребление которых ограничено рекомендациями ВОЗ. Кроме того, ассортимент продуктов спе-

циализированного питания для спортсменов, обогащенных белками, минеральными и низкомолекулярными соединениями, представлен в основном в сухом и таблетированном виде [6]. Следовательно, разработка готовых к употреблению специализированных продуктов спортивного питания белково-углеводной направленности и других профилей является актуальной.

В ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА» на кафедре технологии молока и молочных продуктов проводятся исследования возможности использования концентрата творожной сыворотки, полученного нанофильтрацией (НФ-концентрата), в производстве специализированных углеводно-белковых продуктов для спортивного питания.

Биологическая ценность молочной сыворотки обусловлена ее составом: содержанием сывороточных белков, лактозы, свободных аминокислот, витаминов и минеральных соединений. Сыворотка содержит большое количество водорастворимых витаминов, поэтому может защитить от скрытых форм витаминной недостаточности, что особенно актуально в периоды высоких физических и психоэмоциональных нагрузок. Все минеральные соединения, содержащиеся в сыворотке, относятся к биогенным элементам с установленным механизмом действия и рекомендуемой суточной потребностью.

Обработка творожной сыворотки нанофильтрацией позволяет концентрировать лактозу, небелковые азотистые соединения, отдельные минеральные и белковые вещества [7]. НФ-концентрат получали на пилотной установке с полимерной мембраной, позволяющей фракционировать белки до молекулярной массы 300 Да. Процесс осуществлялся с постоянной скоростью при давлении 27 бар [7].

Состав и физико-химические показатели НФ-концентрата исследовали стандартными методами. Массовую долю белка определяли инструментальным экспресс-методом с применением инфракрасного анализатора Milkoscan FT 120, массовую долю лактозы – йодометрическим методом, массовую долю сухих веществ – рефрактометрически, содержание Ca^{2+} – комплексометрическим методом. Кислотности – титруемую и активную – анализировали соответственно индикаторным и потенциометрическим методами. Органолептические показатели сырья и экспериментальных образцов оценивали группой квалифицированных экспертов.

В качестве дополнительного углеводного компонента разрабатываемого продукта рас-

смотрено применение мальтодекстрина. Как известно, количественно мальтодекстрины классифицируют по декстрозному эквиваленту (ДЭ), который связан со степенью полимеризации (СП) следующим соотношением:

$$ДЭ = 100/СП.$$

В таком расчете используются средние для совокупности молекул значения ДЭ и СП. Следовательно, ДЭ мальтодекстрина – это его редуцирующая способность, выраженная в процентах от редуцирующей способности чистой D-глюкозы (декстрозы), и таким образом ДЭ обратно пропорционален средней молекулярной массе полисахарида.

Деполимеризация крахмальных полисахаридов сопровождается изменением их физико-химических свойств. С увеличением степени гидролиза возрастает сладость, гигроскопичность, способность к ферментации мальтодекстринов и продуктов, их содержащих. Использование мальтодекстринов с меньшей степенью гидролиза усиливает вязкость пищевой системы, способность к формированию «тела» продукта, ингибирование роста кристаллов, стабилизацию пены и пр. Поэтому мальтодекстрины применяются не только как источники углеводов, но и как стабилизаторы, структурообразователи, формирующие агенты, регуляторы сладости и гигроскопичности. Благодаря своим пробиотическим, радиопротекторным, антиоксидантным свойствам мальтодекстрины используются в различных отраслях пищевой промышленности, в производстве специализированной пищевой продукции, в качестве наполнителей, инкапсулирующих веществ и носителей вкусоароматических соединений в комплексных пищевых добавках [8, 9, 10, 11].

В работе использован высокоочищенный мальтодекстрин Multydex® отечественного производства (ООО «Крахмальный завод Гулькевичский»), полученный путем управляемого ферментативного гидролиза специально подготовленного крахмала [12]. Данный ингредиент представляет собой порошок белого цвета, нейтрального вкуса, без запаха.

Исследовали две разновидности мальтодекстрина: с ДЭ 12 и 20. По своим техническим параметрам мальтодекстрин соответствовал требованиям, предъявляемым нормативной документацией [8]. Основное отличие мальтодекстринов с разным ДЭ заключается в характеристиках углеводного состава, которые представлены в таблице 1.

По данным производителя, мальтодекстрин быстро растворяется в воде, образуя прозрачный раствор.

Поскольку в основе разрабатываемого

ВЗАИМОСВЯЗЬ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА МАЛЬТОДЕКСТРИНА И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАТА ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОГО НАНОФИЛЬТРАЦИЕЙ

продукта используется НФ-концентрат, обладающий собственным набором макронутриентов различной степени дисперсности и специфическими физико-химическими характеристиками, влияние мальтодекстрина на структурные и органолептические свойства молочной основы требует дополнительного изучения.

Таблица 1 – Показатели качества мальтодекстринов

Показатель, % на сухое вещество	Мальтодекстрин	
	ДЭ 12	ДЭ 20
Глюкоза, не более	1,0	2,0
Мальтоза	1,0–3,0	5,0–10,0
Высшие углеводы, не менее	80,0	70,0
Массовая доля редуцирующих веществ в пересчете на сухое вещество, % (ДЭ)	10,0–12,0	18,0–20,0

В используемом НФ-концентрате, массовая доля сухих веществ составила 18 %. По сравнению с исходной сывороткой массовая доля лактозы увеличилась с 4,1 до 14 %. Массовая доля белка концентрировалась с 0,46 % в исходной сыворотке до 2,0 % в концентрате. Выявлено повышение титруемой кислотности концентрата до 2,5 раз по сравнению с исходной сывороткой, при этом pH изменялся на 0,25 единицы без влияния на органолептические показатели. Содержание Ca^{2+} повышалось до $(227,81 \pm 2,00)$ мг/100 г по сравнению с исходной сывороткой $(53,94 \pm 2,00)$ мг/100 г [7].

Углеводно-минеральная составляющая НФ-концентрата полностью гидратирована до состояния истинного раствора. Сывороточные белки НФ-концентрата также находятся в растворимой форме, но, благодаря своим размерам, проявляют свойства коллоидов. В результате плотность и вязкость концентрата возрастает до $1090,00 \pm 1,00$ кг/м³ и $(2,22 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ Па·с по сравнению с исходной сывороткой $1023,70 \pm 1,00$ кг/м³ и $(1,55 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ Па·с соответственно [7].

С целью определения приемлемой концентрации мальтодекстрина в рецептуре проведена серия опытов с различным количеством данного ингредиента. Интервал варьирования добавки мальтодекстрина составил от 5 до 15 %. Мальтодекстрин растворяли в НФ-концентрате при комнатной температуре и непрерывном перемешивании, пастеризовали при температуре (90 ± 2) °С в течение 5 минут.

Определяющим фактором в выборе оптимального количества данного ингредиента служила оценка органолептических показателей по основным потребительским характеристикам: вкус и запах, внешний вид и цвет, консистенция. Образцы оценивали по органолептическим показателям с использованием специально разработанной условной балльной шкалы.

Контролем служили образцы мальтодекстрина с ДЭ 12 и ДЭ 20, растворенные в воде. Водные растворы обоих видов мальтодекстрина, и с ДЭ 12, и с ДЭ 20, обладали схожими органолептическими показателями. Мальтодекстрины полностью растворялись в воде, а их растворы характеризовались как бесцветные, прозрачные жидкости, не имеющие запаха.

В опытных образцах установлено, влияние исследуемых мальтодекстринов на важнейшие потребительские показатели НФ-концентрата: вкус, запах, цвет, внешний вид и консистенцию (таблицы 2, 3). Максимальную оценку получали опытные образцы с чистым свойственным сыворотке вкусом и ароматом, сладковатым привкусом, не имеющие осадка.

Таблица 2 – Характеристика органолептических показателей опытных образцов с мальтодекстрином ДЭ 12

Показатели	Массовая доля мальтодекстрина (ДЭ 12), %		
	5	10	15
Вкус и запах	Кисловатый, характерный творожной сыворотке		
Внешний вид и цвет	От светло-желтого до бледно-зеленого, не интенсивно мутный		
Консистенция	Однородная	Неоднородная со значительным отделением осадка	Неоднородная и слабовязкая со значительным отделением осадка

Таблица 3 – Характеристика органолептических показателей опытных образцов с мальтодекстрином ДЭ 20

Показатели	Массовая доля мальтодекстрина (ДЭ 20), %		
	5	10	15
Вкус и запах	Кисловатый, характерный творожной сыворотке	Сывороточный с приятным сладковатым привкусом	
Внешний вид и цвет	От светло-желтого до бледно-зеленого, прозрачный		
Консистенция	Однородная	Однородная, слабовязкая	

Образцы с использованием мальтодекстрина ДЭ 12 не изменяли характерный вкус НФ-концентрата, однако при увеличении доли вносимого мальтодекстрина до 10 % и выше наблюдалось появление мутности смеси. Также система расслаивалась с отделением осадка. В пробах объемом 100 см³ толщина слоя осадка достигала 0,5 и 1,0 см в образцах, содержащих соответственно 10 и 15 % мальтодекстрина ДЭ 12.

Появление мутности говорит о дестабилизации коллоидной фазы. По-видимому, для объяснения можно сделать несколько предположений.

Более крупные молекулы мальтодекстрина с ДЭ 12 гидратировались не только за счет свободной влаги, но и адсорбировали ее частично с поверхности сывороточных белков, в результате чего в системе наблюдалось разделение фаз. Возможно, здесь также проявился эффект комплексообразования гидроколлоидов, благодаря которому произошло перераспределение ионов в поверхностном слое белков. Следствием этого и стало расслоение системы, либо проявился эффект подобный ретроградации амилозных цепей.

Оба фактора – и появление мутности, и образование осадка – не являются критичными для многих пищевых систем, но в данном исследовании из-за наблюдаемой мутности и появления осадка, образцы с массовой долей 10 и 15 % мальтодекстрина ДЭ 12 были оценены ниже, чем образцы с массовой долей 5 % мальтодекстрина ДЭ 12 (рисунок 1).

Также выявлено отличие вкусовых ощущений опытных образцов. В образцах, содержащих 15 % мальтодекстрина ДЭ 20, заметно уменьшение выраженности вкуса НФ-концентрата при закономерном усилении сладости. Снижение выраженности вкуса часто наблюдается в продуктах, после внесения в них многих гидроколлоидов. Это объясняется способностью биополимеров связывать вкусовые молекулы и делать их менее доступными для рецепторов в ротовой полости.

Все опытные образцы с данной разновидностью мальтодекстрина были одинаково прозрачными, не расслаивались и имели светло-желтый цвет. К тому же в образцах с массовой долей 10 и 15 % мальтодекстрина ДЭ 20 наблюдалось повышение вязкости. Эта особенность повлияла на решение в дальнейшем использовать именно мальтодекстрин ДЭ 20 в создании продукта с гелевой структурой.

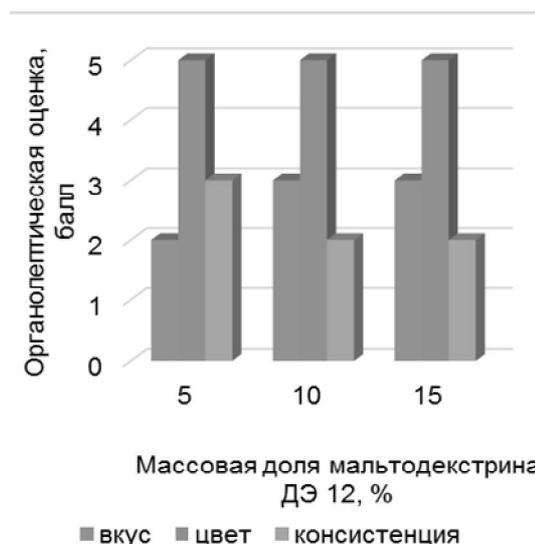


Рисунок 1 – Органолептические показатели НФ-концентрата и мальтодекстрина с ДЭ 12

По совокупности органолептических показателей наибольшую оценку имели образцы с массовой долей 10 % мальтодекстрина ДЭ 20 (рисунок 2).

Таким образом, установлено, что количество и разновидность вносимого мальтодекстрина оказывают влияние на органолептические показатели НФ-концентрата. Можно утверждать, что мальтодекстрин с более высокой степенью гидролиза, вносимый в количестве от 5 до 15 %, полностью растворялся в НФ-концентрате и не влиял на стабильность коллоидной системы.

По результатам исследования выявлено, что лучшими органолептическими показателями обладали образцы с добавкой мальтодекстрина ДЭ 20 в количестве 10 %.

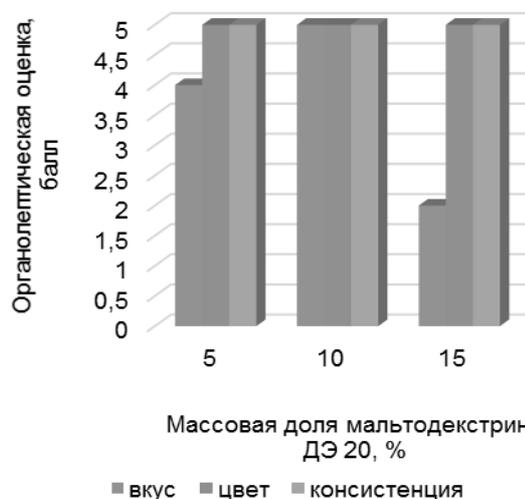


Рисунок 2 – Органолептические показатели НФ-концентрата и мальтодекстрина с ДЭ 20

ВЗАИМОСВЯЗЬ УГЛЕВОДНОГО СОСТАВА МАЛЬТОДЕКСТРИНА И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАТА ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОГО НАНОФИЛЬТРАЦИЕЙ

Работы, направленные на выявление взаимосвязей НФ-концентрата и мальтодекстрина с другими ингредиентами рецептуры продукта, планируется продолжать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Умурзаков, У. К. Пропаганда физической культуры, спорта и здорового образа жизни / У. К. Умурзаков // Педагогика сегодня: проблемы и решения: материалы III Междунар. науч. конф. (Казань, март, 2018 г.). – Казань : Молодой ученый. – 2018. – С. 91–94.

2. Назарова, М. В. Питание спортсменов / М. В. Назарова, Л. В. Бабенко // РК Вестник КазНМУ. – Алматы. – 2012. – № 2. – С. 366–368.

3. Горянина, К. Д. Активная спортивная деятельность как платформа для формирования здорового образа жизни студенческой молодежи / К. Д. Горянина // Молодой ученый. – 2017. – № 23 (157). – С. 338–340. – URL: <https://moluch.ru/archive/157/44511/> (дата обращения: 23.07.2020).

4. Бурляева, Е. А. Питание спортсменов сложнокоординационных видов спорта / Е. А. Бурляева, Б. Н. Никитюк // Спортивная медицина : наука и практика. – 2017. – Т. 7. – № 3. – С. 46–50.

5. Vandegan, Arash, «Indicator Amino Acid Derived Estimates of Dietary Protein Requirement in Exercise-Trained Individuals» (2016). Electronic Thesis and Dissertation Repository. 4055.

6. Новокшанова, А. Л. Разработка научных принципов создания продуктов спортивного питания на основе молочного сырья : дисс. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 / Новокшанова Алла Львовна. – Москва, 2019. – 487 с.

7. Матвеева, Н. О. Исследование состава и физико-химических свойств концентрата творожной сыворотки, полученного наночистотой / Н. О. Матвеева, А. Л. Новокшанова, В. А. Шохалов // Молочнохозяйственный вестник. – 2020. – № 3 (39). – С. 51–57.

8. ГОСТ 34274-2017 Мальтодекстрины. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 16 с.

9. Голубева, Л. В. Мальтодекстрины в технологии производства концентрированного молоко-содержащего продукта / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Г. М. Смольский, А. А. Губанова, А. О. Дарьин // Пищевая промышленность. – 2015. – № 3. – С. 14–16.

10. Ананских, В. В. О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки / В. В. Ананских, Л. Д. Шлеина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 11. – С. 9–13.

11. Мальтодекстрин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ingredienty-razvitie.ru/> свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 10.07.2020).

12. Крахмальный завод Гулькевичский [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://multydex.ru/>.

Новокшанова Алла Львовна, к.т.н., доцент кафедры технологии молока и молочных продуктов, ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА», г. Вологда, тел. 8-951-731-81-44, e-mail: alnovokshanova@gmail.com.

Матвеева Наталия Олеговна, аспирант кафедры технологии молока и молочных продуктов, ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, Вологда, тел. 8-900-503-22-15, e-mail: natalia.natashonok@yandex.ru.

Невский Андрей Александрович, к.т.н., менеджер по технологическому сопровождению, Представительство «Инновационный центр «Сколково» Общества с ограниченной ответственностью «Крахмальный завод Гулькевичский», г. Москва, тел. 8-985-290-03-00, e-mail: naa@multydex.ru.

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

В. В. Тригуб, М. В. Николенко

Молочная продукция является уникальным и ценным продуктом, предназначенным для удовлетворения физиологических потребностей человека. Для предотвращения скисания и увеличения срока годности продукция пастеризуется, стерилизуется, консервируется с добавлением химических ингибиторов. Особенно часто фальсификация связана с заменой молочного жира растительными маслами, жирами и спредами. В работе представлена оценка качества молока и молочных изделий, реализуемых на рынке г. Тюмени, по физико-химическим и микробиологическим показателям. Определение сухих веществ осуществляли термогравиметрическим методом. Титруемую кислотность, содержание кальция и аскорбиновой кислоты в молочных продуктах проверяли титриметрическими методами. Для ускоренного санитарно-бактериологического исследования отобранных проб применяли экспресс-метод микробиологического анализа, обеспечивающий значительную экономию труда и времени при проведении мониторинга. Данный метод основывается на регистрации изменения электрического импеданса питательной среды, происходящего под влиянием процессов роста и жизнедеятельности микроорганизмов в исследуемой пробе. Экспериментально установлено в ходе химического анализа, что отобранные образцы соответствовали заявленным показателям качества. Микробиологические методы исследования выявили ненадлежащее санитарно-гигиеническое состояние объектов, степень их обсемененности бактериально-грибковой микробиотой, наличие возбудителей кишечных инфекций.

Ключевые слова: безопасность молочных продуктов, физико-химические, микробиологические показатели.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Молочная продукция в России всегда пользуется большим потребительским спросом. Последовательная интенсификация производства данных продуктов в один ряд ставит проблему повышения их потребительских свойств за счёт качественного производства, как самого молока-сырья, так и продуктов его переработки [1]. За последние годы ассортимент молочной продукции значительно расширился, но качество стандартных молочных товаров, к сожалению, осталось на прежнем уровне, а по ряду показателей безопасности еще и ухудшилось. Современное состояние отечественной молочной промышленности не способно конкурировать с импортной продукцией и оценивается как неудовлетворительное, а часть рынка считается фальсифицированной [2].

Молочная продукция – уникальный и ценный продукт, предназначенный для удовлетворения физиологических потребностей человека, в частности, для вскармливания новорожденных и детей. В состав молока входят альбумины, казеины, глобулины, незаменимые аминокислоты, более 40 жирных кислот, витамины, молочные сахара, в основном лактоза, минеральные вещества. Ферменты, входящие в состав молочных продуктов, участвуют в пластическом и энергетическом об-

мене организма. Глобулины обладают природными бактерицидными свойствами [3].

Поэтому обеспечение безопасности пищевых продуктов – одно из важнейших направлений, определяющих здоровье нации и сохранении генофонда. Результаты исследований молочной продукции свидетельствуют о высоком уровне ее загрязнения химическими веществами (нитратами, нитритами, нитрозаминами, пестицидами, энтеротоксинами, афлатоксинами, антибиотиками, токсичными элементами, радионуклидами), биологическими агентами, микроорганизмами, что связано с низкой агротехнической культурой, нарушением агрохимических технологий и загрязнением окружающей среды [4, 5]. На первоначальных этапах порчи органолептические свойства продукта не изменяются. Оценка качества и безопасности молочных товаров в бактериологических лабораториях осуществляется по стандартной методике, когда за норму принимается отсутствие санитарно-показательных, условно-патогенных и патогенных микроорганизмов в определенной пробе (СанПиН 2.3.2.1078-01) [6].

Со временем хранения повышается кислотность молока с 19 °Т до 25 °Т. Для предотвращения скисания и увеличения срока годности продукция пастеризуется, стерилизуется, консервируется с добавлением химиче-

ских ингибиторов. Особенно часто фальсификация связана с заменой молочного жира растительными маслами, спредами и т. д. [7]. Очень часто недобросовестные производители добавляют сухое молоко для увеличения доли белка [8, 9].

Учитывая, что в настоящее время отсутствуют условия для тотального контроля качества и безопасности молочных продуктов, авторами предложено данное исследование.

Целью исследования является оценка качества молока и молочных изделий по физико-химическим и микробиологическим показателям, реализуемых на рынке г. Тюмени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в течение года. Для анализа качества молочной продукции (молока, простокваши, кефира, йогурта, ацидофилака) отобрали 64 образца из торговой сети г. Тюмени. В данной работе предложен анализ проб, отражающий общую тенденцию качества продуктов на рынке города:

1. Молоко пастеризованное марки «Першинское», производитель ООО «Тюменьмолоко».
2. Молоко пастеризованное марки «Нижняя Тавда», производитель молокозавод с. Нижняя Тавда.
3. Кефир ОАО «Золотые луга».

Данная продукция составляет 70 % от реализуемой в г. Тюмени.

Определение сухих веществ осуществляли термогравиметрическим методом путем высушивания навески в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 102 ± 2 °C [10]. Титруемую кислотность (общую), содержание кальция в молочных продуктах проверяли титриметрическими методами [11, 12]. Количественное содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) определяли титриметрическим методом с 2,6-дихлорфенолиндифенолятом натрия [13].

Для ускоренного санитарно-бактериологического исследования отобранных проб применяли экспресс-метод микробиологического анализа, обеспечивающий значительную экономию труда и времени при проведении мониторинга. Данный метод основывается на регистрации изменения электрического импеданса питательной среды, происходящего под влиянием процессов роста и жизнедеятельности микроорганизмов в исследуемой пробе. Основным преимуществом данного метода является автоматическая регистрация и обработка данных, что позволяет получать объективные результаты, сократить время исследования, уменьшить трудозатраты и значительно снизить себестоимость анализа.

Санитарное состояние образцов молочных продуктов оценивали согласно ГОСТа 32801-2014 [14] по общему количеству мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в 1 см^3 (мл) и бактерий шруппы кишечной палочки. Общее количество микроорганизмов определяли на питательной среде BiMedia 001B (производитель фирма HiMedia) при температуре 30 °C.

Санитарно-показательные бактерии группы кишечной палочки (*Escherichia sp.*, *Shigella sp.*, *Salmonella sp.*, *Citrobacter sp.*, *Yersinia sp.*) культивировали на среде обогащения – забуференная пептонная вода – определяли показатели загрязнения, затем пересеивали на питательные среды BiMedia 205A, 401A, XLD (Xylose-Lysine-Desoxycholate Agar), Плоскирева, Клиггера, Симмонса и Кристенсена для идентификации родовой и видовой принадлежности. Все посевы культивировали при температуре 37.0. Для культивирования плесневых и дрожжевых грибов использовали среду BiMedia 501B, pH: $7 \pm 0,2$.

Видовую идентификацию грибов проводили по комплексу признаков: внешнему виду колоний, хламидоспорообразованию, тесту на образование ростовых трубок, ассимиляционной способности штаммов [15]. Для контроля использовали питательную среду (без инокулята).

Результаты статистически обработаны. Программное обеспечение на микробиологическом анализаторе «Био Трак 4250» представлено: «Микро Трак» – программой, осуществляющей управление данными, контроль за ходом измерения и получением результатов анализа и «Микро Ассист» – программой для дальнейшей работы с результатами измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе химического анализа было выявлено, что отобранные образцы соответствовали заявленным показателям качества.

Таблица 1 – Физико-химические показатели образцов молочных продуктов

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Сухое вещество, %	$12,3 \pm 2,5$	$11,6 \pm 2,3$	$11,7 \pm 3,5$
Кислотность, °Т	$16 \pm 0,4$	$17 \pm 0,3$	$101 \pm 1,9^*$
Кальций, мг/100 г	$110 \pm 5,5$	$112 \pm 5,6$	120 ± 6
Витамин С, мг/100г	$1,4 \pm 0,21$	$1,5 \pm 0,22$	$1,0 \pm 0,15^*$

Примечание: * – $p \leq 0,05$.

В рассмотренных образцах молока активная кислотность является очень важным показателем качества, но большее значение имеет титруемая кислотность. В рассмотрен-

ных образцах молока она составляет 16-17 °Т при норме не более 21 °Т [16]. Можно сделать вывод, что молоко свежее. Для анализируемого образца кефира кислотность равна 101 °Т при нормативе до 130 °Т согласно нормативным показателям [17], что тоже соответствует (таблица 1).

При повышении титруемой кислотности в результате образования кислоты, выделяемая микроорганизмами, показатель рН может некоторое время не меняться из-за буферных свойств молока.

Содержание кальция в образцах молока и кефира с одинаковой жирностью 3,2 % составило 110–120 мг/100г. Данный факт говорит о том, что в молочных продуктах содержится значительное количество этого макроэлемента, т. к. установленный уровень потребности в нем составляет 400–1200 мг/сут. согласно нормам физиологической потребности для различных групп населения РФ [18]. Кальций в молочных продуктах находится в легкоусвояемой форме благодаря лактозе и необходим для формирования костно-мышечного скелета и для обеспечения обмена веществ.

Содержание витамина С в молочных продуктах небольшое, но следует учитывать, что при хранении молока в прозрачных бутылках содержание витамина С может уменьшиться наполовину, при нагревании (пастеризации) также нативная форма белков молока переходит в денатурированную.

Таким образом, по рассмотренным физико-химическим показателям изучаемые продукты соответствовали требованиям нормативно-технической документации.

Благодаря методу измерения электрического импеденса питательной среды, были получены данные по определению микроорганизмов в исследуемых образцах. Индекс КМАФАнМ – интегрированный показатель, представленный различными таксономическими группами микроорганизмов. Их общая численность может свидетельствовать о санитарно-гигиеническом состоянии объекта, степени его обсемененности микробиотой. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Общее микробное число микроорганизмов

№ образца	Показатели прибора, Е	КОЕ/мл (КМАФАнМ в 1 мл объекта)
1	3,3Е+3 КОЕ*	$3,3 \times 10^3 \times 10 = 3,3 \times 10^4$ *
2	6,0+3 КОЕ*	$6,0 \times 10^3 \times 10 = 6,0 \times 10^4$ *
3	4,0Е+3 КОЕ*	$4,0 \times 10^3 \times 10 = 4,0 \times 10^4$ *

Примечание: * – $p \leq 0,05$.

Е – величина – импеданс электрода.

КОЕ – количество колониеобразующих единиц.

Сравнивая полученные результаты с нормативными параметрами качества продукции, прописанными в ГОСТ ISO 7218-2011 [19], выявили достоверно высокие показатели КМАФАнМ в образце № 2, что свидетельствует о подозрительном качестве товара, порог М составил 5 % ($p < 0,05$).

Молочные продукты могут быть фактором передачи кишечных инфекций, однако прямое обнаружение патогенных микробов в биотопе проводится только при расследовании вспышек инфекционных заболеваний. Обсеменение бактериями и грибами молочной продукции происходит при доении с рук доярок, вымени и шерсти животных, инвентаря, подстилки скотного двора, путем непосредственного проникновения из окружающей среды. В образце молока «Першинское» выявлены бактерии *Yersinia enterocolitica* (*Y. enterocolitica*), что указывает на максимальную степень эпидемиологической опасности [19]. *Y. enterocolitica* – неприхотливый микроорганизм, обладающий широким диапазоном адаптационных возможностей, способный длительно существовать на различных объектах. В молоке эти бактерии размножаются и выделяют продукты метаболизма, в т. ч. и токсические.

Большую роль в профилактике распространения *Y. enterocolitica* играет соблюдение правил общей санитарии и гигиены. Действенной профилактикой против иерсиниоза может стать пропаганда знаний о возможной микробной опасности внешне доброкачественных продуктов.

Во всех образцах выявлены дрожжевые грибы рода *Candida* в 10^4 – 10^6 КОЕ/мл. Они не расщепляли лактозу, но ферментировали моносахара, размножались в молоке и кефире и совместно с молочнокислыми бактериями участвовали в процессах брожения. Потребление в пищу молока и молочных продуктов, загрязненных *Candida sp.*, может стать причиной тяжелого заболевания людей с пониженной резистентностью, пожилых граждан, беременных женщин и новорожденных.

Таким образом, понимая важность вопроса, с 1 мая 2014 г. вступил в силу Технический Регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» ТР ТС 033/2013 от 09.10.2013, который разработан в целях защиты жизни и здоровья человека, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей молока и молочной продукции относительно их назначения и безопасности [17]. Согласно требованиям технических регламентов Таможенно-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2020

го союза, молочные продукты, молоко, сливки, молоко-содержащие продукты, кисломолочные продукты, реализуемые на территории Таможенного союза, подлежат обязательной сертификации. Кроме того необходимо проведение масштабных научных исследований по одной общей программе, охватывающей экологию продуктов питания, сельского хозяйства и здоровья человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований установлено, что отобранные образцы молочной продукции соответствовали по физико-химическим показателям качества согласно ГОСТ 31450-2013, ГОСТ 31454-2012. Было обнаружено, что образцы молока не соответствовали по отдельным нормативам микробиологической безопасности продукта. Для обеспечения качества молочных продуктов необходимо соблюдение всех показателей, как гарантии удовлетворения безопасности потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов, О. А. Исследование качества молочного сырья и товароведная оценка молочных продуктов, полученных на его основе : автореф... канд. техн. наук. – Орел, 2012. – 22 с.
2. Завьялова, А. С. Продовольственная безопасность на рынке молочной продукции России / А. С. Завьялова // Экономика нового мира. – 2017, – № 2 (Вып.6). – С. 26–39.
3. Курбанова, М. Г. Анализ состава и свойств белков молока с целью использования в различных отраслях пищевой промышленности / А. Ю. Просеков, М. Г. Курбанова // Техника и технология пищевых производств: сб. науч. тр. / КемТИПП. – Кемерово, 2009. – Вып. 3. – С. 83–87.
4. Павлова, Ж. П. Молочные продукты в профилактике здоровья / Ж. П. Павлова. – Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2008. – 100 с.
5. Исабаев, А. Ж., Алиева, Г. К. Показатели, определяющие и безопасность молока и молочных продуктов // Мир инноваций. – 2017. – № 1. – С. 4–8.
6. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2001 г. – № 36).
7. Серажудинова, Л. Д. Идентификация молочной продукции / Л. Д. Серажудинова, М. А. Малых, Е. Л. Поликтова // Методы оценки соответствия. – М. – 2013. – № 1. – С. 22–25.
8. Rehman, Z. U., Saeed, A., Zafar, S. I. Hydroxymethylfurfural as an indicator for the detection of dried powder in liquid milk // *Milchwissenschaft*. – 2000. – № 5 (55). – P. 256–257.
9. Дегтерев, Г. П., Остроухов, А. И. Производство качественного и безопасного молока сырья [Электронный ресурс] // Переработка молока. – URL : <http://www.milkbranch.ru/publ/view/539.html> (дата обращения 30.03.2019).
10. ГОСТ Р 54668-2011. Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 11 с.
11. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности [Текст]. – Введ. 1994-01-01. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
12. ГОСТ Р 55331-2012. Молоко и продукты переработки молока. Титриметрический метод определения содержания кальция [Текст]. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 10 с.
13. ГОСТ 30627.2-98. Продукты молочные для детского питания. Методы измерений массовой доли витамина С (аскорбиновой кислоты) [Текст]. – Введ. 2000-05-01. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
14. ГОСТ 32901-2014. Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа [Текст]. – Введ. 2016-01-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 25 с.
15. Candida. Кандидозы. Лабораторная диагностика / Н. П. Елинов, Н. В. Васильева, А. А. Степанова, Г. А. Чилина ; под редакцией проф. Н. П. Елинова. – СПб. : Коста, 2010. – 224 с.
16. ГОСТ 31450-2013. Молоко питьевое. Технические условия [Текст]. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 8 с.
17. ГОСТ 31454-2012. Кефир. Технические условия [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 8 с.
18. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Текст]. – Введ. 2008-12-18. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 36 с.
19. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям [Текст]. – Введ. 2016-01-01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 66 с.
20. ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (с изменениями на 19 декабря 2019 г.).

Тригуб Вера Викторовна, к.б.н., доцент кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания», Тюменский индустриальный университет, e-mail: trigubvv@tyuiu.ru.

Николенко Марина Викторовна, д.б.н., доцент, профессор кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания» Тюменский индустриальный университет, e-mail: novopaschinamv@mail.ru.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ БРОЖЕНИЯ ПИВНОГО СУСЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТЛОГО ПИВА

Е. П. Каменская, А. А. Чанчикова

*Статья посвящена изучению влияния различных способов брожения на видимую степень сбраживания пивного сусла, интенсификацию процесса главного брожения и качественные показатели светлого пива сорта «Немецкое». В качестве различных способов брожения сусла рассматривали: брожение в бродильных чанах и цилиндрикоконических танках при следующих режимах: классическим способом; при холодном брожении и при теплом режиме брожения. Для производства образцов пива светлого с экстрактивностью начального сусла 11 % использовали пивные дрожжи низового брожения *Saccharomyces cerevisiae* штамма W 95, с начальной концентрацией клеток в сусле 10–12 млн кл/см³. В процессе главного брожения в сусле контролировали изменения видимого экстракта, кислотности, видимой степени сбраживания, а в готовом пиве – качественные показатели традиционными методами, используемыми в пивоваренной промышленности. Анализ результатов исследования показал, что процесс сбраживания экстрактивных веществ сусла в ЦКТ при холодном и теплом режимах брожения завершается уже на четвертые сутки при видимой степени сбраживания 68,2 % и 67,3 % соответственно. Процесс брожения в ЦКТ классическим способом заканчивается на пятые, а в бродильном чане – на седьмые сутки при одинаковом показателе видимой степени сбраживания – 66,4 %. Установлено, что в технологии производства светлого пива «Немецкое» с использованием пивных дрожжей *S. cerevisiae* штамма W 95 наиболее эффективным является ведение процесса брожения в ЦКТ при холодном режиме с максимальной температурой 11 °С. Данный способ позволяет сократить длительность главного брожения до 4 суток при сохранении качества готового пива, а также увеличить видимую степень сбраживания сусла до 68,8 % и улучшить показатели пенообразования: высоту пены на 14 % и пеностойкость на 25 % по сравнению с контрольным образцом.*

Ключевые слова: брожение, пиво, пивное сусло, бродильные чаны, цилиндрикоконические танки, дрожжи, дображивание, видимый экстракт, видимая степень сбраживания.

ВВЕДЕНИЕ

Пивоваренная промышленность России – одна из наиболее стабильно развивающихся отраслей народного хозяйства. В настоящее время происходит активное перевооружение отечественных пивзаводов за счет использования нового оборудования, направленного на сокращение длительности технологических операций при условии сохранения или улучшения качества сусла и готового продукта [1].

Сбраживание пивного сусла и созревание пива являются самыми длительными производственными стадиями в пивоваренном технологическом процессе. Поэтому технологи и ученые многих стран стремятся сократить длительность приготовления пива за счет сокращения продолжительности стадий главного брожения и дображивания пива [2].

В практике пивоварения существует много способов ускорения процесса сбраживания пивного сусла, каждый из которых имеет как положительные, так и отрицательные стороны [3–6].

Так, в последние годы на пивоваренных предприятиях все чаще применяют специальные аппараты периодического принципа дей-

ствия: цилиндрикоконические танки (ЦКТ), которые получили широкое распространение благодаря многочисленным преимуществам, способствующим интенсификации процесса брожения. ЦКТ имеют ряд особенностей по сравнению с обычными бродильными аппаратами: они занимают относительно мало места, их легче компоновать в «батарею», которая обслуживается общей системой трубопроводов; благодаря конической части аппарата удаление дрожжей можно осуществлять в любой момент времени без нарушения технологического процесса; улучшается вкус и повышается стойкость пива благодаря более высокой степени сбраживания и др. Использование ЦКТ также позволяет ускорить процесс за счет совмещения технологических операций брожения и дображивания, что исключает перекачку молодого пива и связанные с этим потери времени, энергии и моющих средств [7–9].

Целью работы являлось изучение влияния различных способов брожения пивного сусла на интенсификацию процесса главного брожения и качественные показатели светлого пива.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ БРОЖЕНИЯ ПИВНОГО СУСЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТЛОГО ПИВА

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в производственных условиях на базе ОАО «Барнаульский пивоваренный завод».

Для производства образцов пива светлого сорта «Немецкое» с экстрактивностью начального сусла 11 % использовалось следующее сырье: вода (по СанПиН 2.1.4.1074-01); солод пивоваренный ячменный светлый (по ГОСТ 29294-2014); хмелепродукты (по ГОСТ 32912-2014); пивные дрожжи низового брожения *Saccharomyces cerevisiae* штамма W95.

В работе применялись стандартные органолептические и физико-химические методы анализа, принятые в пивоваренной промышленности. Содержание сухих веществ в сбраживаемом сусле определяли ареометрами-сахаромерами типа АС-3 и АСТ-2 (ГОСТ 18481-81), с погрешностью измерения $\pm 0,2$ %. Определение содержания спирта и действительного экстракта проводили дистилляционным методом по ГОСТ 12787-81. Видимую степень сбраживания сусла определяли расчетным методом [10]. Кислотность пива оценивали прямым титрованием пробы с фенолфталеином – по ГОСТ 12788-87. Определение pH – по ГОСТ 31764-2012 при помощи автоматического анализатора ST2100-F. Определение цвета – методом визуального сравнения с цветом растворов йода различной концентрации – по ГОСТ 12789-87. Массовую долю двуокиси углерода в пиве определяли с помощью афрометра – по ГОСТ 32038-2012. Органолептические показатели, высоту пены и пеностойкость – по ГОСТ 30060-93.

Перед затиранием очищенный солод измельчали на дробилке «Миллстар» с мягким кондиционированием. Дробленый солод смешивали с водой при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Объем воды, используемый для затирания, определяли исходя из соотношения с дроблеными зернопродуктами как 1:2,5–4,0. Приготовление основного затора осуществляли в заторном чане-котле, который предназначен для смешивания дробленых зернопродуктов с водой, с последующим нагреванием заторной массы до определенной температуры и выдерживанием температурных пауз. При получении сусла использовали настойный режим затирания согласно технологическому режиму, представленному в таблице 1.

Процесс фильтрации сусла на фильтрационных чанах осуществляли в автоматическом режиме, заложенном в программе.

Последовательность операций при

фильтрации сусла была следующая:

- 1) вытеснение воздуха (набор воды под сита);
- 2) перекачка затора и циркуляция мутного сусла;
- 3) сбор первого сусла;
- 4) подача промывных вод;
- 5) осушение дробины и сбор промывных вод;
- 6) выброс дробины;
- 7) закрытие и промывка клапанов дробины;
- 8) промывка под ситами;
- 9) ополаскивание и опорожнение фильтро-чана.

Таблица 1 – Настойный режим затирания

Операции	Температура, ± 1 $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность, мин
Выдержка	при 45	10
Подогрев	до 52	7
Выдержка	при 52	15–20
Подогрев	до 63	11
Выдержка	при 63	45–60
Подогрев	до 72	10
Выдержка	при 72	20–30

Отфильтрованное сусло, собранное в танке-сборнике сусла с температурой $76\text{ }^{\circ}\text{C}$, подогревали до температуры $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ и направляли в суловарочный котел. Затем собранное в суловарочном котле пивное сусло подвергали в течение часа кипячению с системой «Джетстар» с внутренним кипятильником и добавлением хмеля. При этом температура сусла повышалась от 100 до $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ при кипячении с низким избыточным давлением.

Горячее охмеленное сусло из суловарочного котла насосом перекачивали в вихревой аппарат, где происходило осветление сусла в результате осаждения частиц коагулировавшего белка и хмеля. Далее сусло в вихревой аппарате оставляли в покое на 25 минут, а затем охлаждали в пластинчатом теплообменнике, откачивая его сначала через патрубок верхнего уровня, а затем, по мере освобождения вихревой аппаратуры, через нижний патрубок.

Процесс брожения пивного сусла проводили в бродильных чанах рабочей вместимостью 2500 дал (контроль) и трех цилиндрических танках при различных режимах: классическим способом, при холодном брожении и при теплом режиме брожения.

УСЛОВИЯ БРОЖЕНИЯ В БРОДИЛЬНЫХ ЧАНАХ

Сусло, охлажденное до температуры $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, закачивали в бродильные чаны с одно-временной задачей дрожжей в количестве

10–12 млн кл/см³ и аэрацией стерильным воздухом до содержания кислорода 10 мг/л [11]. Брожение велось холодным способом, при этом начальная температура сусла составляла 8 °С, а максимальная температура брожения не превышала 10 °С. Главное брожение проводили до содержания видимого экстракта в сбраживаемой среде 3,3–3,7%.

Первые сутки брожения газовую смесь воздуха и углекислоты вытесняли в атмосферу. По достижении видимого экстракта 5,0 % газовую линию переводили в режим накопления углекислого газа. Брожение протекало под избыточным давлением от 0,1 до 0,3 бар.

Полученное молодое пиво с температурой 4±1 °С направляли в танки дображивания с рабочей вместимостью 5000 дал и предварительно охлаждали через пластинчатый теплообменник до температуры 1 °С. Шпунтование проводили после заполнения и полного вытеснения воздуха из горизонтального танка через 24 часа, когда давление в танке соответствовало 0,6 бар. Продолжительность дображивания составляло 21 сутки.

Давление в горизонтальном танке измеряли с помощью манометра избыточного давления, класс точности 2,5 по ГОСТ 2405-88.

УСЛОВИЯ БРОЖЕНИЯ В ЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКИХ ТАНКАХ

Геометрическая вместимость каждого ЦКТ составляла 20000 дал, а рабочая – 15000 дал, имеющие автоматическую регулировку температуры. Перед подачей сусла в цилиндрикоконическом танке углекислотой создавалось противодавление 0,35 бар. Начальная концентрация дрожжевых клеток составляла от 10 до 12 млн кл/см³. Продолжительность заполнения ЦКТ – в пределах 24 часов с аэрацией стерильным воздухом. Воздух на аэрацию подавался из расчета 0,8 м³ на 1 м³ сусла в час, что обеспечивало содержание 7 мг/мл растворенного кислорода. Отсчет продолжительности процесса брожения и дображивания начинали с момента поступления всего объема сусла в ЦКТ. Брожение в ЦКТ проводили тремя различными способами:

1) классический способ. Охлажденное сусло до температуры 9 °С подается в коническую часть ЦКТ, где за первые двое суток температура бродящего сусла самопроизвольно поднимается с 9 °С до 12 °С. При достижении в пиве видимого экстракта от 4,5 % до 4,0 % ЦКТ переводят в режим накопления СО₂ и плавно охлаждают до 1 °С;

2) холодный режим брожения. Максимальная температура при данном способе

составляет 11 °С. При достижении в пиве видимого экстракта от 4,5 % до 4,0 %, ЦКТ переводят в режим накопления СО₂ и резко охлаждают до минус 1 °С;

3) теплый режим брожения ведут при максимальной температуре 16 °С. При достижении в пиве видимого экстракта от 4,5 % до 4,0 %, ЦКТ переводят в режим накопления СО₂ и плавно охлаждают до 2 °С.

Главное брожение вели до содержания видимого экстракта в сбраживаемой среде 3,3–3,7 %.

Поддержание температурного режима в процессе брожения обеспечивалось подачей хладагента в верхнюю рубашку ЦКТ. При этом охлажденная верхняя масса бродящего сусла опускается вниз, а более теплая масса бродящего сусла поднимается вверх, обеспечивая естественное перемешивание бродящей массы сусла. Температура хладагента не превышала отметки минус 6 °С.

Дображивание в ЦКТ проводилось при избыточном давлении от 0,2 до 0,5 бар в течение 12 суток, что способствовало восстановлению содержания общего диацетила, насыщению пива диоксидом углерода и ускорению осаждения дрожжей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе главного брожения сусла в течение 8 суток контролировали изменение двух показателей: видимого экстракта и кислотности.

Видимую степень сбраживания анализировали по видимому экстракту, измеренному сахаромером в образцах сбраживаемого сусла при наличии в них спирта и диоксида углерода [10]. Полученные результаты изменения показателей видимого экстракта пивного сусла при различных условиях брожения отображены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что процесс сбраживания экстрактивных веществ сусла с начальной экстрактивностью 11 % в ЦКТ при холодном и теплом режимах брожения завершался уже на четвертые сутки при снижении видимого экстракта до 3,5 % и 3,6 % соответственно. Процесс брожения в ЦКТ классическим способом заканчивался на пятые сутки при содержании видимого экстракта – 3,7 %, а в бродильном чане – только на седьмые сутки данный показатель составил 3,7 %. При этом максимальная видимая степень сбраживания пивного сусла была отмечена на четвертые сутки у образцов в ЦКТ при холодном и теплом режимах брожения и составила 68,2 % и 67,3 % соответственно.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ БРОЖЕНИЯ ПИВНОГО СУСЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОЛОГО ПИВА

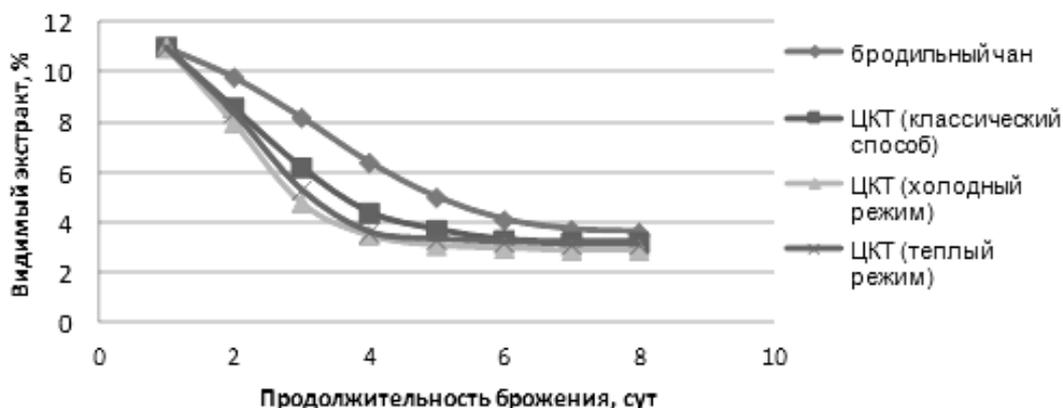


Рисунок 1 – Динамика изменения видимого экстракта пивного сусла в зависимости от способа брожения

Ускорение процесса брожения в ЦКТ вероятно обусловлено, в первую очередь, конструктивными особенностями цилиндрикоконического танка, которые способствуют интенсивному естественному перемешиванию сбраживаемого сусла.

Влияние различных способов главного брожения на динамику изменения показателя кислотности в пивном сусле показано на рисунке 2.

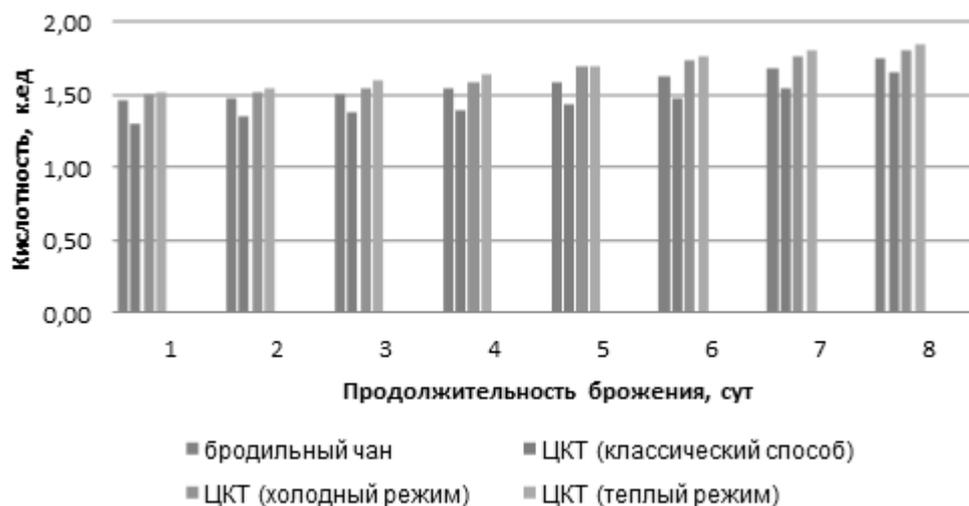


Рисунок 2 – Динамика изменения кислотности пивного сусла в зависимости от способа брожения

Полученные результаты свидетельствуют, что показатель кислотности во всех образцах в процессе брожения возрос в среднем на 0,3 к. ед. независимо от способа брожения, что соответствует стандартному изменению кислотности в процессе главного брожения. Следовательно, из рисунка 2 можно сделать вывод, что вид оборудования, как и технологический режим в процессе главного брожения, существенно не влияют на данный показатель.

Готовое пиво после дображивания для улучшения коллоидной стойкости перед сепарированием и фильтрованием, дополнительно охлаждали до температуры -1°C .
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2020

Концентрация дрожжевых клеток в пиве перед сепарированием составляла $2,0 \text{ млн/см}^3$, а перед фильтрованием – $0,5 \text{ млн/см}^3$.

После фильтрации пиво находилось в условиях, обеспечивающих минимальный контакт с воздухом в сборниках готового пива (форфасах).

На следующем этапе исследования проводился сравнительный анализ физико-химических показателей образцов готового пива, полученного при различных условиях брожения. Физико-химические показатели пива светлого «Немецкое» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели различных образцов пива светлого «Немецкое», полученных с использованием различных способов брожения

Наименование показателя	ГОСТ 31711-2012	Бродильный чан + горизонтальный танк)	ЦКТ		
			Классический способ	Холодный режим	Теплый режим
Экстрактивность начального сусла, %	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Объемная доля спирта, %, не менее	4,0	4,4	4,3	4,2	4,5
Кислотность, к.ед., не более	2,6	1,8	1,7	1,9	1,9
pH, ед	3,8-4,8	4,0	3,9	4,0	4,1
Цвет, ц.ед.	0,2-2,5	0,6	0,6	0,5	0,5
Массовая доля двуокиси углерода, %, не менее	0,4	0,8	0,6	0,7	0,4
Пенообразование: высота пены, мм, не менее пеностойкость, мин, не менее	40 3	44 4	48 4	50 5	40 3
Примечания: 1. Массовую долю двуокиси углерода определяют в пиве, разлитом в бутылки. 2. Допустимое отклонение экстрактивности начального сусла $\pm 0,3$ %. 3. Допустимые отклонения от объемной доли этилового спирта составляют $\pm 0,5$ %.					

Результаты анализа экспериментальных данных показывают, что все опытные образцы независимо от емкостного оборудования, в котором проходило брожение, и технологического режима полностью соответствовали требованиям ГОСТ 31711-2012.

Следует отметить, что по большинству показателей не было выявлено существенных различий между опытными образцами, за исключением показателей массовой доли двуокиси углерода и пенообразования. Так, пиво, полученное в бродильном чане, характеризовалось несколько повышенной массовой долей двуокиси углерода – на 0,1–0,4 % по сравнению с образцами, брожение которых проходило в ЦКТ. Наименьшее насыщение двуокисью углерода было отмечено в пиве, полученном в ЦКТ в условиях теплового режима брожения, и составило 0,4 %.

Кроме того, такой показатель, как высота пены оказался также значительно ниже в образцах пива, сброженного в условиях ЦКТ по теплому режиму брожения – 40 мм, из чего можно сделать вывод, что температура брожения свыше 12 °С для данного штамма дрожжей приводит к снижению пенообразования. Это, видимо, объясняется большим количеством выделяемых при брожении продуктов метаболизма дрожжей и автолизом клеток.

Качество готового пива характеризуют также органолептические показатели, такие как прозрачность, цвет, аромат, вкус, пена и насыщенность двуокисью углерода. Эти показатели индивидуальны для каждого сорта пива и являются критерием оценки его потребительских свойств. Для органолептической оценки образцов использовали принятый в пивоварении метод 25-балльной системы, в которой сенсорные показатели объединены в пять групп.

Все органолептические показатели качества пива определялись в процессе закрытой дегустации. Дегустацию проводили согласно требованиям, в хорошо проветриваемом помещении с температурой воздуха 23 °С и относительной влажностью 80 %. Температура исследуемых образцов пива составляла 12 ± 2 °С. Для дегустации использовались цилиндрические бокалы из бесцветного прозрачного стекла вместимостью 200 см³ [12, 13]. При последующем подсчете результатов дегустации была составлена диаграмма, в которой все 5 показателей качества имеют одинаковый коэффициент весомости. Полученные результаты дегустационной оценки отображены на рисунке 3.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ БРОЖЕНИЯ ПИВНОГО СУСЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТЛОГО ПИВА

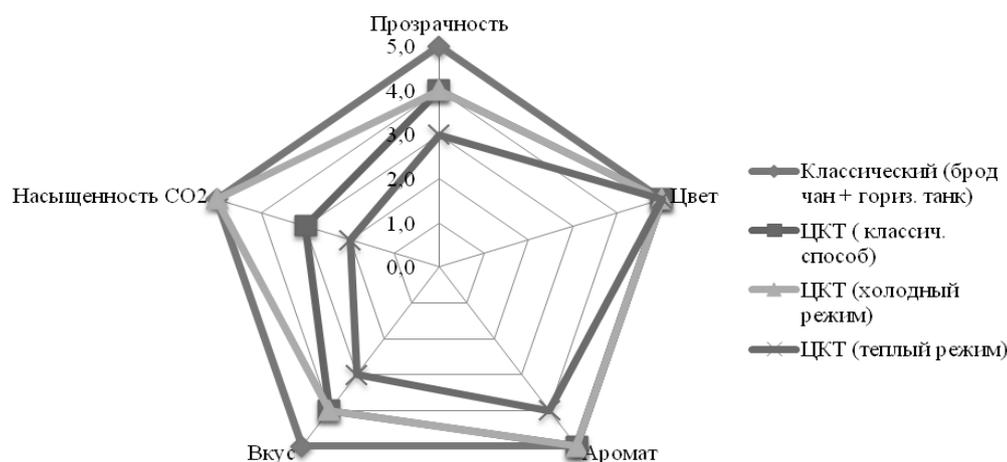


Рисунок 3 – Дегустационная оценка качества образцов пива сорта «Немецкое», полученных с использованием различных способов брожения

Согласно дегустационной оценке, лучшими характеристиками обладали образцы пива, произведенного классическим способом брожения в бродильных чанах с дображиванием в горизонтальных танках (25 баллов) и в ЦКТ с холодным режимом брожения (23 балла). Данные образцы имели светло-золотистый цвет; приятный насыщенный аромат; чистый, соответствующий данному типу пива вкус, мягкую хмелевую горечь, а также обильную, устойчивую пену. Наименьшее количество баллов и удовлетворительную оценку (16 баллов) получил образец пива, приготовленный по теплому режиму в ЦКТ, который имел пустоватый, слабо выраженный вкус с наличием постороннего привкуса авторизованных дрожжей и недостаточное насыщение двуокисью углерода.

ВЫВОДЫ

Исследовано влияние различных способов брожения на интенсификацию процесса главного брожения и качественные показатели светлого пива сорта «Немецкое».

На основании проведенных исследований можно заключить, что все опытные образцы пива независимо от емкостного оборудования, в котором проходило брожение и технологического режима по физико-химическим показателям полностью соответствовали требованиям ГОСТ 31711-2012.

Установлено, что в технологии производства светлого пива «Немецкое» с использованием пивных дрожжей *S. cerevisiae* штамма W 95 наиболее эффективным является ведение брожения в ЦКТ при холодном режиме. Данный способ позволяет сократить длительность главного брожения до 4 суток

при сохранении качества готового пива, увеличить видимую степень сбраживания сусла до 68,2 % и улучшить показатели пенообразования: высоту пены на 14 % и пеностойкость на 25 % по сравнению с контролем.

Показано, что использование теплового режима брожения в ЦКТ (при температуре выше 12 °С), несмотря на интенсификацию процесса брожения на трое суток по сравнению с контролем, в данной технологии проводить нецелесообразно, поскольку приводит к существенному ухудшению органолептических показателей пива, таких как насыщенность двуокисью углерода, вкус, прозрачность и аромат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хлыновский, М. Д. Методика оценки качества сусла в современном пивоварении / М. Д. Хлыновский, Г. А. Ермолаева, А. Д. Хлыновский // Пиво и напитки. – 2008. – № 1. – С. 38–39.
2. Ермолаева, Г. А. Брожение пивного сусла / Г. А. Ермолаева // Пиво и напитки. – 2003. – № 2. – С. 14–15.
3. Мамарасулов, Б. Д. Интенсификация процесса сбраживания пивного сусла / Б. Д. Мамарасулов, О. А. Насирова, Д. Т. Мирзарахметова // Пиво и напитки. – 2017. – № 5. – С. 24–27.
4. Применение новых видов пищевых подкормок для дрожжей в производстве пива / Л. В. Пермякова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 2 (29). – С. 46–52.
5. Каменская, Е. П. Использование экстракта пантокрина в технологии производства светлого пива / Е. П. Каменская, В. А. Вагнер, С. И. Камаева // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 5 (58). – С. 11–17.
6. Вагнер, В. А. Исследование влияния различных доз пантокрина на процессы главного брожения пивного сусла / В. А. Вагнер, А. А. Теплова,

Е. П. Каменская [и др.] // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : материалы XX Международной научно-практической конференции. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2019. – С. 95–100.

7. Артюшкин, А. Ю. Оптимальное управление температурой брожения пива в цилиндрическом танке / А. Ю. Артюшкин // Пиво и напитки – 2010. – № 2. – С. 17–19.

8. Чейка, П. Влияние способа брожения на аналитические и сенсорные свойства пива / П. Чейка, И. Чулик, Т. Горак, М. Юркова, В. Келльнер // Пиво и жизнь. – 2006. – № 4. – С. 19–25.

9. Кунце, В. Технология солода и пива / Вольфганг Кунце ; пер. с нем. Г. В. Дарков. – СПб. : Профессия, 2001. – 912 с.

10. Ермолаева, Г. А. Степень сбраживания сусла и пива / Г. А. Ермолаева // Пиво и напитки. – 2003. – № 6. – С. 14–15.

11. Аннемюллер, Г. Дрожжи в пивоварении / Г. Аннемюллер, Г. Й. Мангер, П. Литц. – СПб. : Профессия, 2015. – 428 с.

12. Экспертиза напитков. Качество и безопасность / ред. В. М. Поздняковский. – Новоси-

бирск : Сибирское университетское издательство, 2007. – 408 с.

13. Меледина, Т. В. Качество пива : стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегаустация / Т. В. Меледина. – СПб. : Профессия, 2011. – 224 с.

Каменская Елена Петровна, к.б.н., доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: kamenskaya.e.p@mail.ru, тел.: 8(3852)29-87-38.

Чанчикова Анастасия Андреевна, магистрант кафедры технологии бродильных производств и виноделия ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: e-kam2007@yandex.ru, тел.: 8(3852) 29-87-38.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННЫХ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А. М. Чистяков, И. Ю. Резниченко, М. В. Петрова, Ю. В. Устинова

В статье представлены результаты исследований по применению риск-ориентированного подхода в производстве обогащенных мучных кондитерских изделий. Объектами исследований являлись документация предприятия ОАО «Кондитер» и его организационная структура, технология производства, обогащенное витаминно-минеральным премиксом печенье. В качестве методов анализа применяли методы систематизации и обобщения для анализа информации о предприятии, наблюдение, анкетирование, QFD методологию для выявления рисков и обоснования их предотвращения, статистические методы анализа согласно требованиям действующих нормативных документов. При проведении исследований выявили достоинства и недостатки организационной структуры предприятия, проанализировали риски на каждом этапе технологии приготовления обогащенного печенья, рассмотрели основные ожидания потребителей обогащенного печенья на основе методологии развертывания функции качества для совершенствования продукции с учетом предполагаемых потребительских потребностей. Разработали программу по непрерывному управлению рисками, которая обеспечивает условия для быстрого принятия решений, постоянной оценки рисков, определения уровня влияния и степени значимости рисков на управленческие решения. Обосновали внедрение информационного обеспечения для сотрудников по работе с премиксом. Предложили составляющие элементы процесса управления рисками: идентификация, анализ, планирование и реагирование, наблюдение и управление.

Ключевые слова: риск, риск-ориентированный подход, организационная структура, витаминно-минеральный премикс «Валетек-8», обогащенное печенье, технология производства, дефекты, ожидания потребителей, управление рисками.

В современном мире многие организации используют риск-ориентированный подход, т. к. это прогрессивный метод ведения бизнеса, не только с коммерческой точки зрения, но и со стороны производства высококачественной продукции. Менеджмент рисков на современном этапе развития экономики является одной из основополагающих задач для организаций, позиционирующих себя как соответствующие требованиям международных стандартов систем менеджмента. Риск в той или иной степени подвержены результаты всех видов деятельности любого предприятия. Поэтому мы можем говорить о многообразии рисков, возникающих в процессе работы по всем направлениям. Многогранность понятия «риск» обусловлена разнообразием факторов, характеризующих как особенности конкретного вида деятельности, так и специфические черты неопределенности, в условиях которой эта деятельность осуществляется. Выявить все факторы достаточно трудно. Во-первых, большая часть рисков имеет как общие факторы, так и специфические. Во-вторых, конкретный риск может иметь различные причины его возникновения в зависимости от вида деятельности предприятия. В связи с этим говорить об успешном развитии процессных подходов в системах управ-

ления предприятиями без учета основных факторов рисков по всем видам деятельности, влияющих на качество процессов и продукции, в настоящее время не представляется возможным [1–4].

В подходах, основанных на опасности, наличие потенциально вредного агента на детектируемом уровне в пищевых продуктах используется в качестве основы для законодательства и/или действий по управлению рисками. Подходы, основанные на оценке риска, позволяют учитывать воздействие при оценке возможных неприемлемых рисков для здоровья [5].

В настоящий момент в России наблюдается огромный скачок интереса к здоровому и правильному образу жизни, что приводит к увеличению интереса к обогащенным продуктам питания [6, 7].

Как известно из мирового и отечественного опыта, в современных условиях сложно обеспечить организм человека всеми необходимыми для его жизнедеятельности веществами только за счет обычных продуктов питания. Поэтому люди, придерживающиеся здорового питания, как правило, предпочитают получать дополнительную энергию и комплексы макро- и микронутриентов из обогащенных продуктов питания [8–11].

Целью настоящей работы является применение риск-ориентированного подхода в производстве обогащенных мучных кондитерских изделий. В задачи исследования входили:

- изучить организационную структуру предприятия ОАО «Кондитер» г. Киселевска;
- выявить риски в технологической цепи обогащенного печенья;
- выявить меры предупреждения рисков;
- разработать систему управления рисками;
- разработать стратегию риск-менеджмента для предприятия;
- описать практическое применение риск-ориентированного подхода в технологии обогащенного мучного кондитерского изделия.

Работа проводилась на кафедре «Управление качеством» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ОАО «Кондитер» г. Киселевска.

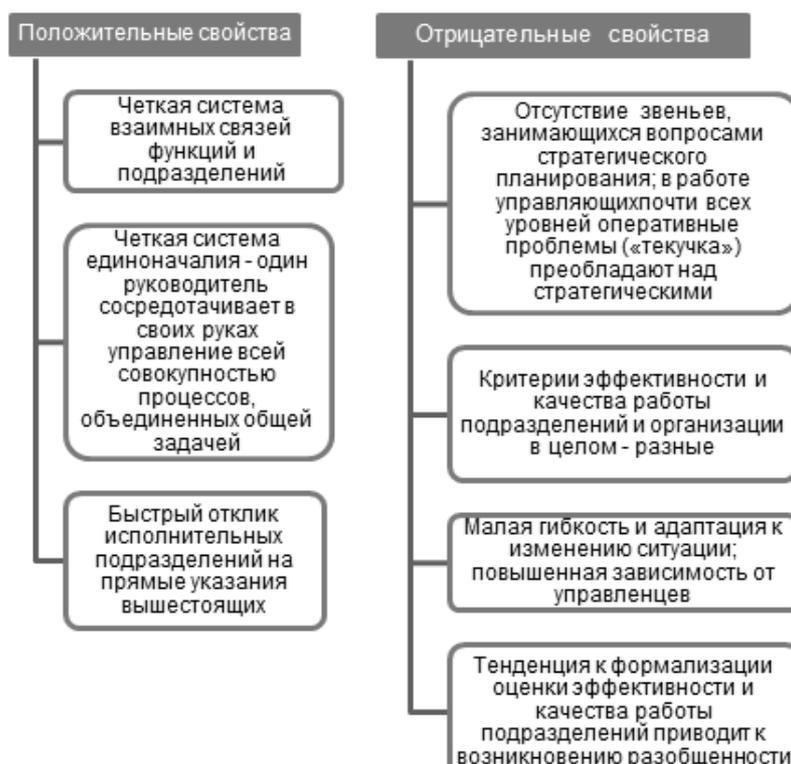
Объектами исследования в работе выступали: технология производства, документация предприятия ОАО «Кондитер» и его

организационная структура; печенье «Овсяночка», обогащенное витаминно-минеральным премиксом.

В качестве методов исследований в работе использовали методы систематизации и обобщения для анализа информации о предприятии; наблюдение, анкетирование, QFD методологию для выявления рисков и обоснования их предотвращения, статистические методы анализа, согласно требованиям действующих нормативных документов (ГОСТ Р ИСО 13053-2015; ГОСТ Р 51814.6).

Новизна работы заключается в определении рисков для обеспечения стабильной безопасности производства продукции на предприятии на примере обогащенного мучного кондитерского изделия.

Анализ организационной структуры предприятия установил, что структура относится к линейному иерархическому типу. Положительные и отрицательные свойства линейной структуры приведены на рисунке 1.



Рисунки 1 – Положительные и отрицательные свойства организационной линейной структуры

С учетом специализации и структуры предприятия программа работ по внедрению системы менеджмента качества и безопасности пищевого производства находится в зависимости от состава и последовательности действий по разработке стратегии риск-

менеджмента. На предприятии ОАО «Кондитер» для достижения установленной цели по внедрению риск-менеджмента для обогащенных мучных кондитерских изделий необходимо:

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННЫХ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

1. Описать риски при приемке сырья (премикса), риски при технологии производства, риски при оценке качества, риски при маркировке, риски при хранении и риски при употреблении продукции.

2. Разработать систему управления рисками при производстве обогащенных мучных кондитерских изделий (МКИ).

3. Разработать информационное обеспечение риск-менеджмента при производстве обогащенных МКИ.

4. Разработать стратегию риск-менеджмента для предприятия.

5. Предложить функции и принципы риск-менеджмента для обогащенных МКИ.

Для решения следующей задачи рассмотрены риски в технологии производства обогащенного печенья.

Одним из ключевых этапов производства является «входной контроль». Крайне важно качественно и ответственно относиться к приемке сырья, т. к. именно оно является одним из основных показателей формирующих качество готовой продукции.

Отличительной особенностью рецептуры обогащенного печенья является включение витаминно-минерального премикса [9, 10]. Технология приготовления состоит из следующих основных этапов: подготовка сырья к производству; замес теста; формование; выпечка; охлаждение; упаковка печенья; маркировка; хранение.

Выявлены риски, которые могут возникнуть на каждом этапе производства продукции, касающиеся использования премикса.

При приемке сырья (премикса):

- нарушение своих обязательств поставщиками (нестабильность поставок);
- поставка некачественного премикса или премикса, не соответствующего заявленным показателям по количеству содержания витаминов и минералов;
- халатное отношение работников к анализу важнейших параметров в соответствии с фактическим составом (активностью);
- неквалифицированность сотрудников.

При технологии производства:

- нарушение технологии добавления ингредиентов по количеству, заявленных в рецептуре;
- неравномерное распределение премикса при замесе теста;
- нарушение формовки;
- несоблюдение температуры и времени выпечки.

При оценке качества:

- неквалифицированность работников;

- проведение неполной оценки качества, например, только внешне, без взятия проб.

При фасовании и упаковывании:

- фасовка неостывшего печенья;
- использование материалов, не пригодных для упаковки печенья;
- неправильная укладка печенья в упаковку;
- отклонение массы нетто.

При маркировке:

- содержание неполной информации о продукте;
- содержание недостоверной информации о продукте;
- нечитаемая маркировка.

При транспортировании и хранении:

- использование транспорта непригодного для перевозки печенья;
- нарушение условий хранения;
- нарушение сроков хранения.

При употреблении:

- чрезмерное употребление продукта.

На следующем этапе выявили риски при производстве обогащенных мучных кондитерских изделий путем применения QFD методологии «дома качества». Установили ожидания потребителей, важность критериев выбора готового продукта и связь между ожиданиями потребителей и характеристиками обогащенного продукта. Наибольшее значение для потребителей имеет такой показатель, как вкус, который характеризуется техническими характеристиками массовой доли общего сахара и массовой долей жира. Обогащенность изделия, в свою очередь, определяет полезность продукта.

Форма и цвет, как критерии выбора, потребитель оценивает в последнюю очередь и не оказывает влияния на выбор продукта. С учетом выявленных критериев в программе по управлению рисками принимали во внимание риски, связанные с формированием качественных характеристик.

Разработали методологию (программу) по непрерывному управлению рисками, направленную на создание механизмов управления проектами. Такая методология обеспечивает условия для быстрого принятия решений, постоянной оценки рисков, определения уровня влияния и степени значимости рисков на управленческие решения. Процесс управления показателями выступает для получения информационных данных, необходимых для разрабатываемого механизма риск-менеджмента.

Такого рода механизм подчеркивает аргументированность переоценки конкретных рисков, систематически оказывающих влия-

ние на деятельность предприятия. Так как система проходит через жизненный цикл производства продукта, то значительная доля информации будет более доступной для оценки степени риска.

Разработанная программа управления рисками на предприятии ориентирована на постоянное и эффективное управление рисками. Таким образом, ранняя идентификация и оценка риска, создание отчетности по рискам, подготовка мер по уменьшению и предотвращению изменений внутренних и внешних условий будут оказывать положительное влияние на программу.

На рисунке 2 проиллюстрирована методология непрерывного управления рисками.



Рисунок 2 – Непрерывный процесс управления рисками

Основная стратегия управления рисками ориентирована на определение значимых рисков событий и предварительного принятия мер для борьбы с ними прежде, чем они нанесут значимый урон.

На предприятии предложено ввести четыре элемента процесса управления рисками: идентификация, анализ, планирование и реагирование, наблюдение и управление. На основе существующих работников собрана команда по управлению рисками, состоящая из начальника цеха, техника-технолога, начальника лаборатории, главного бухгалтера и специалиста по снабжению. Ими будет проведена идентификация рисков, а также оценка вероятности их возникновения, определение тяжести риска, установление стратегии управления рисками. На основе полученных данных ими же будет формироваться отчет по рискам в соответствии с их приоритетностью.

Так как именно от наличия премикса зависит содержание витаминов и минералов в готовом продукте, на предприятии предложено внедрить информационное обеспечение для сотрудников по работе конкретно с премиксом.

Разработана инструкция для сотрудников, работающих с премиксом, которая содержит информацию о правилах приемки премикса, условиях хранения, подготовки к производству, внесению премикса на стадии замеса теста, экспертизе качества готового изделия.

В итоге предложена модель риск-ориентированного подхода в технологии обогащенного мучного кондитерского изделия. Созданная команда по управлению рисками на предприятии ориентирована на постоянное и эффективное управление ими таким образом, что ранняя идентификация и оценка риска, создание отчетности по рискам, подготовка мер по уменьшению и предотвращению изменений внутренних и внешних условий будут оказывать положительное влияние на программу по управлению рисками. Помимо этого, на предприятие предложено внедрить информационное обеспечение для сотрудников по работе с премиксом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Н. Б. Применение риск-ориентированного подхода при совершенствовании системы менеджмента на предприятиях агропромышленного комплекса / Н. Б. Трофимова, Е. А. Рубашанова, В. М. Позняковский // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 3. – С. 759–763.
2. Петрова, М. В. Практическое применение риск-ориентированного подхода в технологии обогащенного мучного кондитерского изделия / М. В. Петрова, И. Ю. Резниченко ; сб. материалов международной научно-практической конференции «Стратегические направления развития мировой науки». – Кемерово : ЗапСибНЦ, 2020. – С. 37–40.
3. Артемова, А. Ю. Обоснование и реализация риск-ориентированного подхода в системе управления предприятиями / А. Ю. Артемова // Ученые записки Российской Академии предпринимательства. – 2020. – Т. 19. – № 1. – С. 49–56.
4. Вайскрובה, Е. С. Разработка интегрированной системы управления на пищевом предприятии / Е. С. Вайскрובה, Н. И. Барышникова, И. Ю. Резниченко, Л. Е. Покрамович // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48. – № 1. – С. 132–142.
5. Susan M. Barlowa Alan, R. Boobisb Jim Bridgesc Andrew Cockburnd Wolfgang Dekante Paul Hepburnf Geert F. The role of hazard and risk-based approaches in ensuring food safety // Trends in Food Science & Technology. – 2015. – V. 46. – I.2. – P. 176–188.
6. Гурьянов, Ю. Г. Оценка потребительских предпочтений к новым продуктам функционального назначения / Ю. Г. Гурьянов, Е. Ю. Лобач, И. Ю. Резниченко // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2–2. – С. 187–190.
7. Резниченко, И. Ю. Обоснование разработки обогащенных мучных кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, А. М. Чистяков, Ю. В. Устинова, ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2020

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННЫХ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Н. Ю. Рубан // Пищевая промышленность. – 2019. – № 5. – С. 56–59.

8. Резниченко, И. Ю. Особенности внедрения процедур, основанных на принципах ХАССП, для обогащенных мучных кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, А. М. Чистяков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 99–109.

9. Резниченко, И. Ю. Разработка системы менеджмента качества для обогащенных мучных кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, А. М. Чистяков // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 2 (61). – С. 117–122.

10. Патент 2665618 РФ, МПК А21D 13/80 Способ обогащения мучных кондитерских изделий витаминно-минеральным премиксом / И. Ю. Резниченко, А. М. Чистяков, И. В. Сурков, заявл. 22.05.2017, опубл. 03.09.2018, бюл. № 25.

11. Резниченко, И. Ю. Разработка рецептур мучных кондитерских изделий функционального назначения / И. Ю. Резниченко, А. М. Чистяков, Т. В. Рензяева, А. О. Рензяев // Хлебопродукты. 2019. – № 6. – С. 40–43.

Чистяков Андрей Михайлович, аспирант кафедры управления качеством

института инженерных технологий ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел: 8-999-430-32-86, e-mail: amc1977@yandex.ru.

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: Irina.reznichenko@gmail.com, тел.: 8-903-942-93-22.

Петрова Мария Васильевна, магистрант кафедры управления качеством института инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», тел. 8-952-167-61-37, e-mail: mariya_petrova_96@bk.ru.

Устинова Юлия Владиславовна, к.т.н., доцент кафедры управления качеством института инженерных технологий ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», тел.89617290164, e-mail: yul48888048@yandex.ru.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.011
УДК 665.733

НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ ЦЕОФОРМИНГА

И. А. Богданов, А. А. Алтынов, К. Э. Марданов, М. В. Киргина

В работе на лабораторной каталитической установке реализован цеоформинг стабильного газового конденсата в условиях варьирования технологических параметров процесса (температура, давление, расход сырья). Методом газожидкостной хроматографии определен углеводородный состав сырья и полученных продуктов. Рассмотрены направления превращений углеводородов стабильного газового конденсата на цеолитном катализаторе, а также исследовано влияние технологических параметров процесса на состав и свойства получаемых продуктов. Определены оптимальные технологические параметры процесса с позиции вовлечения полученных продуктов в смешение автомобильных бензинов. Разработаны рецептуры смешения бензинов марок АИ-92, АИ-95 и АИ-98 с использованием в качестве основного смесового компонента полученных продуктов цеоформинга. Бензины, полученные по разработанным рецептурам, соответствуют всем требованиям действующих стандартов.

Ключевые слова: стабильный газовый конденсат, цеолитный катализатор, направления превращений, бензин, октановое число, цеоформинг, температура, давление, расход сырья.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема рационального использования продуктов, получаемых при добыче и подготовке нефти и газа, с увеличением объемов добычи углеводородов и ужесточением требований к утилизации побочных продуктов актуальна и требует системного решения. Одним из таких продуктов является стабильный газовой конденсат (СГК), как правило, получаемый в качестве побочного продукта при производстве товарного газа на нефтегазовых месторождениях [1]. Имеющийся вариант применения этого ценного углеводородного сырья – добавление в нефть для снижения вязкости [2] – не является рациональным. Исследование свойств СГК и разработка технологий переработки данного сырья в ценные продукты, такие как высокооктановые компоненты автомобильных бензинов, является крайне актуальной задачей.

На сегодняшний день одним из наиболее активно развивающихся направлений в области катализа является использование цеолитных катализаторов. Цеолиты используются в процессах крекинга, гидрокрекинга, депарафинизации, активно ведутся исследования возможности их использования в других процессах переработки нефти [3]. Важно отметить, что достоинствами цеолитных катализаторов являются их экологичность, экономичность, а также стойкость к каталитическим ядам.

Процесс, позволяющий производить вы-

сокооктановые компоненты моторных топлив, в т. ч. высокооктановых автомобильных бензинов с использованием цеолитного катализатора, называется цеоформинг [4–5]. Преимуществом данного процесса является возможность использования достаточно широко спектра легкого углеводородного сырья, в т. ч. СГК [6]. Однако, как и любое углеводородное сырье, стабильные газы конденсаты могут значительно различаться по составу (как по содержанию различных углеводородов, так и по соотношению содержания различных углеводородов) в зависимости от места добычи и технологии получения. Учитывая жесткие требования, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов (например, содержание бензола не более 1 % об.), флуктуации состава СГК, очевидно потребуют определения оптимальных параметров переработки в каждом конкретном случае, для обеспечения заданного качества продукта [7]. Для эффективной переработки СГК на цеолитных катализаторах в компоненты моторных топлив необходимы исследования с целью описания направлений и механизмов протекающих реакций, выявления закономерностей влияния технологических параметров.

Таким образом, целью данной работы является исследование направлений превращений углеводородов, входящих в состав исследуемого СГК на цеолитном катализаторе, а также определение закономерностей

НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ ЦЕОФОРМИНГА

влияния технологических параметров на состав и свойства получаемых продуктов.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ

Для определения индивидуального и группового углеводородного состава исследуемого образца СГК и полученных продуктов цеоформинга был использован метод газожидкостной хроматографии (хроматограф «Хроматэк-Кристалл 5000», ЗАО СКБ «ХРОМАТЭК» с кварцевой капиллярной колонкой 25 м × 0,22 мм, стационарная фаза – SE-54, газ-носитель – гелий), испытания проводились согласно методике, представленной в [8].

Октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ), октановое число по моторному методу (ОЧМ), давление насыщенных паров (ДНП) и плотность при 15 °С для СГК и полученных продуктов цеоформинга были рассчитаны с помощью разработки Томского политехнического университета – программного комплекса «Compounding» [9], на основании результатов хроматографического анализа. Программный комплекс «Compounding» был также использован для разработки рецептур смешения бензинов различных марок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования в работе был использован образец СГК, полученный с одного из нефтегазоконденсатных месторождений Сибири. Для проведения цеоформинга СГК был использован цеолитный катализатор марки КН-30 (производство ПАО «Новосибирский завод химконцентратов»). Перед проведением испытаний катализатор был измельчен механическим способом, после чего навеска катализатора объемом 10 см³ загружалась в реактор, где прока-

ливалась в течение 8 часов при температуре 500 °С в среде азота.

Испытания проводились на лабораторной каталитической установке проточного типа. Для определения закономерностей влияния технологических параметров процесса цеоформинга СГК на состав и свойства получаемых продуктов, а также установления направлений превращений углеводородов, содержащихся в СГК, на цеолитном катализаторе, был проведен ряд испытаний в условиях варьирования технологических параметров процесса. Температура процесса варьировалась в пределах 325–425 °С с шагом 25 °С; давление процесса – в пределах 0,25–0,45 МПа с шагом 0,10 МПа; расход сырья – в пределах 2–4 ч⁻¹ с шагом 1 ч⁻¹. Полные перечни технологических параметров для каждого испытания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры процесса цеоформинга СГК

№	Температура, °С	Давление, МПа	Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹
1	325	0,25	2
2	350		
3	375		
4	400		
5	425		
6	375	0,35	3
7		0,45	
8		0,25	
9		0,25	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения характеристик и группового состава, исследуемого СГК, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики и групповой состав исследуемого СГК

Характеристика	Значение	Группа углеводородов	Содержание, % об.
ОЧИ	67,2	Н-парафины	33,40
ОЧМ	64,0	Изопарафины	44,40
ДНП, кПа	65,5	Нафтенy	17,26
Плотность при 15 °С, кг/м ³	691,5	Олефины	1,68
Бензол, % об.	0,17	Ароматические	3,26

Из полученных результатов видно, что в составе исследуемого СГК преобладают парафиновые углеводороды, в частности изопарафины, при этом группой, представленной минимальным содержанием, являются олефиновые углеводороды. Результаты расчета характеристик продуктов цеоформинга, полу-

ченных в условиях варьирования температуры процесса, представлены в таблице 3.

Результаты определения группового состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования температуры процесса, представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Результаты расчета характеристик продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования температуры процесса

Характеристика	Номер испытания				
	1	2	3	4	5
ОЧИ	73,7	81,7	85,1	87,6	93,0
ОЧМ	70,4	77,1	79,9	81,9	86,5
ДНП, кПа	85,8	119,6	117,2	90,8	86,1
Плотность при 15 °С, кг/м ³	684,2	696,8	713,5	741,6	767,2
Бензол, % об.	0,25	0,63	1,42	2,67	3,92

Таблица 4 – Результаты определения группового состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования температуры процесса

Группа углеводородов, % об.	СГК	Номер испытания				
		1	2	3	4	5
Н-парафины	33,40	28,57	28,3	26,45	22,9	18,4
Изопарафины	44,40	49,92	47,35	45,34	39,79	31,43
Нафтенy	17,26	13,18	9,74	6,94	5,78	9,01
Олефины	1,68	2,34	2,68	2,19	2,54	3,85
Ароматические	3,26	5,99	11,93	19,08	28,99	37,31

Из результатов определения углеводородного состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования температуры процесса, видно, что с увеличением температуры содержание в продуктах парафинов нормального и изоостроения снижается, а содержание олефиновых углеводородов увеличивается. Данная тенденция находит объяснение в карбений-ионном механизме реакций превращения углеводородов, протекающих на поверхности цеолитных катализаторов [10]. Согласно данному механизму, первичными являются мономолекулярные реакции крекинга и деалкилирования высокомолекулярных соединений, входящих в состав сырья с образованием низкомолекулярных углеводородов.

Также с ростом температуры в продуктах цеоформинга снижается содержание нафтенy, однако при температуре процесса 425 °С содержание нафтенy возрастает, что может быть объяснено образованием нафтенy через диеновый синтез, которому способствует образование низкомолекулярных олефинов при высоких температурах.

Увеличение содержания ароматических углеводородов в составе продукта с ростом температуры, вероятно, связано не только с образованием ароматических углеводородов в результате реакций перераспределения водорода между олефинами, олефинами и парафинами [11], но и с тем, что с повышением температуры циклогексаны становятся менее стабильными и могут подвергаться дегидрированию в ароматические углеводороды путем перераспределения водорода (о чем также свидетельствует рост содержания бензола в составе получаемых продуктов). Увеличение плотности продуктов с одновременным сниже-

нием ДНП и ростом содержания ароматических углеводородов свидетельствует о протекании реакций конденсации ароматических углеводородов, дающих соединения с более высокой молекулярной массой. Результаты расчета характеристик продуктов, полученных в условиях варьирования давления процесса, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета характеристик продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования давления процесса

Характеристика	Номер испытания		
	3	6	7
ОЧИ	85,1	87,4	76,5
ОЧМ	79,9	82,6	71,8
ДНП, кПа	117,2	151,1	62,7
Плотность при 15 °С, кг/м ³	713,5	706,9	724,9
Бензол, % об.	1,42	0,06	0,60

Таблица 6 – Результаты определения группового состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования давления процесса

Группа углеводородов, % об.	СГК	Номер испытания		
		3	6	7
Н-парафины	33,40	26,45	25,42	22,95
Изопарафины	44,40	45,34	44,67	41,83
Нафтенy	17,26	6,94	8,87	15,81
Олефины	1,68	2,19	5,02	6,13
Ароматические	3,26	19,08	16,02	13,28

Результаты определения группового углеводородного состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования давления процесса в целом (таблица 6), подтверждают описанные ранее направления превращений углеводородов, входящих в со-

**НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО
КОНДЕНСАТА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ
В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ ЦЕОФОРМИНГА**

став СГК на цеолите. Так, с ростом давления процесса содержание нафтеновых углеводородов в продуктах увеличивается, что может быть объяснено тем, что высокое давление подавляет реакции крекинга нафтенов, но в тоже время благоприятно влияет на образование нафтенов через диеновый синтез. Снижение содержания ароматических углеводородов с ростом давления процесса говорит в пользу того, что из реакций перераспределения водорода с получением ароматических углеводородов, вероятно, в процессе цеоформинга наиболее активно протекают реакции образования ароматического углеводорода и водорода из олефинов.

Результаты расчета характеристик продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования объемной скорости подачи сырья, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчета характеристик продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования объемной скорости подачи сырья

Характеристика	Номер испытания		
	3	8	9
ОЧИ	85,1	84,1	83,1
ОЧМ	79,9	79,7	78,8
ДНП, кПа	117,2	139,8	134,6
Плотность при 15 °С, кг/м ³	713,5	694,8	692,8
Бензол, % об.	1,42	0,06	0,07

Результаты определения группового состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования объемной скорости подачи сырья, представлены в таблице 8.

С ростом объемной скорости подачи сырья снижается время пребывания сырья в зоне реакции и, как следствие, в продукте увеличивается содержание изопарафиновых

и снижается содержание ароматических углеводородов. Полученные результаты (таблицы 7, 8) свидетельствуют о том, что при объемной скорости подачи сырья более 2 ч⁻¹, время контакта сырье-катализатор недостаточно для протекания реакций образования ароматических углеводородов. При повышении объемной скорости подачи сырья до 4 ч⁻¹ содержание изопарафинов в продукте также снижается, из чего следует, что при объемной скорости подачи сырья более 3 ч⁻¹ время контакта недостаточно также для протекания реакций изомеризации.

Таблица 8 – Результаты определения группового состава продуктов цеоформинга, полученных в условиях варьирования объемной скорости подачи сырья

Группа углеводородов, % об.	СГК	Номер испытания		
		3	8	9
Н-парафины	33,40	26,45	26,7	27,46
Изопарафины	44,40	45,34	47,14	46,55
Нафтены	17,26	6,94	10,54	11,17
Олефины	1,68	2,19	4,33	4,76
Ароматические	3,26	19,08	11,29	10,06

Таблица 9 – Характеристики дополнительных компонентов, вовлекаемых в рецептуру смешения бензинов

Характеристика	Толуол	МТБЭ
ОЧИ	120,0	124,4
ОЧМ	103,3	109,5
ДНП, кПа	7,6	40,3
Плотность при 15 °С, кг/м ³	867,3	735,0
Содержание веществ, % об.		
Олефины	0,58	0,44
Бензол	0,47	0,00
Ароматические	97,26	0,01

Таблица 10 – Рецептуры смешения бензинов марок АИ-92, АИ-95 и АИ-98

Содержание, % мас.	Марка								
	АИ-92			АИ-95			АИ-98		
	2	3	6	2	3	6	2	3	6
№ ПЦ									
ПЦ	75,5	58,0	55,0	68,5	55,0	53,0	61,0	55,0	54,0
Толуол	24,5	26,0	24,0	31,5	27,0	30,0	30,0	28,0	29,0
МТБЭ	–	–	–	–	5,5	–	9,0	10,0	6,0
СГК	–	16,0	21,0	–	12,5	17,0	–	7,0	11,0

С точки зрения производства бензинов наиболее перспективными являются продукты цеоформинга (ПЦ) №№ 2, 3, 6 (сравнительно высокие ОЧИ, при низком содержании бензола и ДПН). В связи с чем, на следующем этапе работы были разработаны рецептуры смешения автомобильных бензинов марок АИ-92, АИ-95, АИ-98 на основе данных

компонентов. В качестве дополнительных смесевых компонентов были использованы толуол и метилтретбутиловый эфир (МТБЭ), а также исходный СГК. Характеристики дополнительных смесевых компонентов приведены в таблице 9. Выбор дополнительных смесевых компонентов обоснован их сравнительно невысокой стоимостью, доступностью

на рынке и высокой детонационной стойкостью.

Разработанные рецептуры смешения бензинов различных марок представлены в таблице 10.

Важно отметить, что во всех предложенных рецептурах смешения автомобильного бензина доля ПЦ превышает 50 % мас., а

суммарная доля ПЦ и СГК в рецептуре превышает 60 % мас. (для наиболее популярного бензина марки АИ-92 в среднем составляет 75 % мас.).

В таблице 11 представлены характеристики бензинов различных марок, полученных по разработанным рецептурам.

Таблица 11 – Характеристики бензинов, полученных по разработанным рецептурам

Марка	АИ-92			АИ-95			АИ-98			Норма АИ-92/ АИ-95/ АИ-98	
	№ ПЦ	2	3	6	2	3	6	2	3		6
ОЧИ		92,2	92,1	92,3	95,1	95,1	95,2	98,1	98,1	98,1	не менее 92,0/ 95,0/ 98,0
ОЧМ		83,9	83,3	84,2	85,9	85,7	86,3	88,4	88,0	88,7	не менее 83,0/ 85,0/ 88,0
ДНП, кПа		92,2	80,4	98,7	84,3	76,9	93,5	78,9	75,2	93,4	35,0-100,0
Плотность При 15 °С, кг/м ³		738,6	750,0	742,2	750,6	753,5	752,5	751,4	757,2	753,5	725,0-780,0
Содержание веществ, % об.											
Олефины		2,27	1,76	3,41	2,15	1,65	3,32	1,96	1,59	3,27	не более 18,00
Бензол		0,59	1,00	0,17	0,59	0,96	0,18	0,53	0,96	0,17	не более 1,00
Ароматические		29,28	33,49	29,45	34,62	33,81	34,27	32,54	34,64	33,53	не более 35,00

Как можно видеть из результатов, представленных в таблице 11, бензины, полученные по разработанным рецептурам, по своим характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым к автомобильным бензинам согласно [12, 13].

ВЫВОДЫ

Проведённые исследования, позволили сделать следующие выводы:

1. Установлено, что с увеличением температуры процесса цеоформинга СГК содержание в продуктах парафинов нормального и изостроения снижается, а содержание олефиновых углеводородов увеличивается. Данная тенденция находит объяснение в карбоний-ионном механизме реакций превращения углеводородов, протекающих на поверхности цеолитных катализаторов – первичными являются мономолекулярные реакции крекинга и деалкилирования. Увеличение содержания нафтенов при температуре процесса 425 °С объясняется образованием нафтенов через диеновый синтез, которому способствует образование низкомолекулярных олефинов при высоких температурах. Увеличение содержания ароматических углеводородов в составе

продукта с ростом температуры связано не только с образованием ароматических углеводородов в результате реакций перераспределения водорода между олефинами, олефинами и парафинами, но и с тем, что с повышением температуры циклогексаны становятся менее стабильными и могут подвергаться дегидрированию в ароматические углеводороды путем перераспределения водорода (о чем также свидетельствует рост содержания бензола в составе получаемых продуктов).

2. Показано, что с увеличением давления процесса содержание в продуктах нафтенов углеводородов растет, а ароматических – снижается. Данные тенденции объясняются тем, что повышенное давление благоприятно влияет на образование нафтенов через диеновый синтез, а также тем, что из реакций перераспределения водорода с получением ароматических углеводородов, вероятно, в процессе цеоформинга, наиболее активно протекают реакции образования ароматического углеводорода и водорода из олефинов.

3. Установлено, что с ростом объемной скорости подачи сырья в продукте цеофор-

НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ ЦЕОФОРМИНГА

минга увеличивается содержание изопарафиновых и снижается содержание ароматических углеводородов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при объемной скорости подачи сырья более 2 ч^{-1} , время контакта сырье-катализатор недостаточно для протекания реакций образования ароматических углеводородов; при объемной скорости подачи сырья более 3 ч^{-1} , время контакта недостаточно также для протекания реакций изомеризации.

4. Показано, что с точки зрения вовлечения получаемых продуктов цеоформинга в производства автомобильных бензинов наиболее перспективными являются продукты цеоформинга № 2 (температура $350 \text{ }^\circ\text{C}$, давление $0,25 \text{ МПа}$, объемная скорость подачи сырья 2 ч^{-1}), № 3 (температура $375 \text{ }^\circ\text{C}$, давление $0,25 \text{ МПа}$, объемная скорость подачи сырья 2 ч^{-1}), № 6 (температура $375 \text{ }^\circ\text{C}$, давление $0,35 \text{ МПа}$, объемная скорость подачи сырья 2 ч^{-1}), т. к. данные продукты отличаются сравнительно высокими октановыми числами, при низком содержании бензола и ДПН.

5. Разработаны рецептуры смешения бензинов марок АИ-92, АИ-95 и АИ-98 с использованием в качестве основных смесевых компонентов наиболее перспективных продуктов цеоформинга СГК (доля продуктов цеоформинга в рецептуре превышает 50 \% мас.). Бензины, полученные по разработанным рецептурам, соответствуют всем требованиям [12, 13]. Показано, что переработка СГК на цеолитном катализаторе позволяет получить перспективные компоненты автомобильных бензинов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность ПАО «Новосибирский завод химконцентратов» за предоставление цеолитного катализатора.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-351.2020.3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shoaib A. M., Bhran A. A., Awad M. E., El-Sayed N. A., Fathy T. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2018. – V. 49. – P. 324.
2. Халимов, Э. М., Колесникова, Н. В., Хиряма, А. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2001. – № 11. – С. 46.
3. Shi, J., Wang, Y., Yang, W., Tang, Y., Xie, Z. // Chemical Society Reviews. – 2015. – V. 44 (24). – P. 8877.
4. Степанов, В. Г., Ионе, К. Г. // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – №1 (499). – С. 8.

5. Степанов, В. Г., Ионе, К. Г. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – Т. 13. – № 6. – С. 809.

6. Belinskaya, N., Altynov, A., Bogdanov, I., Popok, E., Kirgina, M., Simakov, D.S.A. // Energy and Fuels. – 2019. – V. 33 (5). – P. 4202.

7. Белинская, Н. С., Иванчина, Э. Д., Долганов, И. М., Белозерцева, Н. Е. // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 102.

8. ГОСТ 32507-2013 «Бензины автомобильные и жидкие углеводородные смеси. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии».

9. Киргина, М. В. // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2019. – № 9. – С. 70.

10. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов. Уфа : Гилем, 2002. – С. 457.

11. Ровенская, С. А., Островский, Н. М. // Омский научный вестник. – 2003. – № 1 (22). – С. 32.

12. ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».

13. ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 2 декабря 2015 года)».

Богданов Илья Александрович, аспирант Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; тел.: 8-923-416-60-00; e-mail: bogdanov_ilya@mail.ru.

Алтынов Андрей Андреевич, аспирант Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; тел.: 8-923-409-25-55; e-mail: andrey_altun@mail.ru.

Марданов Канан Эльшад-оглы, магистрант Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; тел.: 8-999-618-92-20; e-mail: kananmar8@mail.ru.

Киргина Мария Владимировна, кандидат технических наук, доцент Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; тел.: 8-913-809-91-17; e-mail: mtkirgina@tpu.ru.

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.012
УДК 621.791.052

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С РАССЛОЕНИЕМ СТЕНКИ

Д. В. Жуков, С. В. Коновалов, А. А. Мельников, К. К. Чаплыгин

Исследованы причины возникновения и развития трещины протяженностью 80,0 мм и глубиной до 3,0 мм на подземном магистральном газопроводе по кольцевому сварному шву, изготовленному методом контактной сварки токами высокой частоты. В рамках исследования был проведен комплекс исследований, включавших визуально-измерительный контроль, ультразвуковую толщинометрию стенок труб в околошовной зоне и по основному металлу, оптическую микроскопию, испытания на статическое растяжение и фрактографический анализ. Рассмотрена структура и морфология шва и металла прилегающих участков труб, проанализировано поведение расслоений и влияние включений при сварке. Установлено, что дефекты изначально присутствовали на одной из свариваемых труб и представляли собой расслоения, толщиной от 5 до 50 мкм, располагающиеся на различной глубине. В процессе сварки произошло значительно искажение слоев с образованием микропор и нарушением микроструктуры стали в дефектных зонах. Установлено, что наличие дефектов приводит к значительным локальным изменениям структуры в зоне сплавления и изменению физических свойств в этих участках. Показано, что наиболее сильно такие изменения структуры влияют на пластичность дефектных участков. Относительное удлинение сокращается почти в два раза.

Ключевые слова: расслоение, сварной шов, диаграмма растяжения, дефекты проката, электронная микроскопия, оптическая микроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Происходящие по причине скрытых заводских дефектов аварии составляют значительную часть в общем количестве инцидентов. По различным источникам [1, 2], на их долю приходится от 6,5 до 17,8 % произошедших на газопроводах аварий. Основным негативным свойством таких дефектов является сложность их обнаружения как при строительстве, так и при эксплуатации объектов, что даже при полном соблюдении правил промышленной безопасности не гарантирует отсутствия аварий. Изучение причин разрушения трубопроводов по сварным соединениям является важной и актуальной задачей, и отражено в большом количестве исследований. В частности, в работах [3, 4] рассматриваются разрушения продольных сварных швов по причинам коррозионного растрескивания под напряжением. В работах [5–7] проводится анализ причин разрыва труб по сварным швам, непосредственно приведшим к авариям. Выполнен ряд работ [8, 9] по построению методов расчета и оценки безопасности сварных соединений с внутренними дефектами методом конечных элементов, в т. ч. для коррозионных повреждений [10]. В работах [11–14] представлены испытания и анализ изломов швов различной конфигура-

ции, включая швы со смещением кромок, швов нахлесточного типа и со следами деформации. При этом исследования дефектов сварных соединений, подобные рассматриваемому в данной работе, слабо представлены в научной литературе.

Целью данной работы является анализ причин образования дефекта, оценка несущей способности дефектного сварного шва.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является участок трубопровода с дефектным кольцевым сварным швом. Сварной шов образован стыковым соединением электросварных прямошовных труб диаметром 325 мм, изготовленных из стали 20, номинальной толщиной 6,0 мм и 7,5 мм, со снятием наружного валика усиления.

При визуальном осмотре образца уточнены геометрическое расположение, характеристики и размеры дефекта. Выполнен ультразвуковой контроль эхоимпульсным методом на сплошность материала в околошовной зоне с обеих сторон шва с использованием автоматического дефектоскопа УИУ «Скаруч» серии «Сканер» (ООО «Алтес», Россия) с акустическим блоком для толщинометрии № 129.

Микрошлифы образцов исследовались

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С РАССЛОЕНИЕМ СТЕНКИ

методом световой оптической микроскопии с увеличением от 50х до 500х на бинокулярном оптическом металлографическом инвертированном микроскопе МЕТАМ ЛВ-31 (АО «ЛОМО», Россия). Образцы вырезались на отрезной машине с обеспечением охлаждения и готовились с применением материалов для пробоподготовки Aka-Clear (Akasel A/S, Дания). Полировка осуществлялась на металлографическом шлифовально-полировальном станке LS2+LSA (Remet, Италия). Микрошлифы осматривались как до травления, так и после травления в четырехпроцентном растворе азотной кислоты в спирте.

Испытания на статическое растяжение проводились на разрывной машине ИР5113-100 (ОАО «Точприбор», Россия). Для проведения испытаний было вырезано по три образца из бездефектных и дефектных областей. Испытания проводились при температуре окружающей среды 19 °С.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Трещина расположена на внешней стороне кольцевого сварного шва на границе зоны сплавления со стороны дефектной трубы. Трещина длиной 80 мм направлена вдоль сварного шва по прямой траектории (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трещина на обследуемом сварном шве

Проведен ультразвуковой контроль околошовных зон эхоимпульсным методом по всему периметру труб по обе стороны от сварного шва на расстоянии 15,0 мм. Данные записаны с шагом в 2,0 мм. Минимальная

измеренная толщина дефектной трубы (глубина расслоения) составила 2,0 мм, максимальная толщина стенки в бездефектной области достигала 8,4 мм, при этом средняя толщина преимущественно изменялась в диапазоне от 7,3 до 7,6 мм. Толщина бездефектной трубы находилась в диапазоне от 5,9 до 6,2 мм, однако в зоне сварного шва на ней был выполнен скос кромки на расстоянии до 10,0 мм от зоны сплавления. Толщина бездефектной трубы прилегающая к зоне сплавления составляла от 5,2 до 5,5 мм. На основе данных толщинометрии построены толщинограммы труб, приведенные на рисунке 2. При совмещении результатов визуального осмотра и результатов толщинометрии определено, что трещина образовалась в зоне максимального приближения расслоения к поверхности.

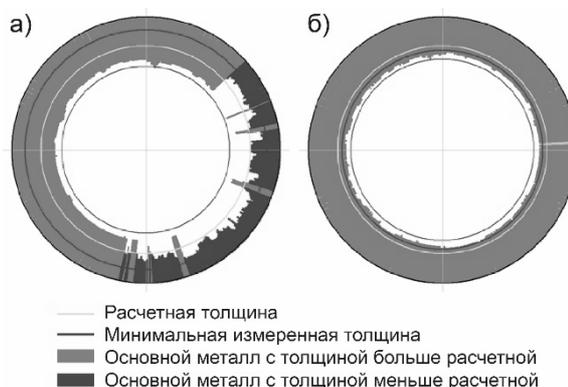


Рисунок 2 – Толщинограммы околошовных зон (а – со стороны дефектной трубы; б – со стороны бездефектной трубы)

Глубина раскрытой трещины составляла от 2,0 до 3,0 мм, что соответствует показаниям толщиномера и свидетельствует о наличии второго слоя металла непосредственно под расслоением. Зона явных расслоений, фиксируемых толщиномером, составляет 400 мм, что соответствует 40 % периметра трубы. Разнотолщинность труб составляет 1,5 мм, а в зоне кольцевого шва достигает 2,5 мм за счет скоса внутренней кромки бездефектной трубы.

Общая конфигурация сварного шва с прилегающими зонами показывает неудовлетворительную подготовку стыкуемых труб. Кроме пропущенных в производство внутренних дефектов стенки трубы, сварной шов имеет явно выраженную разнотолщинность от 30 до 50 %.

При оптической микроскопии микроструктуры основного металла труб и зоны сварного шва обнаружены протяженные расслоения различной толщины, проходящие

параллельно поверхности. В зоне сварного шва, со стороны дефектной трубы видна явно выраженная полосчатая структура материала, получившая дополнительное искривление при сварке. Раскатанные несплошности и включения также изменили свою геометрию, частично объединившись и увеличившись в объеме (рисунок 3). Такая полосчатая структура обнаружена ближе к центру стенки дефектной трубы.

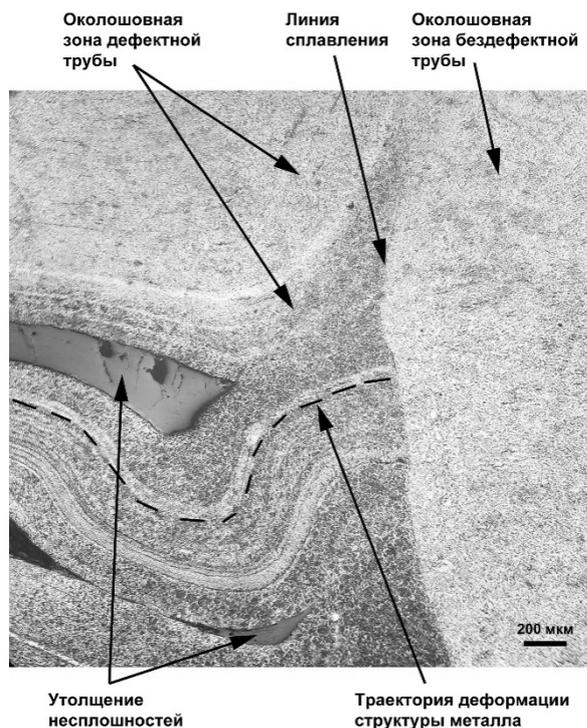


Рисунок 3 – Оптическая микроскопия участка сварного шва

Микроструктура металла в зоне сварного шва со стороны бездефектной трубы представлена характерной феррито-перлитной кристаллической структурой, однородной по толщине стенки. Схожая структура зафиксирована ближе к внешней и внутренней поверхности стенки дефектной трубы.

Выполнены испытания подготовленных образцов на статический разрыв. Образцы вырезались из зоны с расслоениями и из бездефектных зон. Результаты испытаний бездефектного участка показали характерную картину, получаемую при испытаниях качественных сварных швов низколегированных малоуглеродистых трубных сталей (рисунок 4).

Разрушение дефектных образцов произошло по зоне сплавления, в которой при оптической микроскопии обнаружены микро-не сплошности, что также коррелирует с результатами работы [12]. При этом слои ме-

талла имели разную степень остаточной деформации и отличающийся характер излома (рисунок 5).

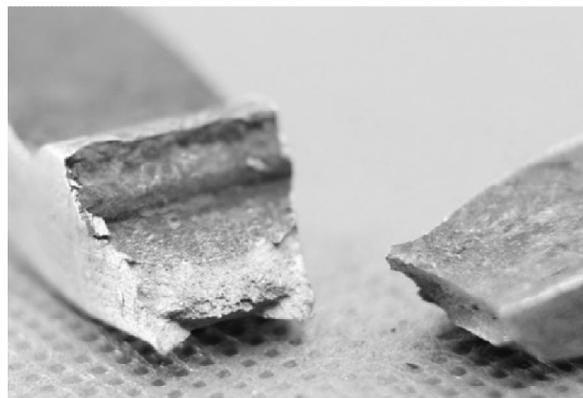


Рисунок 4 – Характер разрушения бездефектных образцов



Рисунок 5 – Характер разрушения дефектных образцов

Усредненные результаты испытаний приведены на диаграммах растяжения, представлены на рисунках 6, 7 и таблице 1.

Таблица 1 – Сводные результаты испытаний

Параметр	Образцы	
	без дефектов	с дефектами
Относительное удлинение, δ_5 , %	11,3	6,1
Предел текучести σ_T , МПа	389	404
Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	515	441

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С РАССЛОЕНИЕМ СТЕНКИ

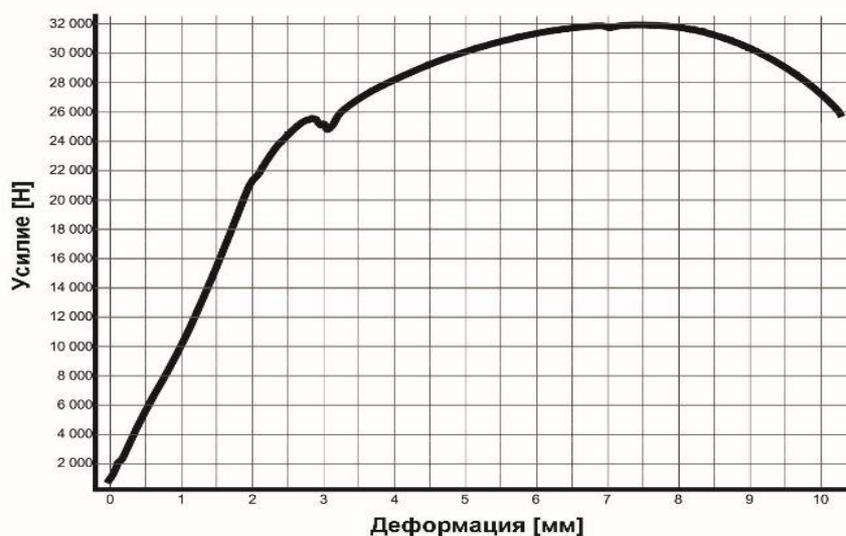


Рисунок 6 – Диаграмма растяжений бездефектных участков

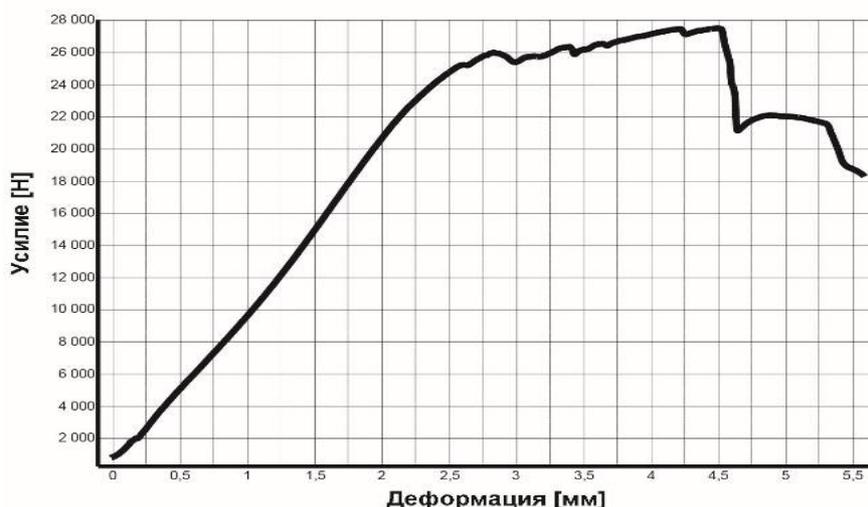


Рисунок 7 – Диаграмма растяжений дефектных участков

Временное сопротивление разрыву бездефектных образцов составило 515 МПа, дефектных: 441 МПа, что меньше на 14 %. При этом относительное удлинение дефектных образцов составляет всего 6,1 %, что почти в два раза меньше, чем у бездефектных образцов, относительное удлинение которых в среднем составило 11,3 %.

Измеренный предел текучести дефектных участков практически соответствует бездефектным, превышая его на 4 %. Это связано с распределением очередности включения в работу слоев дефектных участков и неравномерным перераспределением нагрузки, на что указывает участок упрочнения, имеющий значительные перепады и более пологий наклон. Такие перепады свидетельствуют о переходе части слоев на участок упрочнения, в то время как остальные находятся на участке

текучести или в пределах площадки текучести. Данный вывод подтверждается анализом видеофиксации испытаний, в ходе которых видно, что образец разрушается послойно: часть слоев отрывается, в то время как остальные находятся в процессе растяжения под нагрузкой.

ВЫВОДЫ

В результате исследований подтверждено, что расслоения металла оказывают значительное влияние на качество сварных швов, существенно снижая их механические свойства. При производстве сварных швов с участками металла, имеющим расслоения, в структуре сварного шва наблюдается повышенная микропористость, а слои металла приобретают разнородную структуру. В процессе эксплуатации на таких сварных соеди-

нениях создаются условия неравновесного нагружения, приводящие к неравномерной нагрузке на слои и послойному разрушению дефектных мест. Разнородность несущей способности слоев металла приводит к сокращению общего срока службы объекта и повышению вероятности разрушения при штатных нагрузках.

Следует отметить, что наиболее эффективным методом обнаружения подобных дефектов на ранней стадии развития или на производстве является ультразвуковой контроль при помощи наклонных преобразователей. Однако нужно отметить, что присутствующая в рассматриваемом сварном шве значительная разнотолщинность усложняет его проведение и расшифровку результатов. Наиболее эффективной в рассматриваемом случае является толщинометрия околошовной зоны, которую необходимо проводить по всему периметру труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FracTracker Alliance. Pipeline Incident Summary. Available online: <https://www.fractracker.org/2020/02/pipelines-continue-to-catch-fire-and-explode/> (accessed on 06.05.2020).
2. European gas pipeline incident data group. Available online: [https://www.egig.eu/startpagina/\\$61/\\$108](https://www.egig.eu/startpagina/$61/$108) (accessed on 06.05.2020).
3. Дзюев, К. М., Басиев, К. Д., Хабалов, Г. И., Дзарукаев, Э. В. Стресс-коррозионные процессы в металле и сварных соединениях газопроводов // Сварочное производство. – 2013. – № 9. – С. 13–18.
4. Карпов, С. В., Ширяпов, Д. И., Алихашкин, А. С. Комплексные исследования коррозионного растрескивания под напряжением на магистральных газопроводах : опыт и перспективы // Вестник газовой науки. – 2016. – № 3 (27). – С. 143–153.
5. Алексеев, А. А., Сыромятникова, А. С., Большаков, А. М., Иванов А. Р. Результаты исследования разрушения сварных соединений трубопровода, изготовленных контактной сваркой токама высокой частоты. Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2019. – № 12. – С. 76–80.
6. Чирков, Ю. А., Кушнаренко, В. М., Репях, В. С., Чирков, Е. Ю. Анализ причин разрушения сварного соединения трубопровода // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2017. – № 10 (748). – С. 63–66.
7. Голиков, Н. И., Терентьев, Н. Н., Алексеева, М. Н., Родионов, А. К., Кынакытова, М. А., Аргунова, А. А. Анализ разрушения сварных соединений подводного перехода магистрального газопровода // Сварка и Диагностика. – 2016. – № 1. – С. 60–64.
8. Wang, X., Shuai, J. A calculation method for

limit load of the gas pipelines with girth weld surface cracks, Natural Gas Industry B. 6 (5). – 481–487. DOI:10.1016/j.ngib.2019.03.004.

9. Souza, R. F., Ruggieri, C. Fracture assessments of clad pipe girth welds incorporating improved crack driving force solutions. Engineering Fracture Mechanics, 148. – 383–405. DOI:10.1016/j.engfracmech.2015.04.029.

10. Lu, Y., Li, X., Jing, H., Xu, L., Han, Y. Finite element simulation of carbon steel welded joint corrosion, Hanjie Xuebao / Transactions of the China Welding Institution. – 39 (5). – P. 10–14. DOI:10.12073/j.hjxb.2018390112.

11. Андронов, И. Н., Гаврюшин, С. С., Захаренков, Д. В., Пронин, А. И. Анализ влияния дефектов в зоне сварного шва на прочность трубопровода // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 5–10.

12. Zheng, B., Dawood, M., Zhou, Y. Influence of morphological characteristics on the mechanical properties and failure mechanisms of legacy butt welds, Construction and Building Materials, 198. – 158–171. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.171.

13. Шахматов, Д. М., Шахматов, М. В. Долговечность сварных трубопроводов при длительной эксплуатации // Сварка и диагностика. – 2018. – № 6. – С. 45–48.

14. Усов, В. В., Гопкало, Е. Е., Шкатуляк, Н. М., Гопкало, А. П., Чернева, Т. С. Текстура, микроструктура и фрактальные особенности малоцикловое усталостное разрушение металла сварных соединений трубопровода // Металлы. – 2015. – № 5. – С. 98–110.

Жуков Дмитрий Владимирович, аспирант Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, руководитель ГСБД инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Самара», e-mail: dzetii@mail.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, д.т.н., профессор кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, e-mail: kvs@ssau.ru.

Мельников Алексей Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, e-mail: melnickov.alex@yandex.ru.

Чаплыгин Константин Константинович, инженер ООО НИПП «Вальма», e-mail: chapkostya96@mail.ru.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ SPS-СПЕКАНИЕМ

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

Приведены экспериментальные исследования по влиянию γ -облучения с накопленной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр на структурно-фазовые состояния активированных порошковых смесей системы Ti–Al–Nb до SPS-спекания и на структурно-фазовые характеристики спеченных продуктов из не облученной и предварительно облученной порошковых смесей. Экспериментально установлено, что после воздействия на спеченный продукт из предварительно облученной механоактивированной смеси состава Ti(50 ат.%) + Al(25ат.%) + Nb (25ат.%) γ -облучения с накопленной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр при сохранении фазового состава спеченного продукта (O-фаза (Ti_2AlNb), $\beta_0(B2)$ и $\alpha_2 (Ti_3Al)$) происходит формирование особого радиационно-индуцированного состояния. Оно характеризуется расщеплением дифракционных пиков, изменением их параметров, упорядочению структурного состояния наблюдаемых соединений и формированию из них отдельных кластеров. Также наблюдается изменение морфологии спеченных продуктов из облученной смеси, проявляющееся в появлении сверхструктуры, представленной областями зародышеобразования кристаллитов и областями разрушения ламеллярной структуры. Для спеченного продукта из необлученной порошковой смеси после γ -облучения особого радиационно-индуцированного состояния не выявлено.

Ключевые слова: гамма-облучение, механоактивация, порошковая смесь, SPS-спекание, рентгеновская дифрактометрия, структурные параметры, кристаллическая решетка.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в области разработки новых композиционных материалов с модифицированной структурой является исследование эффектов, возникающих с применением ионизирующего излучения в металлургических материалах и сплавах [1, 2]. Экспериментально установлено, что радиационного воздействие, в частности, облучение γ -квантами [3] способствует стимулированию диффузионных процессов, ускорению химических превращений в материалах, а при соответствующем изменении тонкой структуры (размеров кристаллитов и уровня микродеформаций) может формироваться особое радиационно-индуцированное состояние, характеризующееся изменением структуры и свойств веществ [4, 5]. Обнаружено, что при таком состоянии в структуре формируются нанокластеры, предположительно состоящие из тех же атомов, что и матрица, но имеющие другую кристаллическую симметрию [6, 7]. Также, в зависимости от накопленной дозы и исходного структурного состояния материалов, могут происходить процессы радиационно-стимулированной диффузии, связанные с релаксацией локальных механических напряжений и упорядочению структуры [8–9].

Известно, что одним из эффективных способов получения высококачественных изделий из порошковых материалов, в т. ч. системы Ti–Al–Nb, является электроимпульсное плазменное спекание [10–11]. Однако термодинамические свойства Ti, Al и Nb, включая температуру плавления, плотность и коэффициент диффузии, сильно различаются [12–13]. Поэтому целесообразно до спекания применять предварительную обработку порошковых смесей (механоактивацию и γ -облучение) [14], которая позволит влиять на структурно-фазовое состояние спеченных продуктов [15]. Поскольку ионизирующее воздействие способствует формированию модифицированных материалов, исследование влияния γ -облучения на структурно-фазовое состояние спеченных продуктов системы Ti–Al–Nb является актуальной задачей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

В качестве объектов исследований использовались образцы системы Ti–Al–Nb, полученные методом электроимпульсного плазменного спекания. (SPS). Образцы спекались из порошковых смесей, состоящих из порошка титана ПТХ, алюминия АСД-1 и ниобия НБП-1а состава Ti (50 ат.%) + Al(25ат.%) + Nb(25ат.%). Сначала порошковые смеси подвергались активационной обработке. Для механоакти-

вации использовали планетарную шаровую мельницу АГО-2. Время активации – 7 мин., энергонапряженность шаровой мельницы – 40 г.

Далее порошковые смеси были разделены на две партии. На одну воздействовали γ -облучением с поглощенной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр. Гамма-облучение механоактивированных порошковых смесей, а также спеченных продуктов проводили на установке «Исследователь» (изотоп ^{60}Co) (НИИПП, г. Томск).

Затем осуществляли SPS-спекание порошковых смесей обеих партий на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония), в вакууме ($5 \cdot 10^{-2}$ мБар), при $T_{\text{сп}} = 1300$ °С, $P = 20$ МПа. Изменение линейных размеров материала в процессе спекания регистрировалось встроенными средствами технологического оборудования. Температура в процессе спекания регистрировалась пирометром.

На следующем этапе уже спеченные образцы обеих партий подвергали дополнительному воздействию γ -облучения с поглощенной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр для выявления влияния воздействия γ -облучения на структурно-фазовые характеристики SPS-образцов.

Структурно-фазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-6, с $\text{CuK}\alpha$ -излучением ($\lambda = 1,5418$ Å). Обработку экспериментальных данных осуществляли с помощью пакета PDWin.

Исследования микроструктуры спеченных образцов на поперечном шлифе проводили с помощью программно-аппаратного комплекса «Thixomet Pro», включающем инвертированный металлографический микроскоп «Carl Zeiss Axio Observer Z1m». Шлифование образцов осуществляли на шлифовально-полировальном станке FORCIPOЛ 1V. Травление образцов на основе Ti–Al–Nb проводили в растворе 50 % плавиковой кислоты. Время травления составляло от 2 до 5 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1, а приведена дифрактограмма порошковой смеси Ti + Al + Nb после механоактивационной обработки. На дифрактограмме идентифицируются уширенные дифракционные отражения α -Ti, Al и Nb. Повышенный диффузный фон свидетельствует о наличии дефектов в продукте размолта и малых размерах кристаллитов. Дополнительные соединения после механоактивации не образуются. После воздействия γ -облучения с дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр на дифрактограмме (рисунок 1, б) практически не меняются значения интенсивностей отражений. Уширенные пики косвенно свидетельствуют о сохранении наноструктурного состояния кристаллитов и о наличии остаточных микродеформаций.

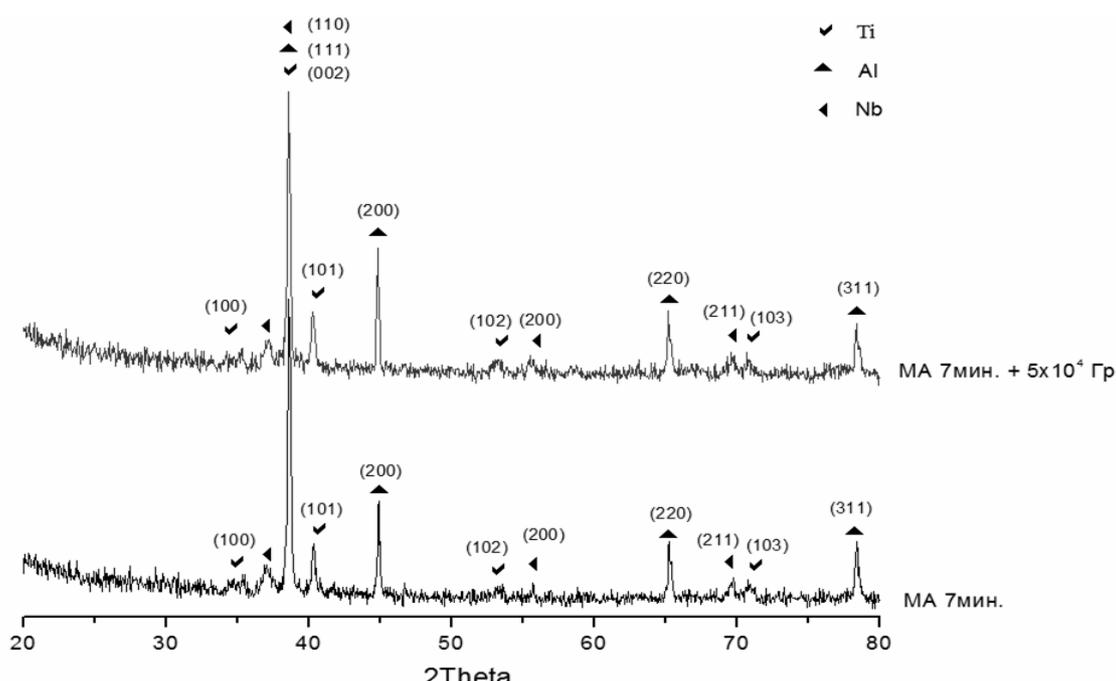


Рисунок 1 – Дифрактограмма порошковой смеси состава Ti + Al + Nb: а) механоактивированной; б) после облучения с $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ SPS-СПЕКАНИЕМ

На основании анализа полученных дифрактограмм были проведены расчеты структурных параметров элементарных ячеек для титана, алюминия и ниобия до и после высокоэнергетических воздействий на порошковую смесь. Предварительная механоактивационная обработка незначительно меняет параметры ячеек Ti, Al и Nb порошковой смеси. После γ -облучения с дозой $D_\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр структурные параметры компонентов близки к исходным. Так, структурные параметры титана: исходный порошок $a = 2,94$ Å, после механоактивации $a = 2,93$ Å, $a = 2,94$ Å после облучения; исходный порошок $c = 4,66$ Å, после механоактивации $c = 4,72$ Å, $c = 4,68$ Å после облучения. Структурные параметры алюминия: исходный порошок $a = 4,04$ Å, после механоактивации $a = 4,03$ Å, $a = 4,04$ Å

после облучения. Структурные параметры ниобия: исходный порошок $a = 3,30$ Å, после механоактивации $a = 3,31$ Å, $a = 3,30$ Å после облучения.

На следующем этапе производилось SPS-спекание обработанных порошковых смесей. На рисунке 2 представлены характерные изменения основных рефлексов, имеющих максимальную интенсивность на дифрактограммах спеченных продуктов до и после γ -облучения из механоактивированной без γ -облучения порошковой смеси Ti + Al + Nb. После воздействия γ -облучения с накопленной дозой $D_\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр на спеченный продукт из механоактивированной необлученной смеси Ti + Al + Nb фазовый состав продукта не изменился.

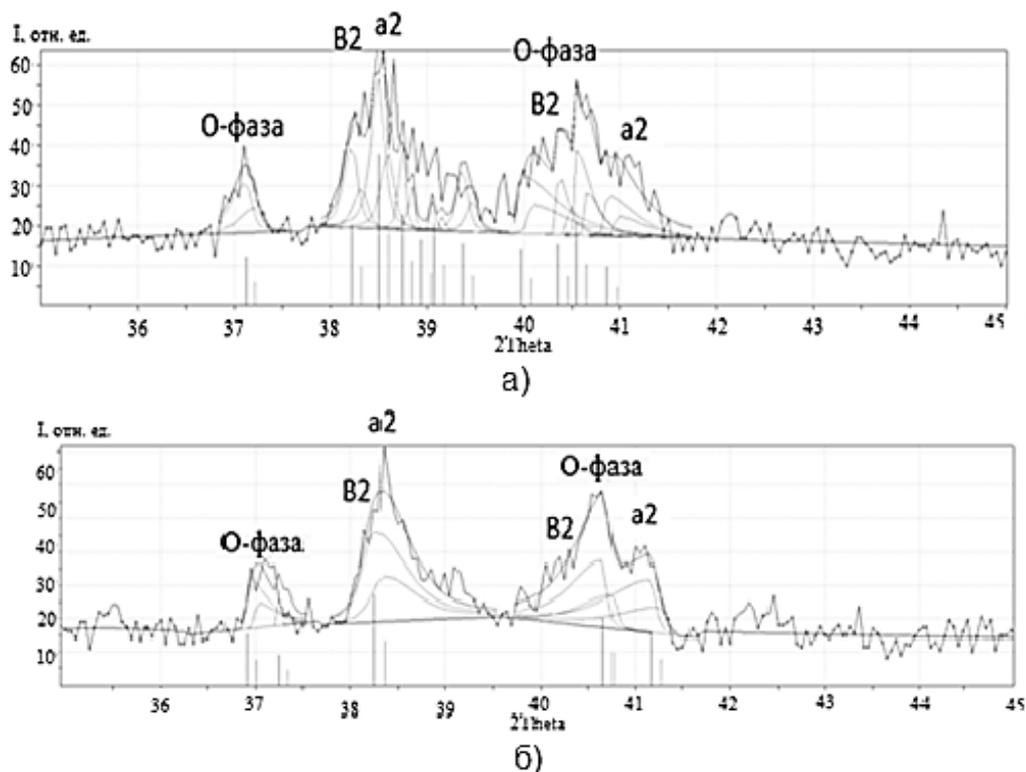


Рисунок 2 – Дифракционные отражения от основных плоскостей фаз спеченного продукта из механоактивированной необлученной смеси (а) и продукта после облучения с $D_\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр (б)

На дифрактограммах наблюдаются незначительные изменения формы основных дифракционных отражений, характеризующиеся увеличением их ширины. При этом значения межплоскостных расстояний основных фаз остаются неизменными.

На рисунке 3 представлены характерные изменения основных рефлексов, имеющих максимальную интенсивность на дифрактограммах спеченных продуктов до и после γ -

облучения из предварительно облученной механоактивированной смеси Ti + Al + Nb.

После дополнительного воздействия на спеченный продукт из облученной механоактивированной смеси гамма-облучения с дозой $D_\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр изменения фазового состава не выявлено, однако на дифрактограмме (рисунок 3) происходят изменения, характеризующиеся расщеплением основных отражений на более выраженные пики Ti_2AlNb , Ti_3Al и B_2 , совместно с повышением значений их

интенсивностей и уменьшением ширины большинства пиков. При этом наблюдается

уменьшение межплоскостных расстояний кристаллических ячеек на 0,01...0,02 Å.

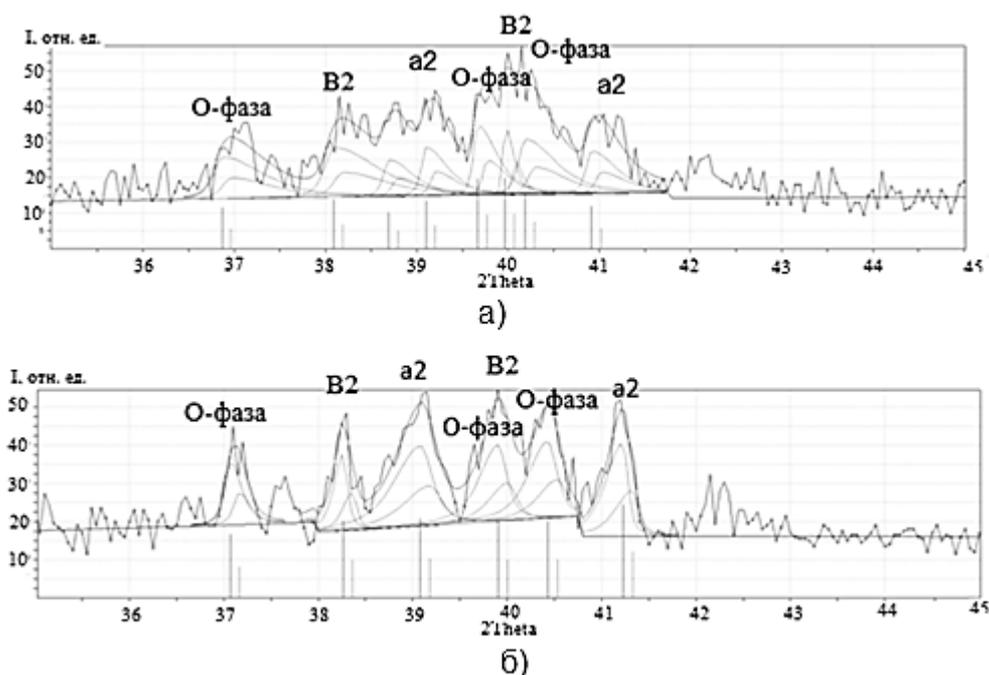


Рисунок 3 – Дифракционные отражения от основных плоскостей фаз спеченного продукта из облученной механоактивированной смеси (а) и продукта после облучения с $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр (б)

Можно предположить, что дополнительное γ -облучение в спеченном продукте при сохранении фазового состава способствует формированию особого радиационно-индуцированного состояния, идентифицированного по расщеплению дифракционных

рентгеновских максимумов, упорядочению структурного состояния наблюдаемых соединений, формированию из них отдельных кластеров, что характеризуется изменением форм и параметров пиков на дифрактограммах после гамма-облучения [3].

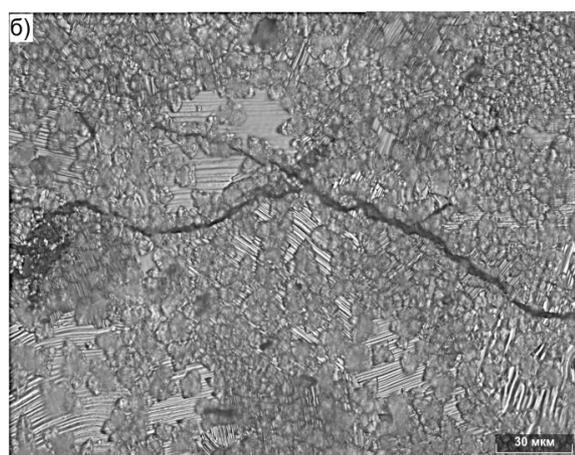
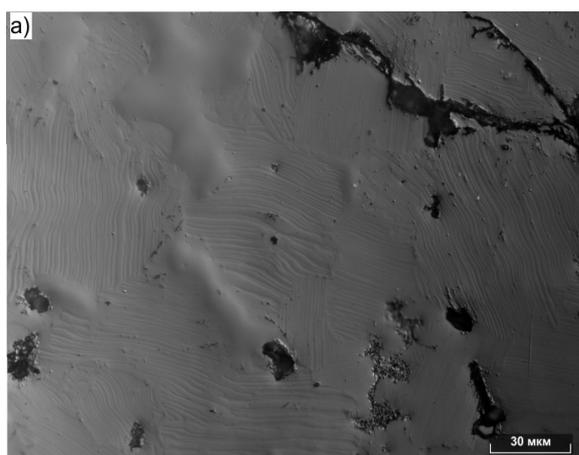


Рисунок 4 – Микроструктуры SPS-продуктов из облученной механоактивированной смеси (а) и продукта после воздействия γ -облучения с дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр (б)

О формировании особого состояния после дополнительного γ -облучения уже спеченного SPS-продукта из облученной порош-

ковой смеси Ti + Al + Nb свидетельствуют представленные на рисунке 4 микроструктуры. После дополнительного γ -облучения

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ SPS-СПЕКАНИЕМ

SPS-продукта наблюдается изменение морфологии, проявляющееся в появлении сверхструктуры, представленной областями зародышеобразования кристаллитов и областями разрушения ламеллярной структуры, выявленной после SPS-спекания без дополнительного гамма-облучения. Преимущественный рост микрокристаллитов предположительно направлен по нормали к ламелям и плоскости шлифа (рисунок 4, б).

ВЫВОДЫ

1. После дополнительного воздействия γ -облучения с накопленной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр на спеченный продукт из облученной механоактивированной смеси Ti + Al + Nb фазовый состав сохраняется (O-фаза (Ti_2AlNb), B2 и α_2 (Ti_3Al)). Однако дополнительное воздействие γ -облучения на спеченный продукт способствует формированию особого радиационно-индуцированного состояния, характеризующегося расщеплением дифракционных отражений основных фаз, упорядочению структурного состояния наблюдаемых соединений и формированию из них отдельных кластеров. Также наблюдается изменение морфологии, проявляющееся в появлении сверхструктуры, представленной областями зародышеобразования кристаллитов и областями разрушения ламеллярной структуры.

2. После воздействия дополнительного γ -облучения с накопленной дозой $D\gamma = 5 \cdot 10^6$ Гр на спеченный продукт из механоактивированной необлученной смеси состава Ti + Al + Nb выявлено, что фазовый состав продукта не изменился: Ti_2AlNb , Ti_3Al и B2. Особого радиационно-индуцированного состояния не выявлено, на дифрактограмме, в отличие от предварительно облученной смеси, наблюдаются лишь незначительные изменения формы основных дифракционных отражений, характеризующиеся увеличением их ширины.

Работа проводилась в рамках государственного задания (FZMM-2020-0002) и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Two dimensional γ -irradiation for promoted structural properties of MgB_2 superconductors / M. M. A. Sekkina, K. M. Elsabay / *Physica C*. – 2002. – V. 377. – P. 411–415.
2. Effects of 6 MeV electron irradiation on ZnO nanoparticles synthesized by microwave method / K. B. Sapnar, V. Bhoraskar, S. D. Dhole, L. A. Ghule, K. M. Garadkar // *Proceedings of Particle Accelerator Conference, New York, USA, NY*. – 2011. – P. 1–13.

3. 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. – V. 118 – № 2. – P. 170–175.

4. 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. – V. 26. – № 3. – P. 1671–1678.

5. Radiation-induced plastic deformation and the long-range action effect / V. A. Stepanov, V. S. Khmelevskaya // *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*. – 2011. – V. 56. – № 9. – P. 1272–1276.

6. X-ray diffraction analysis of the influence of the absorbed γ -irradiation dose on Ti_3Al structural characteristics / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov, V. Y. Filimonov, A. V. Sobachkin, A. V. Gradoboev // *Journal of Surface Investigation*. – 2018. – V. 12 – № 3. – P. 480–484.

7. Radiation- and Thermally-Induced Phosphorus Inter-Granular Segregation in Pressure Vessel Steels / Z. Lu, R. Faulkner, R. Jones, P. Flewitt // *Journal of ASTM International*. – 2005. – V. 2. – № 8. – P. 1–15.

8. Радиационно-стимулированное изменение электронной структуры / А. Шалаев, А. Адаменко. – М.: Атомиздат, 1977. – 176 с.

9. Radiation Effects in Solids / K. E. Sickafus, E. A. Kotomin, B. P. Uberuaga // *NATO Science Series*. – 2007. – 235 p.

10. The analysis of the electric heating of the WC-Co hard-alloy under consideration of the temperature dependence / A. Raichenko // *Journal de Physique IV*. – 1993. – Vol. 3. – P. 1235–1239.

11. Физические основы технологии электроимпульсного плазменного спекания: электронное учебно-методическое пособие / М. С. Болдин. – Электрон. текст. дан. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – URL: <http://window.edu.ru/resource/411/79411> (дата обращения 25.07.2020).

12. The effects of forging and rolling on microstructure in O+BCC Ti–Al–Nb alloys / C. J. Boehlert // *Mater. Sci. Eng. A*. – 2000. – V. 279. – P. 118–129.

13. Microstructure controlling by heat treatment and complex processing for Ti_2AlNb based alloys / J.H. Peng, Y. Mao, S.Q. Li, X.F. Sun // *Mater. Sci. Eng. A*. – 2001. – V. 299. – P. 75–80.

14. Formation of structural states in mechanically activated powder mixtures Ti + Al exposed to gamma irradiation / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, V. Y. Filimonov, A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, S. G. Ivanov, A. V. Gradoboev // *Letters on Materials*. – 2018. – V. 8. – № 2. – P. 129–134.

15. 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,

М. В. ЛОГИНОВА, А. В. СОБАЧКИН, А. А. СИТНИКОВ, В. И. ЯКОВЛЕВ,
В. Ю. ФИЛИМОНОВ, А. Ю. МЯСНИКОВ, А. В. ГРАДОБОВЕВ

V. Yu. Filimonov, A. V. Gradoboev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – V. 327. – P. 032051.

Логинава 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: sitalan@mail.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., 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.

Градобоев Александр Васильевич – профессор Отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, д.т.н., ТПУ, e-mail: anicpt@rambler.ru.

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ НАСЫЩЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 5ХНМ БОРОМ И МЕДЬЮ

С. А. Лысых, Ю. П. Хараев, В. Н. Корнопольцев, Хэ Сяо Чжун,
Б. Д. Лыгденев, А. М. Гурьев

Одним из эффективных и действенных методов воздействия на поверхностный слой с целью улучшения физико-механических свойств является химико-термическая обработка (ХТО), в частности – борирование. Целью работы является исследование влияния количества меди в насыщающей среде на формирование диффузионного слоя и высоту микронеровностей (шероховатости) после комплексного насыщения поверхности легированной штамповой стали 5ХНМ бором и медью.

В работе установлено, что в результате комплексного насыщения поверхности стали 5ХНМ бором и медью в порошковой среде с содержанием меди от 9 до 15 %, на поверхности стали получены диффузионные слои толщиной от 140 до 330 мкм, что позволяет вести разработку технологии создания гарантированного припуска для финишной обработки после ХТО ответственных деталей машин и инструмента. Показано, что после комплексного насыщения поверхности стали 5ХНМ бором и медью в порошковой среде с содержанием меди от 9 до 15 % происходит ухудшение шероховатости, при этом взаимосвязи с исходной шероховатостью не отмечено.

Ключевые слова: диффузионный слой, комплексное насыщение, бор, медь, микротвердость, шероховатость.

ВВЕДЕНИЕ

Качество поверхностного слоя является определяющим показателем эксплуатационной работоспособности современных высоконагруженных деталей машин и инструментов. Как известно, к основным характеристикам качества поверхностного слоя относятся твердость и шероховатость, формирование которых определяется различными факторами технологического воздействия в процессе изготовления. Одним из эффективных и действенных методов воздействия на поверхностный слой с целью улучшения физико-механических свойств является химико-термическая обработка (ХТО), в частности – борирование [1, 2]. К настоящему времени в научной литературе достаточно глубоко рассмотрены различные аспекты борирования широкого спектра сталей [3–11]. Однако более широкое применение методов ХТО, особенно для ответственных деталей машин и инструмента, сдерживается отсутствием исследований в направлении возможности финишной обработки поверхностей, подвергнутых упрочнению. В этом направлении значительный интерес представляют методы комплексного насыщения поверхности бором с различными элементами, дающими возможность получать диффузионный слой, часть которого можно рассматривать в качестве припуска под шлифование. В научной лите-

ратуре слабо освещены вопросы влияния диффузионного насыщения на шероховатость поверхности легированных сталей. Особую актуальность представляют исследования в отношении инструментальных сталей, где остро стоит вопрос необходимости сохранения твердости и геометрической точности рабочей поверхности в условиях циклических, тепловых и динамических нагрузок.

Целью данной работы является исследование влияния добавок меди в насыщающую среду на формирование диффузионного слоя и высоту микронеровностей (шероховатости) после комплексного насыщения поверхности легированной штамповой стали 5ХНМ бором и медью.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс диффузионного насыщения проводился в порошковой среде. Исследуемые образцы помещали в контейнеры и заполняли порошковой насыщающей смесью. Диффузионное насыщение проводилось в камерной печи при температуре 950 °С (1223 К), время выдержки составило 4 часа. Далее контейнеры извлекались из печи, охлаждались на воздухе, для очистки от остатков насыщающей смеси образцы промывались под струей воды, затем следовала подготовка шлифов для металлографических исследований. Металлографические исследова-

дования проводили на оптическом микроскопе «Neophot-21». Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3. Нагрузка на алмазную пирамидку составила 100 грамм. Для исследования влияния борирования из насыщающей смеси, содержащей от 9 до 15 % меди на шероховатость поверхности, использовались образцы из стали 5ХНМ. Образцы предварительно подвергали механической обработке (фрезерование и шлифование) на различную шероховатость, и только после этого осуществлялось диффузионное насыщение бором и медью. После химико-термической обработки образцы очищали от остатков насыщающей смеси и проводили измерения шероховатости упрочненных по-

верхностей на приборе *SURFTTESTSJ-201*. На поперечных шлифах изучали структуру и состав упрочненного диффузионного слоя и переходной зоны в направлении от поверхности к сердцевине образца. Элементный анализ проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) с элементным дисперсионным анализом Jeol JCM-6000.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования особенностей формирования диффузионных слоев при комплексном насыщении бором и медью поверхности стали 5ХНМ использовались насыщающие смеси с различным содержанием меди.

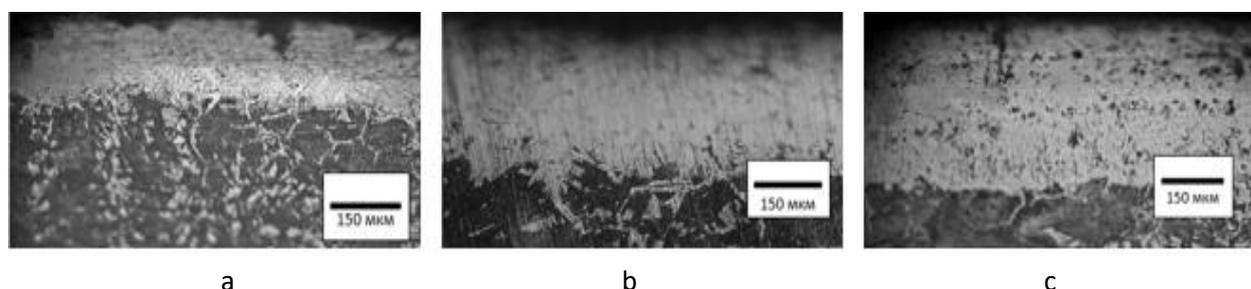


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя на стали 5ХНМ при различном содержании меди в составе: а – состав 1 с 9 % меди; б – состав 2 с 12 % меди; в – состав 3 с 15 % меди

Фотографии микроструктуры, показанные на рисунке 1, позволяют констатировать наличие сформированного диффузионного слоя. На рисунке 1, а зафиксирован диффузионный слой в пределах 130–140 мкм с достаточно заметной переходной зоной и следами явно выраженной направленной диффузии в сторону подложки. На рисунке 1, в

наблюдается игольчатая структура, характерная для боридных слоев и толщиной слоя до 200 мкм. Наибольшая толщина диффузионного слоя до 300–330 мкм зафиксирована на образцах, подвергнутых диффузионному насыщению с наибольшим содержанием меди, при этом структура слоя характеризуется наличием пор (рисунок 1, с).

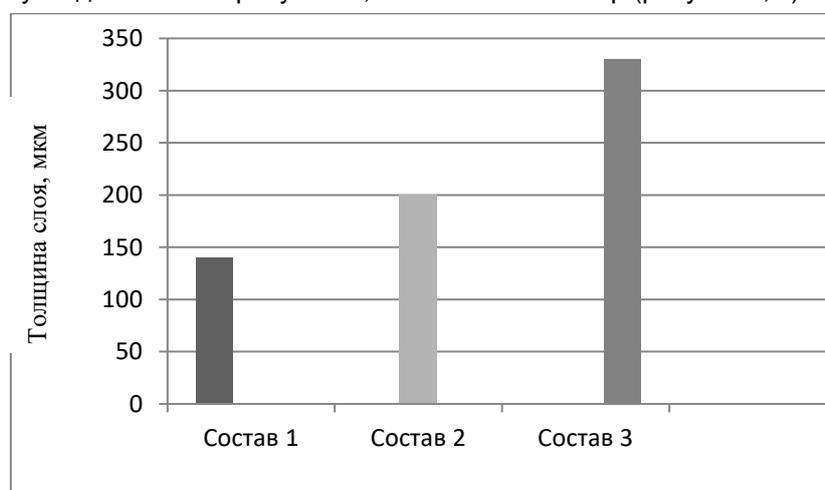


Рисунок 2 – Величина диффузионного слоя в зависимости от состава насыщающей смеси: состав 1 – 9 % меди; состав 2 – 12 % меди; состав 3 – 15 % меди

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ НАСЫЩЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 5ХНМ БОРОМ И МЕДЬЮ

Результаты измерения толщины диффузионного слоя, представленные на рисунке 2, наглядно демонстрируют, что при изменении содержания меди в смеси с 9 до 15 % происходит изменение величины диффузионного слоя от 140 до 330 мкм. Таким образом, можно утверждать, что увеличение содержания меди в указанных пределах в составе насыщающей смеси способствует ускорению диффузионных

процессов и увеличению толщины диффузионного слоя на поверхности стали 5ХНМ, что хорошо согласуется с ранее полученными результатами на других сталях [4, 5, 8].

Микроструктура, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6000, и элементный анализ диффузионного слоя представлены на рисунках 3–4.

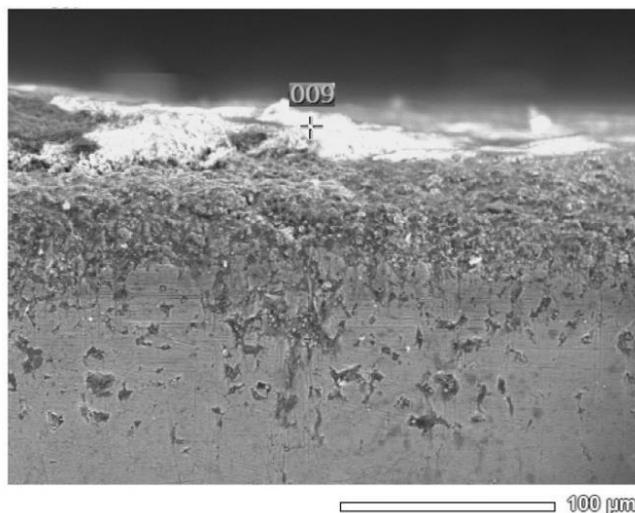


Рисунок 3 – Точка спектра, исследуемая на наличие меди и бора в диффузионном слое при использовании состава 1 (СЭМ)

Таблица 1 – Элементный состав в анализируемой точке

%	Точка Спектра	Элементный состав				
		B	Fe	Ni	Cu	Mo
Ат. вес.	009	4,38	44,48	0,58	35,99	0,47

Указанная точка спектра содержит 4,38 % бора, а также оксид бора 14,10 %, мо-

либдена 0,47 % и никеля 0,58 %. Наличие меди на поверхности составляет 35,99 %.

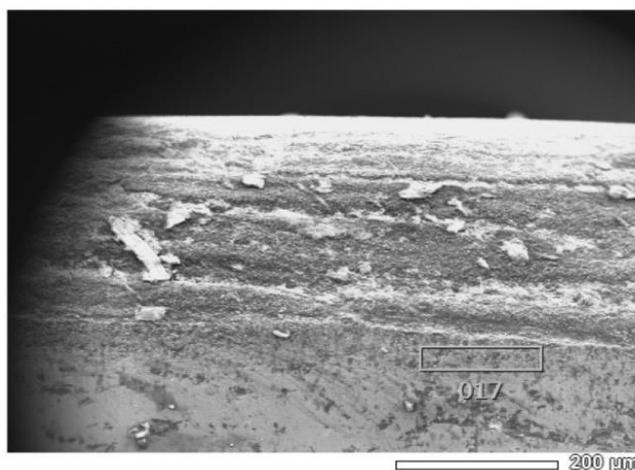


Рисунок 4 – Область исследования на наличие бора и наличие меди в диффузионном слое при использовании состава 3 (СЭМ)

Таблица 2 – Элементный состав в анализируемой области

%	Точка Спектра	Элементный состав						
		B	Fe	Ni	Cu	Mo	Al	C
Ат. вес.	017	6,01	48,65	1,38	1,24	1,22	3,16	16,03

При использовании состава 3 концентрация бора в точке спектра 017 составила 6,01 %. Концентрация меди – 1,24 %.

Таким образом, элементный анализ показывает наличие основных легирующих элементов, соответствующих химическому составу стали 5ХНМ. Необходимо отметить, что с увеличением в составе насыщающей смеси количества меди от 9 до 15 %, наблюдается увеличение концентрации бора с 4,38 до 6,01 %, что еще раз подтверждает известные из литературы данные о том, что медь активизирует диффузию бора [4, 5, 8].

Результаты исследования микротвердости полученных диффузионных слоев представлены на рисунке 5. Из приведенной диаграммы отчетливо видна тенденция к снижению микротвердости по глубине от поверхности до основного металла, где микротвердость достигает значений в пределах 3500–

4000 МПа, что соответствует стандартным значениям для стали 5ХНМ в данном состоянии. Анализ распределения микротвердости по глубине диффузионного слоя на образцах, соответствующих составу 2 и 3 в диапазоне от 130 до 200 мкм, показывает заметное увеличение микротвердости, на графике выраженное в виде пика. Наблюдаемый перегиб на кривой микротвердости, соответствующий образцам с более высоким содержанием меди в насыщающем составе, дает основания говорить о возможности применения финишной обработки со снятием слоя до 150–200 мкм без значительных потерь свойств присущих диффузионным слоям. Такая возможность позволяет значительно расширить область применения химико-термической обработки в сторону ответственных деталей машин и инструмента, имеющих жесткие требования к полям допусков.

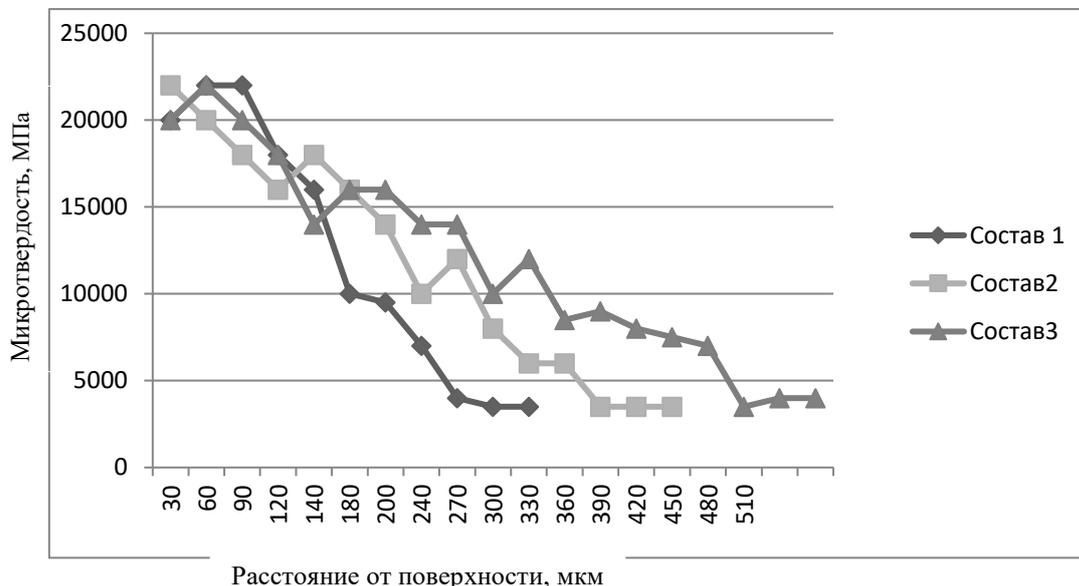


Рисунок 5 – Распределение микротвердости по глубине диффузионного слоя

При исследовании формирования шероховатости при боромеднении высоту микронеровностей измеряли прибором SURFTEST SJ-210 до насыщения поверхности и после. При этом в начале поверхность образцов подвергалась механической обработке на

заданную шероховатость. Данные о величине исходной шероховатости и результаты исследования влияния комплексного насыщения поверхности бором и медью на шероховатость поверхности плоских образцов из стали 5ХНМ приведены в таблице 3.

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ НАСЫЩЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 5ХНМ БОРОМ И МЕДЬЮ

Таблица 3 – Шероховатость поверхности образцов стали 5ХНМ до и после ХТО

Номер состава	Номер образца	Шероховатость поверхности (R_z) (мкм)	
		Исходная	После насыщения бором и медью
Состав 1	1	0,10	2,88
	2	0,11	2,35
Состав 2	3	0,05	2,48
	4	0,09	2,30
Состав 3	5	0,08	3,34
	6	0,05	4,53

Необходимо отметить, что наибольшее увеличение высоты микронеровностей после ХТО наблюдается на образцах 5 и 6, где для ХТО использовался насыщающий состав 3 с наибольшим содержанием меди. Таким образом, можно утверждать, что с увеличением

содержания меди в насыщающем составе увеличивается как толщина диффузионного слоя, так и его шероховатость. По всей вероятности, это является следствием того, что медь способствует активации диффузионных процессов.

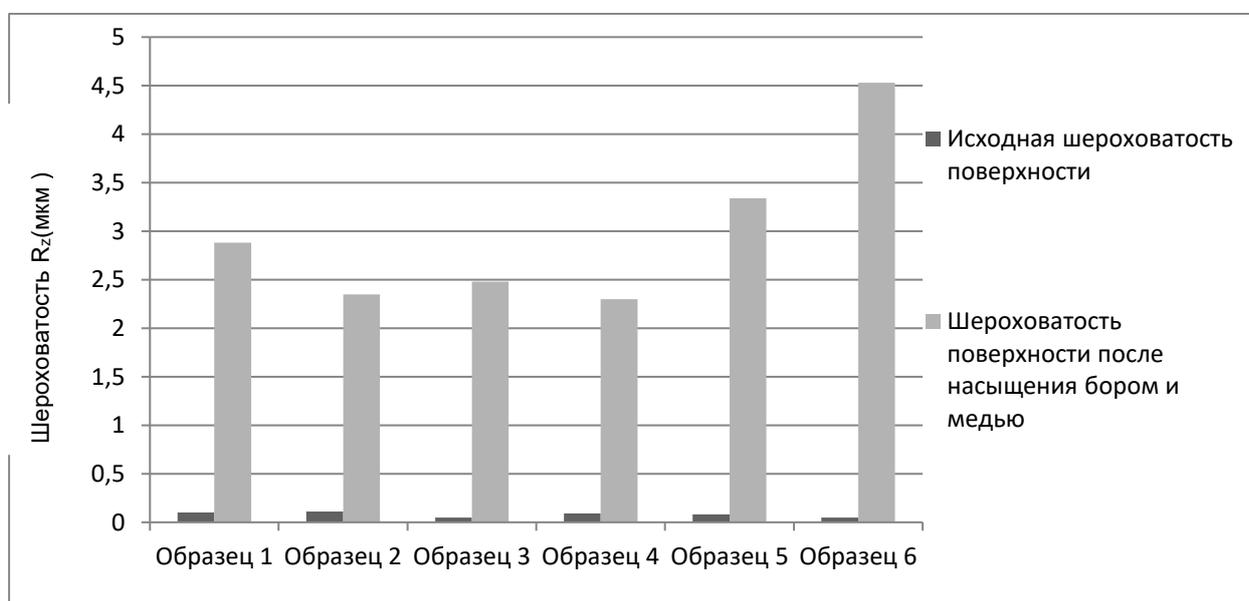


Рисунок 6 – Изменение шероховатости поверхности стали 5ХНМ до и после комплексного насыщения бором и медью

Изучение результатов изменения шероховатости поверхности показали, что после проведения химико-термической обработки поверхности стали 5ХНМ в порошковой среде с использованием составов с разным содержанием меди, высота микронеровностей резко увеличивается, т. е. шероховатость поверхности после ХТО в целом заметно ухудшается. При этом, какой-либо корреляции с исходной высотой микронеровностей не отмечается.

ВЫВОДЫ

Показано, что после комплексного насыщения поверхности стали 5ХНМ бором и медью в порошковой борлирующей среде с добавлением меди от 9 до 15 % происходит уве-

личение шероховатости, при этом взаимосвязи с ее исходной величиной не отмечено.

Установлено, что в результате комплексного насыщения поверхности инструментальной штамповой стали 5ХНМ бором и медью в порошковой борлирующей среде с содержанием меди от 9 до 15 % на поверхности стали формируются диффузионные слои толщиной от 140 до 330 мкм, что позволяет вести разработку технологии создания гарантированного припуска для финишной обработки после ХТО ответственных деталей машин и инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. A. Dearnley, T. Bell Engineering the surface with boron-based materials // Surface Engineering. –1985. – V.1. – № 3. – P. 203–217.

2. Л. Г. Ворошнин, Л. С. Ляхович. Борирование стали. – М. : Металлургия, 1978. – 239 с.

3. А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова [и др.]. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. – Барнаул, 2008. – 250 с.

4. С. А. Лысых, Ю. П. Хараев, В. Н. Корнопольцев, В. А. Бутуханов. Исследование формирования диффузионных слоев на стали 20 при одновременном насыщении бором и медью // Современные наукоемкие технологии. – М. : 2018. – Вып. 9. – С. 56–60.

5. Ю. П. Хараев, В. Н. Корнопольцев, С. А. Лысых. Определение состава смеси при поверхностном упрочнении стали бором и медью // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 142–144.

6. А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009. – № 1 (42). – С. 14–15.

7. А. М. Гурьев, Ю. П. Хараев, А. А. Колядин, О. В. Шаметкина. Литые штампы для горячего объемного деформирования и особенности их термической и химико-термической обработки // Литейное производство. – 2004. – № 1. – С. 8.

8. А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. Ю. Малькова. Титанирование углеродистых сталей в порошковых смесях, содержащих медь // Metallurgy машиностроения. – 2004. – № 1. – С. 28.

9. А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, А. А. Долгоров. Структура и свойства, упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ И 5Х2НМВФ // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. – Т. 7. – № 1. – С. 27–31.

10. А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, Е. В. Черных. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической обработке инструментальных сталей // Фундаментальные проблемы современного ма-

териаловедения. – 2005. – Т. 2. – № 3. – С. 37–45.

11. Б. Д. Лыгденов, А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, В. А. Бутуханов, Ч. Чжу. Формирование диффузионного слоя на рабочей поверхности инструмента, работающего в условиях динамического износа // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58. – № 2. – С. 117–120.

Лысых Степан Алексеевич, аспирант ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, e-mail: lysyh.stepa@yandex.ru.

Хараев Юрий Петрович, д.т.н., декан электротехнического факультета ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, e-mail: kharaev@inbox.ru.

Корнопольцев Василий Николаевич, к.т.н., с.н.с., Бурятского научного центра СОРАН, г. Улан-Удэ, e-mail: kompro@mail.ru.

Хэ Сяо Чжун, ген. директор Синчанского завода подшипников, г. Синчан, Китай, e-mail: lygdenov59@mail.ru.

Лыгденов Бурьял Дондокович, д.т.н., профессор Уханьского текстильного университета, г. Ухань, Китай, e-mail: lygdenov59@mail.ru.

Гурьев Алексей Михайлович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой НГИГ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул; профессор Уханьского текстильного университета, г. Ухань, Китай, e-mail: gurievam@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ НА ЕЁ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Е. А. Письменный, А. М. Марков, Д. А. Габец

При конструировании и изготовлении стальных изделий, работающих в условиях ударно-фрикционного износа, особое внимание уделяется не только конструкции изделия, но и таким свойствам, как ударная вязкость и твердость материала, из которого это изделие изготовлено. Для обеспечения высоких показателей ударной вязкости и износостойкости, помимо химического состава стали, необходимо учитывать способ термической обработки, при котором полученная сталь будет иметь наилучшее сочетание прочности и ударной вязкости. В статье предложен состав стали, полученной путем переплава стального лома. Исследованы зависимости влияния содержания углерода на твердость и ударную вязкость при различных режимах термической обработки. Определены режимы термической обработки полученной стали, обеспечивающие высокие показатели ударной вязкости и стойкости в условиях ударно-фрикционного износа. Результатом работы является получение оптимального режима термической обработки стали 50СЛ, обеспечивающего уровень ударной вязкости 85–92 Дж/см² при твердости 250±20 НВ.

Ключевые слова: закалка, сталь, ударная вязкость, легирование, термическая обработка, твердость стали, прочность.

Целью настоящего исследования является определение оптимального химического состава исходной шихты и конечного продукта в виде стали для производства деталей сельскохозяйственного и железнодорожного назначения. Помимо химического состава надо также определить способ термической обработки, при котором полученная сталь будет иметь наилучшее сочетание прочности и ударной вязкости, необходимые для работы в условиях ударно-фрикционного износа [1–6]. По данным нормативно-технической документации, такие стали должны иметь твердость в диапазоне 180–240 НВ и ударную вязкость не менее 49 Дж/см². С учетом минимальной себестоимости изготовления и схожести технико-эксплуатационных свойств детали, полученные из вторичного сырья, способны иметь конкурентные преимущества в сравнении с деталями, получаемыми из проката и первичного сырья (руды).

Для проведения исследований экспериментальную сталь выплавляли в дуговой печи с основной футеровкой, емкостью 150 кг. Раскисление стали алюминием, а также ее модифицирование проводились в ковше. Элементный анализ полученной стали определяли на стационарном эмиссионном спектрометре АРГОН-5СФ по ГОСТ 18895-97. Содержание углерода подтверждали химическим методом по ГОСТ 22536.1-88.

В качестве основного материала шихты использовался стальной лом из бывших в употреблении литых деталей грузового вагона из марок сталей 20ГЛ, 20ГФЛ, 20ГТЛ – рама боковая, балка надрессорная, автосцепка, хомут тяговый, корпус буксы и др., а также

стальной лом из бывших в употреблении пружин (марки стали: 55С2, 60С2, 55С2А, 60С2А, 60С2ХА, 60С2ХФА, 65С2ВА) в различных пропорциях. По результатам экспресс-анализа получаемый в печи расплав доводился до требуемой марки стали путем дополнительного легирования, при этом степень дополнительного легирования оставляли возможно минимальной. Степень легирования углеродом изменяли в пределах от 0,05 до 0,5 с шагом 0,05 масс. %, степень легирования кремнием при этом удерживали на уровне 1,78±0,087 масс. %. Степень легирования остальными элементами удерживали на следующем уровне: Mn – 0,526±0,047, Cr – 0,201±0,010, Ni – 0,086±0,011, Al – 0,115±0,006, Cu – 0,10±0,017 масс. %. Содержание серы и фосфора не превышало допустимых значений. Также была выплавлена аналогичная сталь, отличающаяся тем, что содержание меди в ней составило на уровне 0,35±0,063 масс. % [7–10].

Для всех вариантов полученных сталей определены следующие режимы термической обработки:

1. Нагрев образцов до 910 °С, выдержка 90 минут, охлаждение с печью (режим № 1);
2. Нагрев образцов до 950 °С, выдержка 90 минут, охлаждение на спокойном воздухе (режим № 2);
3. Нагрев образцов до 860 °С, выдержка 90 минут, охлаждение в масле, отпуск при 280 °С в течение 1,5 ч (режим № 3);
4. Нагрев образцов до 910 °С, выдержка 90 мин, охлаждение в масле, отпуск при 280 °С в течение 1,5 ч (режим № 4).

Режимы термической обработки были выбраны исходя из экономических соображений и в результате анализа литературных источников [1–3, 6–10]. Термическую обработку проводили в камерных печах типа СНОЛ, оборудованных ПИД-контроллерами.

Эксперименты по определению ударной вязкости проводились в соответствии с ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (с Изменениями № 1, 2)», на образцах типа 1 (размеры образцов 10x10x55 мм с концентраторами U-образной формы глубиной 2 мм). Испытания были выполнены на маятниковом копре Metrosomc максимальной энергией удара 300 Дж. Образцы для испытаний вырезались на электроэрозионном станке Sodick AG400L. Для определения каждого значения использовалось не менее трех образцов, получен-

ные результаты усреднялись. Определение твердости производили на твердомере ТШ-2М по методу Бринелля не менее 5 раз, полученные результаты усреднялись.

Зависимость ударной вязкости от степени легирования некоторыми элементами показана на рисунках 1–4. Приведенные на этих рисунках графики являются результатом математической обработки экспериментальных данных по оптимизации химического состава стали в программном пакете «Statisticav 6.0» [11–14]. Целевой функцией при обработке данных была выбрана ударная вязкость. В качестве ограничивающей функции – твердость. При этом за оптимум целевой функции было взято максимально возможное значение КСЧ, а оптимальное значение твердости должно было находиться в интервале 180–240 НВ [15–17].

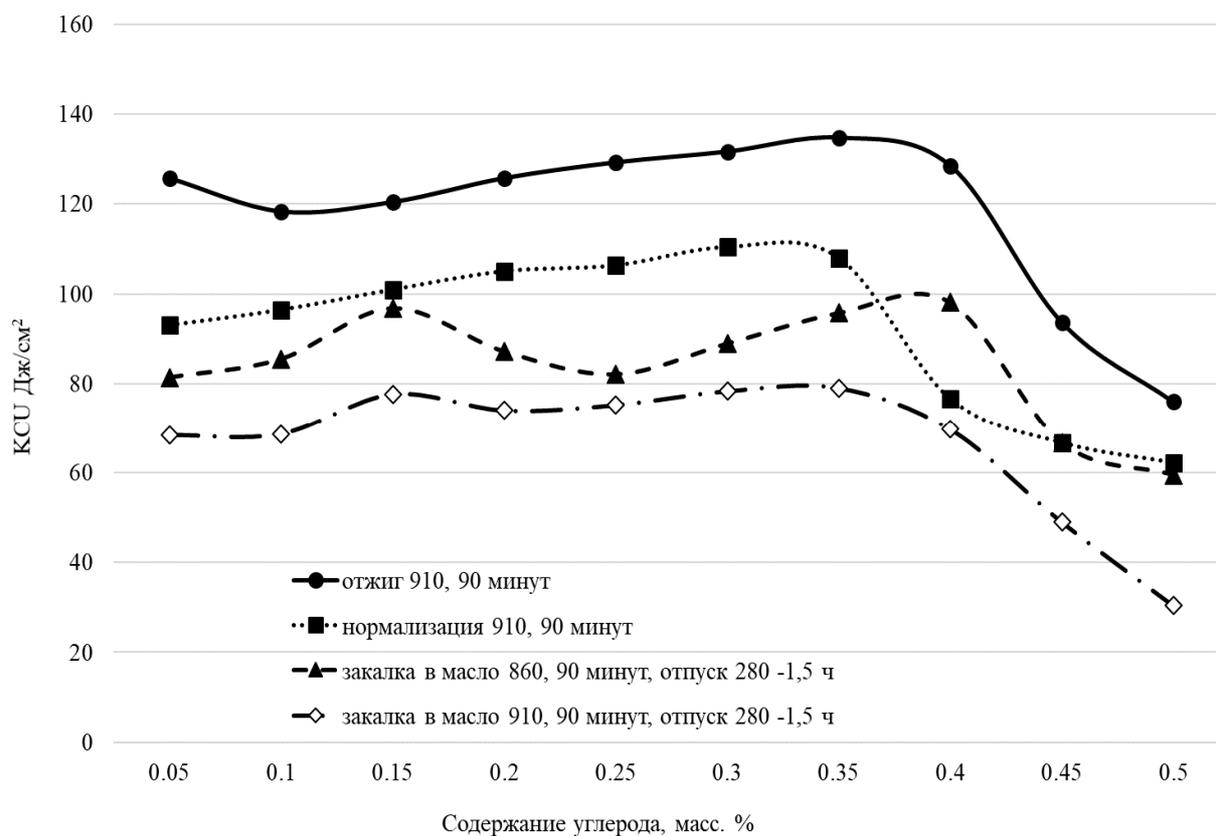


Рисунок 1 – Влияние углерода на ударную вязкость стали при различных режимах термообработки. Содержание меди – 0,35 масс. %

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ
НА ЕЁ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

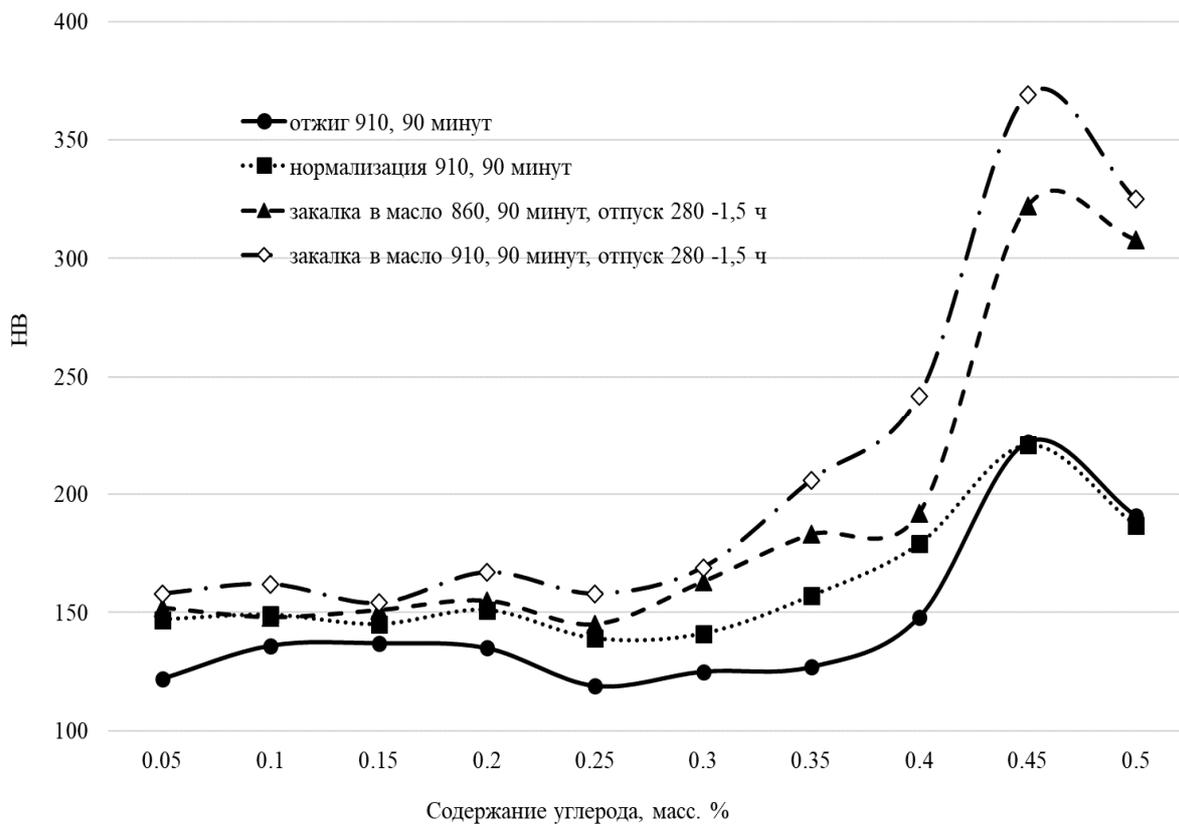


Рисунок 2 – Влияние углерода на твердость стали при различных режимах термообработки. Содержание меди – 0,35 масс. %

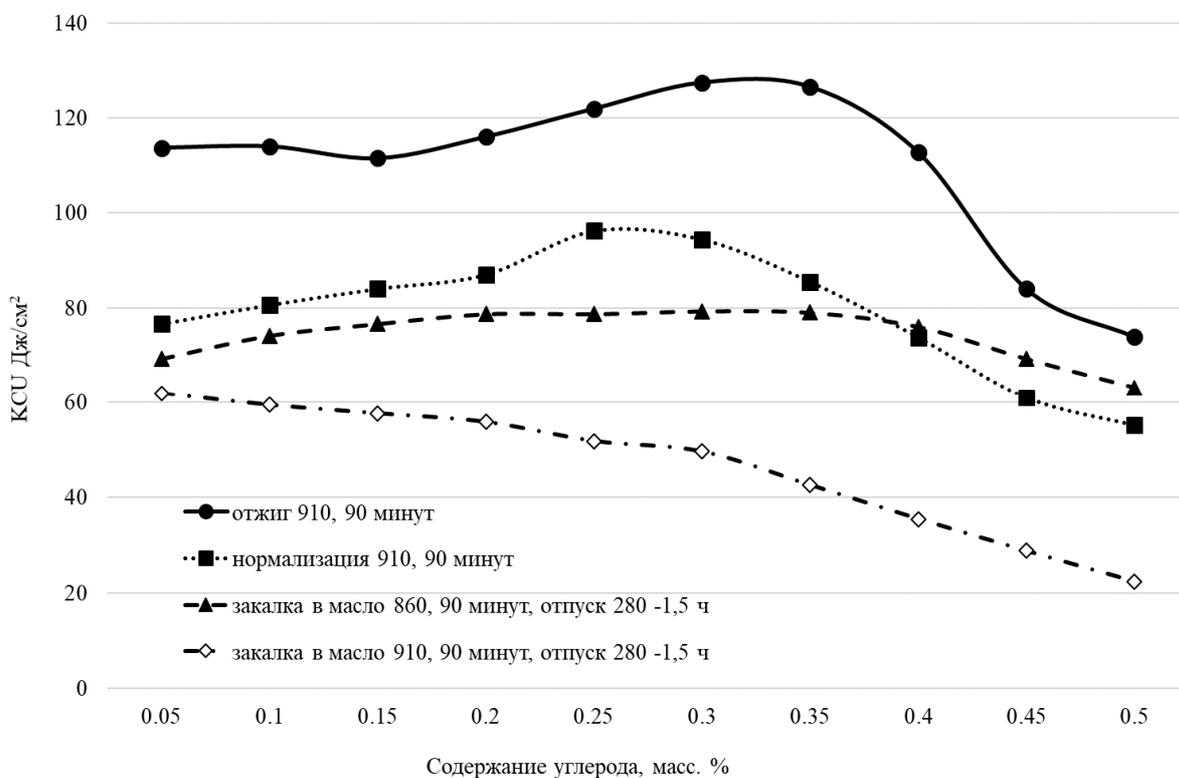


Рисунок 3 – Влияние углерода на ударную вязкость стали при различных режимах термообработки. Содержание меди – 0,10 масс. %

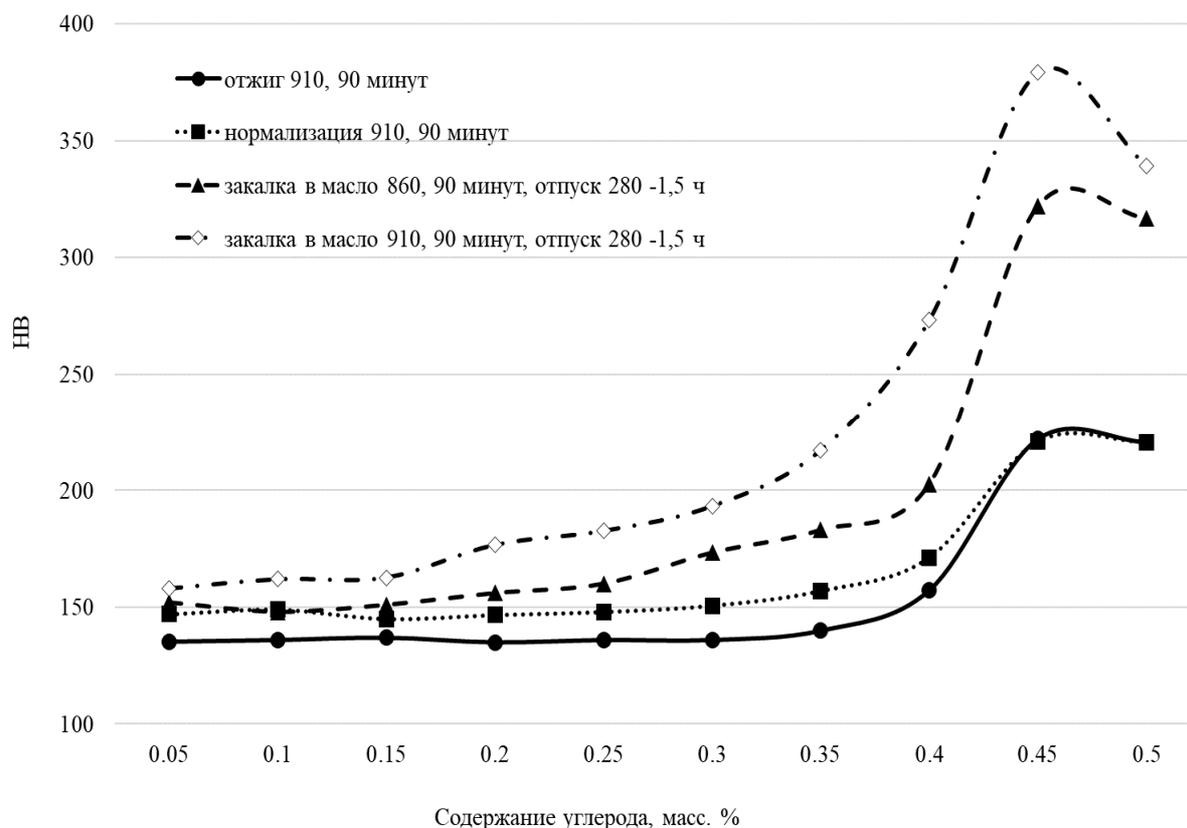


Рисунок 4 – Влияние углерода на твердость стали при различных режимах термообработки. Содержание меди – 0,10 масс. %

Как видно из приведенных на рисунках 1–4 графиков, повышение содержания меди до 0,35 масс. %, повышает ударную вязкость на 5–7 % в диапазоне концентраций углерода от 0,1 до 0,45 масс. %. Твердость при этом снижается на 3–5 %. Согласно проведенным на основе экспериментальных данных расчетам в программном комплексе «Statisticav 6.0», оптимальный состав стали для достижения максимального значения КСЧ при интервале твердости 180–240 НВ должен соответствовать: 0,37±0,05 масс. % углерода, 0,3±0,03 масс. % меди, 1,5±0,2 масс. % кремния, марганец – на уровне 0,5 масс. %, хром и никель – не более 0,2 и 0,055 масс. % соответственно. Сера и фосфор – соответственно не более 0,035 масс. % по каждому из элементов.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальным режимом термической обработки стали 50СЛ будет режим № 3 – нагрев в печи до 860 °С, выдержка при этой температуре 90 минут, охлаждение в масле, отпуск при 280 °С в течение 1,5 ч. При этом режиме обеспечивается уровень ударной вязкости 85–92 Дж/см² при твердости 250±20 НВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А. П. *Металловедение : учебник / А. П. Гуляев.* – М. : *Металлургия*, 1977. – 647 с.
2. Великоцкий, Р. Е., Лащенина, С. В. Влияние химического состава на механические свойства стали 10хснд // *Вестник КузГТУ.* – 2004. – № 4. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-himicheskogo-sostava-na-mehanicheskie-svoystva-stali-0hsnd> (дата обращения: 02.09.2020).
3. Луценко, В. А., Голубенко, Т. Н., Луценко О. В., Козачек, А. С., Глазунова, Н. А. Влияние химического состава на механические свойства легированной стали // *Литье и металлургия.* – 2018. – № 1 (90). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-himicheskogo-sostava-na-mehanicheskie-svoystva-legirovannoy-stali> (дата обращения: 02.09.2020).
4. NACE MR 0175/ISO 15156-1:2009. Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production – Part 1 : General principles for selection of cracking-resistant materials.
5. Шаповалов, Э. Т., Родионова И. Г., Зайцев А. И. [и др.] Факторы, определяющие коррозионную стойкость и другие потребительские свойства холоднокатаного 160 проката. *Металлургические аспекты повышения комплекса свойств //*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ НА ЕЁ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2009. – № 3. – С. 68–76.

6. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1978. – 390 с.

7. Гольдштейн, Я. Е., Мизин, В. Г. Модифицирование и микролегирование чугунов и стали. – М. : «Металлургия», 1986.

8. Комаров, О. С., Розенберг, Е. В., Урбанович, Н. И. Особенности модифицирования различных типов железоуглеродистых сплавов // Литье и металлургия. – 2015. – № 2 (79). – С. 24–28.

9. Мануев, М. С. Исследование микролегирования, модифицирования и термической обработки стали для ударную вязкость стали 20ГЛ при низких температурах для отливок железнодорожного транспорта : дисс... канд. техн. наук : 05.02.01 / Мануев Максим Сергеевич. – Брянск, 2006. – 181 с.

10. Крылова, С. Е. Оптимизация состава и режимов термической обработки среднелегированной стали для условий сложного износа: дисс... канд. техн. наук: 05.16.01 / Крылова Светлана Евгеньевна. – Орск, 2009. – 199 с.

11. Большаков, В. И., Юшкевич, О. П. Разработка методов расчета весовых коэффициентов влияния элементов химического состава на качество стали // Металлознавство та термічна обробка металів : Науков. та інформ. журн., ПДАБтаА. – Дн-вськ. – 2013. – № 1. – С. 14–27.

12. Большаков, В. И., Юшкевич, О. П. Разработка методов расчета обобщенных показателей отдельных сталей // Металлознавство та термічна обробка металів : Науков. та інформ. журн., ПДАБтаА. – Дн-вськ. – 2013. – № 2-3. – С. 21–35.

13. Информационно-математическое обеспечение оценки влияния химического состава на свойства готового проката / Э. В. Приходько, Д. Н. Тогобицкая, А. С. Козачек [и др.] // Системные технологии. Региональный межвуз. сб. науч. работ. Днепропетровск, 2010. – С. 33–39.

14. Системный подход к выбору оптимального элементного состава стали, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств /

Д. Н. Тогобицкая, В. П. Пиптюк, И. Н. Логозинский [и др.] // Системные технологии. Региональный межвуз. сб. науч. работ. – Днепропетровск, 2015. – С. 91–97.

15. Письменный, Е. А., Габец, А. В., Марков, А. М., Габец, Д. А. Разработка и расчет на прочность новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебания тележки грузового вагона // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5. – <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6485>.

16. Структура и свойства конструкционных сталей после термической обработки в бейнитной области температур / В. М. Счастливец, Ю. В. Калетина, М. А. Смирнов и др. // Деформация и разрушение металлов. – 2011. – № 4. – С. 1–9.

17. Габец, А. В. Современные технологии изготовления крупногабаритных деталей железнодорожного транспорта / А. В. Габец, А. М. Марков, Е. О. Чертовских, Д. А. Габец. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2016. – 126 с.

Письменный Евгений Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: pystmennyi.eug@gmail.com.

Марков Андрей Михайлович, доктор техн. наук, профессор кафедры ТМ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: andmarkov@inbox.ru.

Габец Денис Александрович, инженер НИС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: gabets22@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ Ti–Al–Nb НА МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ПОРШНЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

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

Настоящая работа посвящена определению жаростойкости газодетонационных покрытий на основе СВС порошков состава Ti–Al–Nb. С помощью установки «Катунь М» были получены покрытия из интерметаллидных порошковых материалов Ti–Al–Nb на модельных образцах из поршневого алюминиевого сплава. В качестве детонирующего состава использовалась смесь пропан-бутана и кислорода. По результатам исследования установлено, что после 400 и 500 циклов напыления в обоих случаях сформированы равномерные многофазные покрытия, состоящие из интерметаллических соединений: $TiAl_3$, $TiAl$, Ti_3Al , Nb_2Al . Отжиг каждого напыленного образца производился в муфельной печи в воздушной среде при температурах 300 °С, 450 °С и 550 °С в течение часа. Сохранение фазового состава при температурах до 550 °С свидетельствует о жаростойкости покрытий при данных температурах. В ходе работы установлено, что покрытия на основе интерметаллидных СВС-порошковых материалов состава Ti–Al–Nb будут способны защитить поршень от прогара и других вредных факторов повышенного термического воздействия, т. к. температуры поршня, а именно самой горячей его части – днища, практически 2 раза ниже максимальной температуры, при которой проводились испытания.

Ключевые слова: СВС-порошковые материалы, Ti–Al–Nb, поршневой алюминиевый сплав, детонационно-газовое напыление, жаростойкость.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение жаростойкости и увеличение ресурса деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является одной из важных проблем автомобильной индустрии, для успешного решения которой требуется постоянное увеличение жаростойкости сплавов, улучшение качества и технологии изготовления деталей. Одной из нагруженных деталей ДВС является поршень. Помимо высокого давления и больших инерционных нагрузок, на поршень также действуют нагрузки тепловые, возникающие в результате трения и сгорания топливовоздушной смеси [1].

С целью усовершенствования работы поршня его поверхности зачастую подвергают различным типам обработки [2, 3], а также наносят различные виды покрытий [4]. Для решения задачи увеличения жаростойкости с целью повышения ресурса поршня ДВС, предлагается использовать технологию детонационно-газового напыления [5]. Покрытия, полученные данным способом, обладают значительной износостойкостью, высокой твердостью, жаростойкостью и существенной эрозионной стойкостью [6]. Покрытия состава Ti–Al–Nb, полученные из предварительно механоактивированных, а затем синтезированных интерметаллических порошковых материалов [7, 8], в отличие от широко распро-

страненного нитрида титана, представляются как жаростойкие, способные сохранять свои эксплуатационные свойства при повышенных рабочих температурах. Целью настоящей работы является исследование жаростойкости детонационных покрытий из СВС – порошковых материалов интерметаллического состава Ti–Al–Nb на модельных образцах поршневого алюминиевого сплава.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Для проведения детонационно-газового напыления покрытий в качестве подложек применялся высококремнистый заэвектоидный алюминиевый сплав марки АК21М2,5Н2,5, применяемый при изготовлении поршня двигателей внутреннего сгорания. Очистку образцов (рисунок 1) перед напылением производили пескоструйной воздушно-абразивной обработкой на аппарате пневматического действия АПС-22 [9].

Для напыления использовались порошковые материалы, полученные методом высокотемпературного синтеза (СВС). Для СВС применялись порошки титана ПТХ со средним размером частиц 80 мкм и порошки алюминия АСД-1 со средним размером 20 мкм, легированные ниобием НБП-1а.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ Ti–Al–Nb НА МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ПОРШНЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

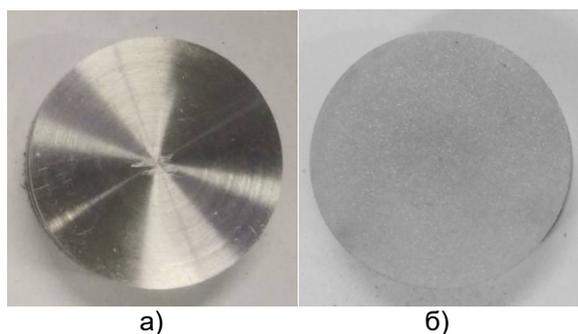


Рисунок 1 – Алюминиевая заготовка:
а) до обработки;

б) после обработки в пескоструйной камере

Из указанных порошков приготавливалась механическую смесь в соотношении Ti 39 ат. % + Al 36 ат. % + Nb 25 ат. %. Затем полученная порошковая смесь подвергалась механоактивированной обработке на планетарной шаровой мельницы АГО-2 с водяным охлаждением [10]. Центростремительное ускорение цилиндров – 40 g, время механоактивации – 7 мин. Для защиты от окисления барабаны с образцами вакуумировались и затем заполнялись аргоном до давления 0,3 МПа. Для реализации СВС в режиме динамического теплового взрыва использовали установку на базе СВЧ индуктора [11]. Механоактивированная смесь засыпалась в графитовый тигель и уплотнялась вместе с терпарой под давлением. После чего тигель помещался в индуктор, находящийся в вакуумной камере. Далее увеличивая мощность

индуктора, инициировали процесс высокотемпературного синтеза путем нагрева смеси высокочастотными электромагнитными полями.

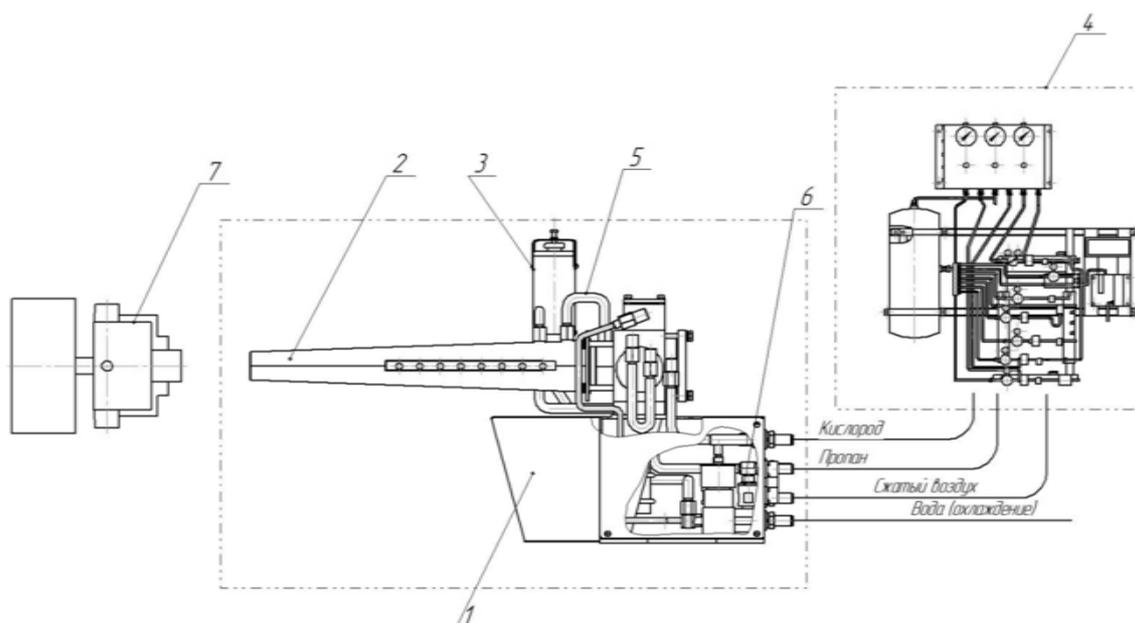
Напыление синтезированных порошковых материалов на модельные образцы алюминиевого сплава производилось на детонационно-газовой установке «Катунь-М» (рисунок 2).

В качестве детонирующего состава использовалась пропан-бутан-кислородная смесь. Детонационное напыление осуществляется путем подачи в канал горючих и окислительных газов в соотношении, близком к стехиометрическому. Нанесение порошковых материалов на поверхность образцов осуществлялось проведением 300, 400 и 500 циклов на каждый образец соответственно.

Фазовый состав образцов исследовался на дифрактометре рентгеновском ДРОН-6, (CuK α -излучение, $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) с для автоматизацией процесса обработки рентнограмм.

Измерение толщины покрытия проводилось с использованием толщиномера ETAR1 ET-555 pro (погрешность измерения менее 3 %). Отжиг каждого напыленного образца производился в муфельной печи в воздушной среде, при температурах 300 °С, 450 °С и 550 °С в течение часа.

Вес образцов контролировали на лабораторных аналитических весах CE224-С.



1 – система зажигания; 2 – собственно блок напыления установки; 3 – дозатор порошковый;
4 – станция газораспределения; 5 – свеча зажигания; 6 – система охлаждения;
7 – манипулятор для перемещения детали

Рисунок 2 – Схема детонационной установки

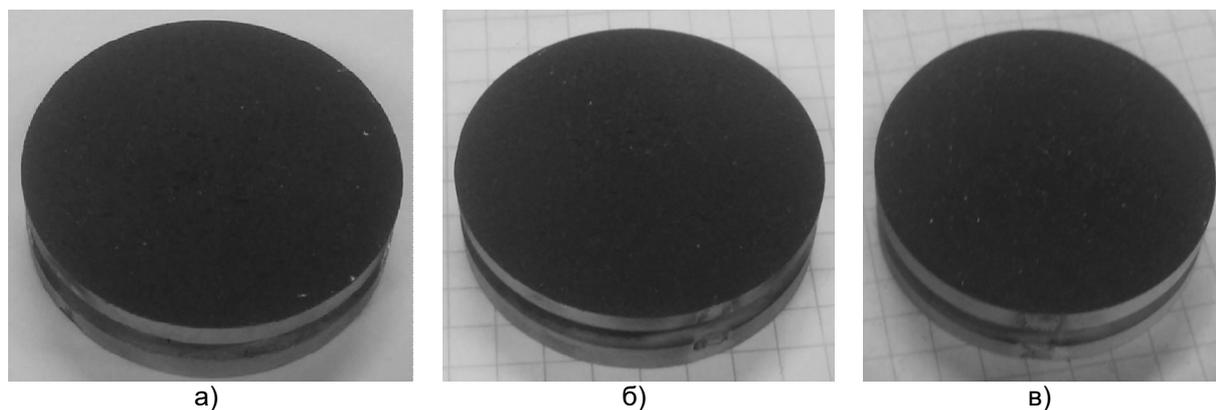
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рисунке 3 представлены образцы после 300, 400 и 500 циклов напыления соответственно.

В таблице 1 представлены измерения толщины покрытий.

На дифрактограмме, снятой с образца № 1 (300 циклов напыления), наблюдаются

только отражения, соответствующие Al, т. е. подложки, свидетельствующие о том, что толщина сформировавшегося покрытия (27 мкм) не достаточна для исследования фазового состава. Поэтому последующий отжиг проводили на образцах с большим количеством циклов напыления.

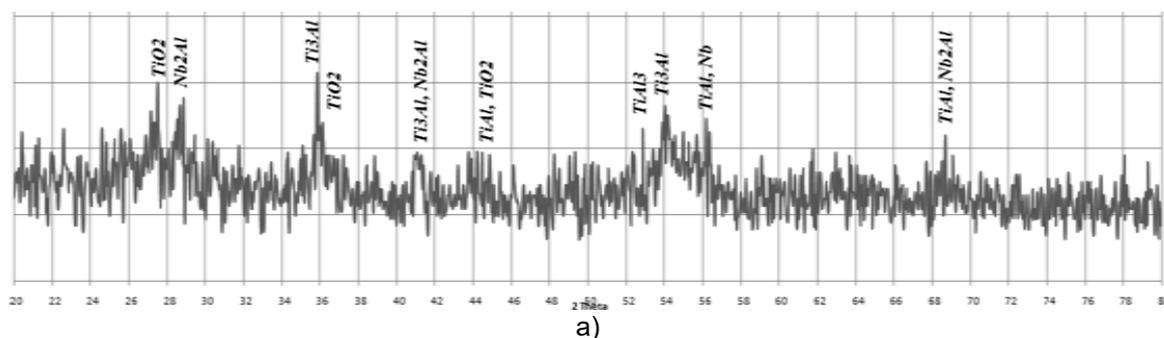


а) 300 циклов напыления; б) 400 циклов напыления; в) 500 циклов напыления

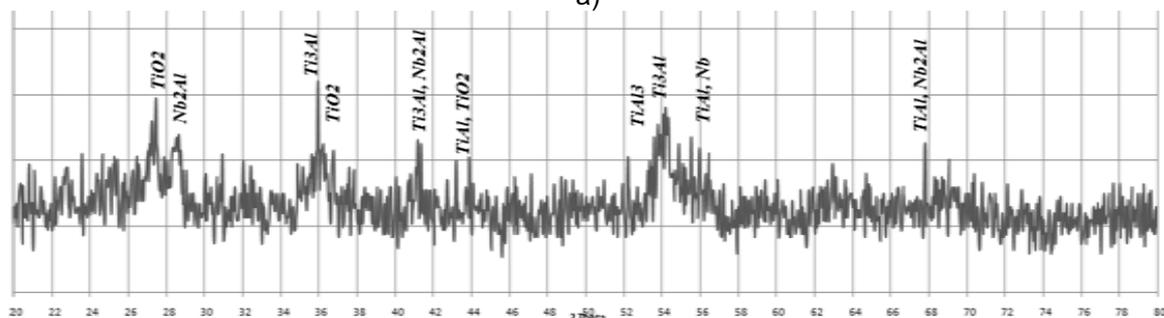
Рисунок 3 – Напыленные образцы:

Таблица 1 – Результаты измерения толщины покрытий

№ образца	Количество циклов напыления	Толщина покрытия по трем замерам, мкм			Средняя толщина, мкм
1	300	22	26	33	27
2	400	72	87	83	81
3	500	149	198	157	168



а)



б)

Рисунок 4 – Образец 2 (400 циклов напыления): а) до отжига; б) после отжига при T = 550 °C

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ Ti–Al–Nb НА МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ПОРШНЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

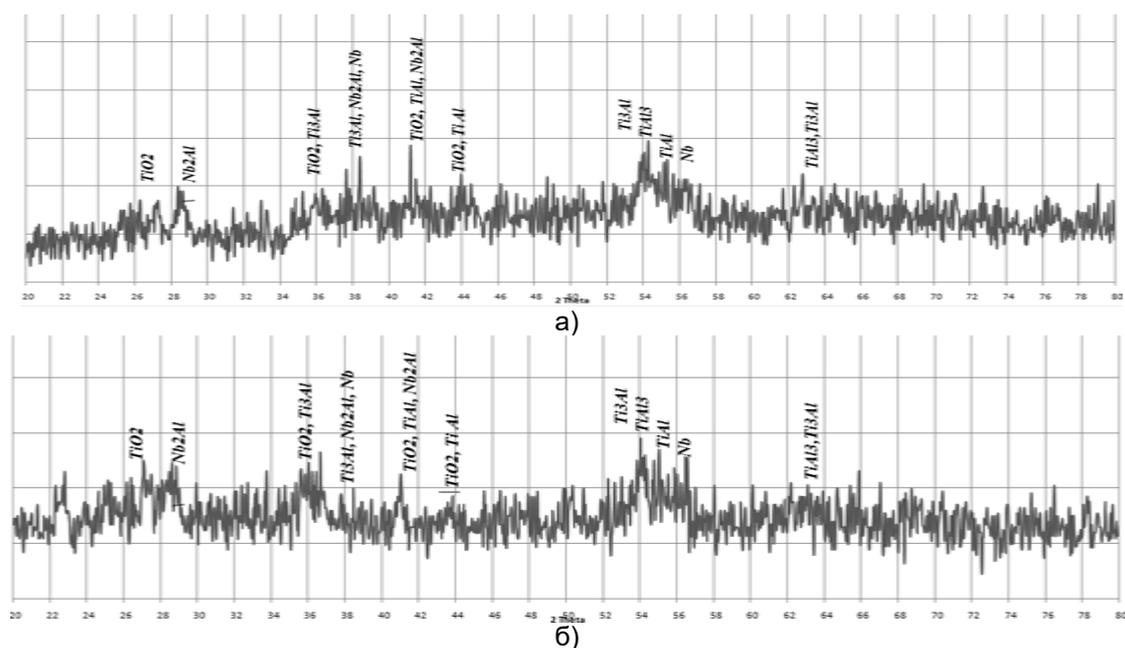


Рисунок 5 – Образец 3 (500 циклов напыления): а) до отжига; б) после отжига при $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рисунках 4, 5 представлены дифрактограммы с образцов № 2 (400 циклов) и № 3 (500 циклов), снятые до и после отжига при $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рентгенофазового анализа следует, что в обоих образцах после напыления идентифицируется многофазовый состав покрытий. Покрытия состоят из интерметаллических соединений: TiAl_3 , TiAl , Ti_3Al , Nb_2Al , находящихся в неравновесном состоянии, и остаточный Nb. Также наблюдается небольшое количество TiO_2 . Уширенные отражения со-

единений с низкой интенсивностью качественно свидетельствуют о высоком уровне микронапряженного состояния покрытий, возникших в результате напыления.

После проведенного отжига изменений на дифрактограммах не наблюдается. Сохранение фазового состава при $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ свидетельствует о жаростойкости покрытий при данной температуре. На рисунках 6, 7 представлены графики изменения весовых характеристик образцов.

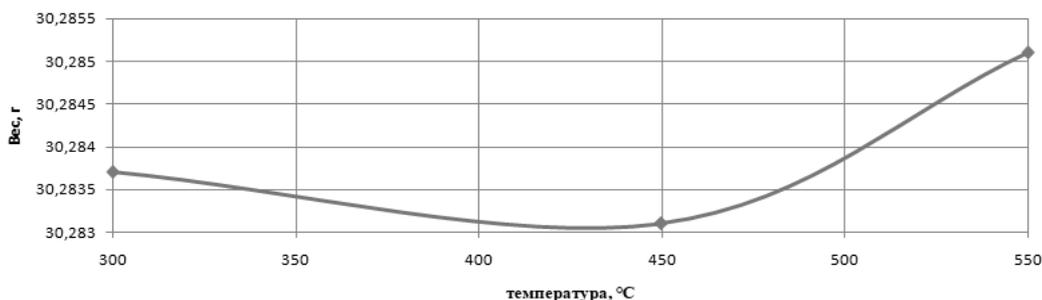


Рисунок 6 – График изменения веса образца № 2

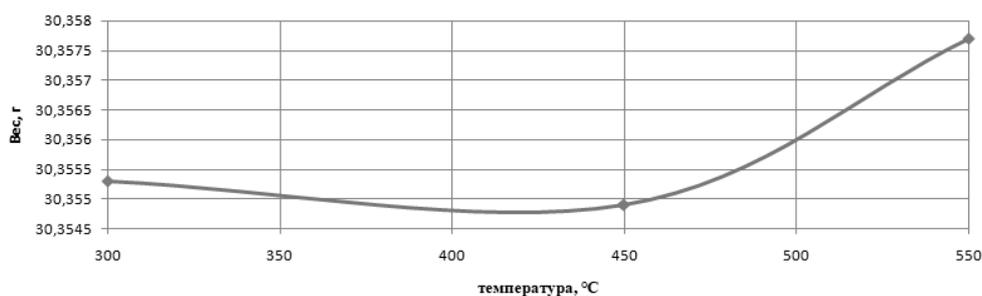


Рисунок 7 – График изменения веса образца № 3

При температуре отжига 550 °С наблюдается незначительное увеличение массы образцов, за счет образования небольшого количества окислов, что подтверждает рентгенофазовый анализ (рисунки 4, 5).

ВЫВОДЫ

1. После 400 и 500 циклов детонационно-газового напыления СВС-порошковыми материалами интерметаллидного состава Ti–Al–Nb на модельные образцы поршневого алюминиевого сплава в обоих случаях сформированы равномерные многофазные покрытия, состоящие из интерметаллических соединений: TiAl₃, TiAl, Ti₃Al, Nb₂Al.

2. Сохранение фазового состава при T = 550 °С свидетельствует о жаростойкости покрытий при данной температуре.

3. Покрытия на основе Ti–Al–Nb способны защитить поршень от прогара и других вредных факторов повышенного термического воздействия, т. к. температуры поршня, а именно самой горячей его части – днища, практически в 2 раза ниже максимальной температуры, проводимой при испытании.

Работа проводилась в рамках государственного задания (FZMM-2020-0002) и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология ремонта изношенных поршней / А. А. Бондарев // Сварщик. – 1999. – № 6. – С. 17.
2. Восстановление канавок алюминиевых поршней тракторных двигателей импульсно-дуговой наплавкой в среде защитных газов / В. Я. Зусин, Г. Н. Вайнер, В. Н. Черноиванов // Сварочное производство. – 1982. – № 11. – С. 37–38.
3. Упрочнение кольцевых канавок поршня дизеля электроннолучевой обработкой / К. С. Кровяков, М. В. Радченко // Техника машиностроения. – 2000. – № 3. – С. 23–25.
4. Практика использования концентрированных потоков энергии для сварки и создания защитных покрытий / М. В. Радченко, С. Г. Уварова, Ю. О. Шевцов, Т. Б. Радченко, В. А. Марков // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 248–254.
5. Особенности формирования покрытий из алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала при газодетонационном напылении / А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, М. В. Логинова, С. Г. Иванов, А. П. Свиридов // Фундаментальные проблемы современного

материаловедения. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 444–449.

6. Детонационные покрытия в машиностроении / С. С. Бартнев, Ю. П. Федько, А. И. Григоров. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1982. – 215 с.

7. Процессы структурообразования при детонационно-газовом нанесении защитных покрытий из композиционных порошков TiAl₃, Ni₃Al / В. Ю. Филимонов, В. И. Яковлев, М. А. Корчагин, М. В. Логинова, А. С. Семенчина, А. В. Афанасьев // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44. – № 5. – С. 106–111.

8. Особенности структурного состояния механоконно-газовом нанесении защитных покрытий / А. А. Ситников, А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, М. В. Логинова, А. П. Свиридов // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 12 (78). – С. 20–25.

9. ГОСТ 3647-80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля – Введ. 1982-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 2004. – 19 с.

10. The features of structure formation in mechanically activated powder mixture 3Ti+Al in the thermal explosion mode / V. Y. Filimonov, A. A. Sytnikov, V. I. Yakovlev, M. V. Loginova, A. V. Afanasyev, A. Z. Negodyaev // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – V. 621. – P. 71–76.

11. 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.

Собачкин Алексей Викторович, с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.

Логинова Марина Владимировна, 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.

Ситников Александр Андреевич, директор ПВКПИУР, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: sitalan@mail.ru.

Мясников Андрей Юрьевич, зав. лабораторией, ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.

Сыровежкин Михаил Романович, аспирант ПНИЛ СВС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: anicpt@rambler.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОСТОЧНОЙ ГОБИ МОНГОЛИИ

Ц. Эрдэнэбат, Б. Уурийнцолмон, Р. Санжаасурэн, Б. Д. Лыгденов,
Б. Намжилдорж, Ж. Оюун

В результате геологической разведки в Монголии были обнаружены глинистые минералы, содержащие большое количество каолина, и их предполагаемый общий ресурс составляет примерно 866,9 тысячи квадратных метров. Эта работа направлена на определение оптимального способа использования местного каолина для производства цемента. В работе подтверждаются пуццолановые эффекты, которые основаны на физико-механических свойствах каолина, времени схватывания и процессе гидратации, в зависимости от консистенции в смеси цементной пасты с метакаолином (МК), и приводится сравнение ее с местным портландцементом ASTM PC 42.5 Type I, от ООО «Хутул цемент» из провинции Селенгэ как эталонного материала. Глина, содержащая приблизительно 50 % каолинита ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), 25 % глинистого минерала (2:1) и 25 % кремнезема в виде кварца, прокаливалась до температур от 550 до 750 °С в течение различного периода времени. Каолиновая глина и ее кальцинированные продукты были оценены по степени дегидроксилирования. При температуре 650 °С и времени выдержки в течение 2 ч наиболее эффективно преобразовывается в высокореактивный метакаолин в виде МК. Эти вариации прокаливания для превращения каолиновой глины в МК были также подтверждены дифференциальным термическим анализом – термогравиметрическим (DTA-TG), рентгеноструктурным анализом (XRDA) и Фурье-инфракрасной спектроскопией (FTIR).

Добавление метакаолиновой минеральной добавки к цементу повышает его механические свойства после выдержки от 28 до 90 дней. Прочность на сжатие увеличилась на 280 кг/см², чем у цемента без добавки.

Улучшение гидравлической активности цемента связано с увеличением кристаллизационных центров при добавлении активированного порошкообразного минерала в раствор, что соответствует общей закономерности гидратации и затвердевания цемента.

Ключевые слова: каолин, метакаолин, процесс дегидроксилирования, пуццолановая активность, продукты гидратации, портландит.

ВВЕДЕНИЕ

Кальцинированные глины в смеси с известью рассматривались в литературе как популярный дополнительный цементный материал. Хорошо известно, что каолинит теряет кристаллическую структуру в процессе прокаливания при температуре 450–650 °С и превращается в сильно неупорядоченную метакаолиновую (МК) структуру $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Эта структура обладает хорошими свойствами в качестве активной минеральной добавки (АМД) к цементу для улучшения гидравлической активности и экономии расхода клинкера при производстве портландцемента. Полученная АМД хорошо реагирует в процессе смешивания и гидратации портландцемента с водой из-за своей неупорядоченной структуры МК, в частности с портландитом, и образует гель C-S-H при оптимальной температуре окружающей среды и глинозем, содержащий гидратные фазы в виде гидратов алюминия кальция и алюмосиликатных гидратных

фаз (как C_4AH_{13} , C_2ASH_8 и C_3AH_6) при пуццолановой реакции цементного раствора [1–4].

В результате геологической разведки в Монголии были обнаружены глинистые минералы, содержащие в большом количестве каолин, и их предполагаемый общий ресурс составляет примерно 866,9 тысячи квадратных метров.

Эта работа направлена на определение оптимального способа использования местного каолина для производства цемента. В работе подтверждены пуццолановые эффекты, основанные на физико-механических свойствах каолина, времени схватывания и процессе гидратации, в зависимости от консистенции в смеси цементной пасты с МК. Представлены результаты сравнения смеси цементной пасты с МК и местного портландцемента ASTM PC 42.5 Type I, от ООО «Хутул цемент» из провинции Селенгэ как эталонного материала.

Влияние термической обработки на процесс дегидроксилирования [11] аморфизации

каолинированных глин, таких как природные и кальцинированные глины с различным количеством МК, было исследовано с помощью TG-DTA, XRD и FTIR анализов. В результате было установлено, что нагрев при температуре 650 °С в течение 2 ч является наиболее эффективным способом преобразования каолина в высокореактивный МК.

Пуццолановую активность МК оценивали с помощью рентгеноструктурного анализа (XRDA), Фурье-инфракрасного спектра (FTIR) и анализа роста прочности при соотношении воды (W) к смешанным цементным материалам (C) W/C = 0,3 приблизительно для 1, 3, 7, 28 и 90 дней гидратированных цементных паст от 5 до 30 %. Из данных исследований было установлено, что МК20 может быть эффективно использован в качестве пуццолановой минеральной добавки для производства смешанного цемента. Влияние на физико-химические свойства пуццолановой добавки для цементной пасты испытывалось также ДТА [7–14]. Основные результаты исследований по данной теме в течение предыдущих лет отражены в материалах публикаций [15–28].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования была подготовлена каолиновая глина из Хонгор Овоо провинции, восточной Гоби, и также из бассейна Гоби Монголии. Репрезентативная 5-килограммовая проба каолина была взята методом четвертования. Перед началом анализа свойств образец высушивали до содержания влаги менее 0,5 %, затем измельчали до 80 мкм в планетарной шаровой мельнице фирмы Retsch. Соответствующая зернистость (80 мкм) составляла 95,6 %, прошедших через сито № 200.

Минералогические анализы проводились с помощью микроскопов NIKON, Optipot2-POL и объективов FDX35. Химический состав определяли методом мокрого химического силикатного анализа в сравнении с результатами рентгеновского анализа с использованием спектрометра Horiba ME 500W, WD-XRF и описанного в таблице 1. Содержание каолинита, монтмориллонита и кварца в них находилось в среднем диапазоне.

Таблица 1 – Химико-минералогический состав каолинового и цементного клинкера

А. Химический состав, %			
Соединение	К	Цементный клинкер	
SiO ₂	49,84	17,25	
Al ₂ O ₃	33,95	2,45	
Fe ₂ O ₃	2,17	3,85	
CaO	0,21	73,11	
MgO	0,05	1,21	
R ₂ O	2,72	0,54	
SO ₃	0,01	0,00	
TiO ₂	0,54	0,31	
LOI*	10,52	0,00	
Нерастворимый остаток	–	0,65	
CaO _f	–	0,61	
В. Минералогический состав, %			
Каолинит	48,3	Цементный клинкер	100,00
Монтмориллонит/Гидрослюда /Церицит, Московит	26,6	C ₃ S	56,00
Кварц+Кремнезем	24,4	C ₂ S	21,00
Хлорит	0,5	C ₃ A	8,25
Гидрогетит	0,2	C ₄ AF	13,50

Изменение внутренней энергии и массы фазового превращения для каолинового, портландцементного (ПК) раствора с метаксаолином (МК) наблюдалось соответственно методом термогравиметрического дифференциально-термического анализа (TG-DTA) на оборудовании ДЕРИВАТОГРАФ Q1500. Образец нагревали от температуры окру-

жающей среды до 1000 °С с постоянной скоростью 10 °С/мин и использовали α-Al₂O₃ в качестве эталонного материала на воздухе.

Процесс термической обработки для каолина была выполнена при различных температурах (Т = 500–700 °С) в течение 30, 60, 90, 120 и 150 минут в лабораторной муфельной печи SNOL1200 и охлаждали на воздухе

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОСТОЧНОЙ ГОБИ МОНГОЛИИ

до комнатной температуры, затем перемалывали на вибрационной планетарной шаровой мельнице (PM400) до 80 мкм. Цвет каолина меняется до полученного метакаолина от бежевого до равномерного по всему составу МК цвета светло-красной охры.

Портландцемент, используемый в этом исследовании, был марки 42,5, а его коэффициент насыщения известью (LSF) составлял 0,93, соотношение кремнезема и глинозема – 2,11 и 1,33 соответственно. Химический и минеральный состав цементного клинкера, определяемый методом рентгенофлуоресценции, и его минеральный расчет представлены в таблице 1.

Минералогический состав, конверсионное фазовое превращение каолина в метакаолин и клинкерные минералы в ПЦ с МК и количество их гидратированных силикатно-кальциевых и алюминатных фаз представлены на рисунках 1 и 4. Они проводятся по характерным основным пикам рентгеноструктурного анализа (XRDA) с использованием дифрактометра SIEMENS, D500 (Cu K α радиационный анод, Ni-фильтр и размер шага 0,001 °).

Инфракрасный (ИК) спектрометр BRUKER, FT/IR-EQUINOX55 также использовался для определения фазового состава минералов, кристаллов и их связующей структуры образцов в виде каолина, метакаолина и цементных растворов с МК.

Потеря воспламенения (LOI*) для каолина определялась по потере исходной массы образца массой в 1 г и его конечной массы после прокаливания при 1000 °С в течение 90 минут [18]. Он был вычислен по уравнению, описанному следующим образом (1):

$$LOI, \% = (W_i - W_f) / W_i \cdot 100. \quad (1)$$

Содержание свободной извести ПК и метакаолина с заменой 5, 10, 15, 20 и 30 процентов на 400 г массы смешанного цемента без гипса определяли для образца массой в 1 г часто используемым этиленгликолем методом и сравнивали с содержанием образовавшегося растворимого гликоля кальция [6].

Эти подготовленные смешанные цементные камни выдерживали в течение 7, 28 и 90 суток в воде [8], и их реакции гидратации останавливались для испытаний только чистым этанолом в определенный момент времени. Каждый гидратированный образец нагревали до 105 °С в течение одного часа и выдерживали в лабораторном эксикаторе после процесса обезвоживания. Их пуццолановую активность определяли с помощью анализа DTA-TG, FTIR и XRD для каждого гидратированного цементного камня с добавлением МК. Кроме того, пуццолановая активность

МК оценивалась физико-механическим анализом роста прочности на сжатие для каждого гидратированного цементного камня.

Нормальная плотность для анализа прочности на сжатие, как воды к цементу, так и индивидуально разработанного соотношения МК (B/C+МК), поддерживалась примерно на уровне 0,30. Прочность на сжатие и модуль упругости цементного теста были испытаны на образцах объемом 50 мм³ по сравнению простой цементной пастой в соответствии с МНС 976:99, часть 11, 1999 против ASTM 151-54, 1989.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Кальцинированная каолиновая глина

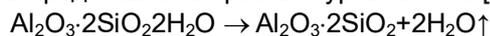
1.1 DTA-TG анализ каолина

Основные результаты, наблюдаемые при дифференциальном термоанализе сырой глины каолина до 1000 °С, заключаются в следующем:

- T < 200 °С: небольшой эндотермический пик, как при 140 °С для обезвоживания поглощенной воды из пор поверхности каолина.

- * ~200–450 °С: потеря массы коррелирует с процессом дегидратации гидратированного железа в глине в виде монтморрилонита и гидрогетита в виде примесных минералов в октаэдрическом слое [7].

- ~450–650 °С: большой эндотермический пик для этого широкого температурного диапазона, связанный с дегидроксилированием каолинита и образованием метакаолина в соответствии с реакцией, которая может быть представлена простым уравнением [8]:



- <~1000 °С: не столь большой экзотермический эффект выявил образование муллита [9–11]. Потеря веса при температуре 140 °С была рассчитана как 1,01 по кривой массы TG за счет высвобождения поверхностно поглощенной воды. Вторая потеря массы по кривым DTA и TG была такой же при 550 °С, как и при 5,58 % или процесса дегидроксилирования. Эти структурные изменения также хорошо фиксировались результатами рентгеновского и ИК-спектров.

Оптимальная температура и продолжительность времени зависят от содержания некаолиновых глин, таких как монтмориллонит, иллит, а также смесей глинистых минералов [12].

1.2 Потеря массы кальцинированных глин

Оптимальные параметры, испытанные для температуры прокаливании и времени

обжига каолиновой глины, представлены как потери масс в % в таблице 2. Потеря массы обычно увеличивалась при выдержке до 90 мин при данной температуре и стабилизировалась при режиме: 650 °С в течение 120 мин и с течением времени нагрева. Как видно, повышение температуры выше 650 °С

в течение 120 мин не вызывает каких-либо значительных потерь массы в образце [13]. Это указывает, что превращение каолинита в метакаолинит в этом образце завершено и стабилизировано при температуре 650 °С в течение 2 ч после прокаливания.

Таблица 2 – Потеря массы (%) каолина для различных температурных диапазонов и времени

Время прокаливания, мин	Температура прокаливания, °С			
	550	600	650	700
30	8,56	9,36	9,64	10,29
60	9,01	9,86	10,16	10,39
90	9,55	10,36	10,45	10,48
120	9,76	10,44	10,52	10,53
150	9,91	10,52	10,33	10,52

1.3 Рентгеновские дифрактограммы для глины из каолина и метакаолина

Рентгенограммы природных и кальцинированных каолинов при заданной температуре в течение 2 ч сравнивались по их основной пиковой оценке в диапазоне 20–30 ° интенсивности 2θ, что подтверждало разложение каолинитной фазы после их прокаливания. Результаты представлены на рисунке 1. В качестве основных составляющих: линии гид-

рослюд (Н), каолинита (К) и кварца (Q) наблюдались в стартовом составе, но после прокаливания при 650 °С в течение 2 ч, линии каолинита и гидрослюда практически исчезли, т. к. в зависимости от распада глинистых минералов остались линии всего лишь β-квартцалита (Q) и полевого шпата (F) в области Метакаолина [9].

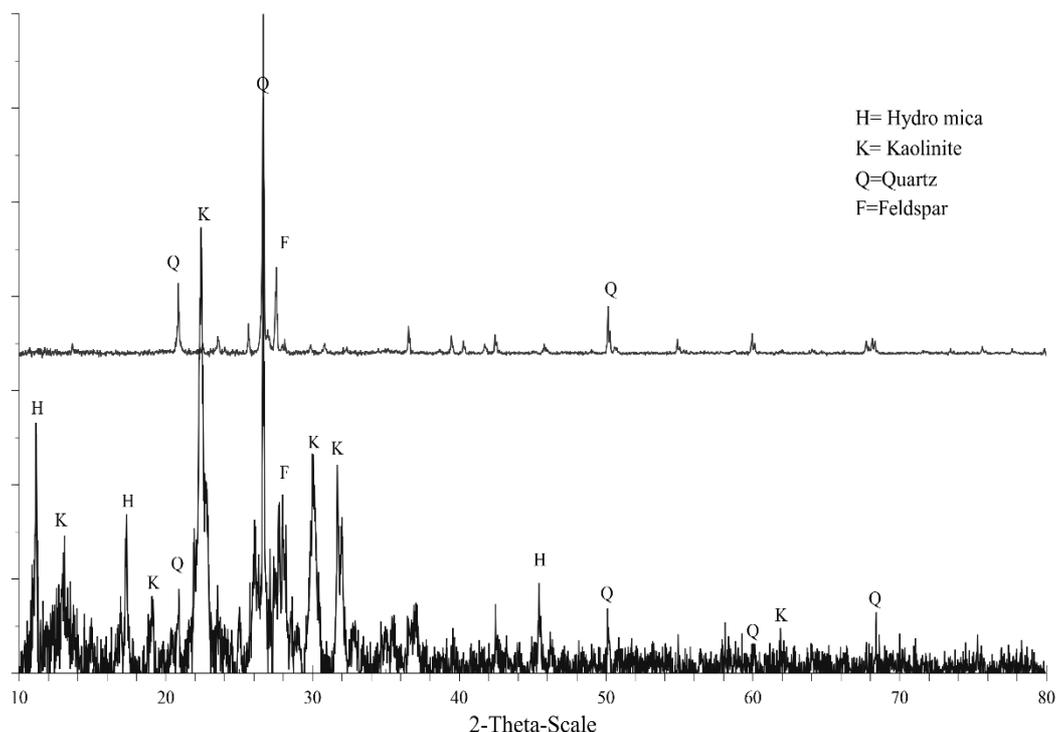


Рисунок 1 – Рентгенодифрактограммы натуральной глины типа каолина и кальцинированной глины типа метакаолина

1.4 Фурье-ИК спектры натурального каолина и метакаолина

Спектры FTIR природных и кальцинированных каолинов приведены в таблице 3, ко-

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОСТОЧНОЙ ГОБИ МОНГОЛИИ

торые можно интерпретировать следующим образом. Сильные полосы адсорбции наблюдались при 3695,6, 3622,1, 3440,7 см⁻¹ для природного каолина и при 3440,7-3695,6 см⁻¹ для режима растяжения и изгиба H₂O между слоями структуры каолинита соответственно [14]. Это расщепленный асимметричный режим растяжения O-OH и Si-O в узком узле кристаллической решетки. Другие полосы при 433,3–538,5 см⁻¹, 914–938 см⁻¹ и 1011–1104 см⁻¹

относятся к Al-O-H; Si-O связям октаэдрической и тетраэдрической структуры природного каолина соответственно. Упомянутые выше полосы каолиновой прослойки воды не видны в кальцинированной каолиновой глине и оставляют только полосу 3442,7 см⁻¹, отнесенную к связи Si-O, и полосу 460–581 см⁻¹, указывающую на то, что разрыв изгибного режима каолина октаэдрического и тетраэдрического сдвинул структуру.

Таблица 3 – ИК-спектры каолина и метаксаолина (МК)

Каолин			Метаксаолин (МК)		
ν , см ⁻¹	I_{trans}	Explanation	ν , см ⁻¹	I_{trans}	Explanation
3622,1	54	H-O-O	1630,5	85	H-O-H
3440,7	53	Al-O-H	1080,0	30	O-Si-O, (SiO ₃)
1630,7	82	H-O-H	1050,0	32	Si-O
1104,5	20	Si-O	798,0	75	Si-O (Al)
1033,8	5	Si-O	778,0	72	Si-O (Al)
1011,0	12	Si-O	694,7	92	Si-O
938,0	55	H-O-Al	643,0	95	Si-O-Si, (Si-O ₃) ₃
914,0	50	Al-O-O-H	581,3	87	Si-O, (Si-O ₃) ₇
796,0	82	Si-O-Al	533,0	88	Si-O, (Si-O ₃) ₅
777,0	85	Si-O-Al, H-O-Al	507,0	82	Si-O, (Si-O ₃) ₅
757,0	88	Si-O-Al, H-O-Al	460,4	62	Si-O, (Si-O ₃) ₅
695,9	75	Si-O			
538,5	25	Si-O-Al(IV)			
472,3	28	Si-O			
433,3	67	Si-O-Al			

2 Свойства цементной пасты

2.1 Физико-механические свойства цементной пасты

Этот вид прокаленной глины в виде МК добавляли к цементу на 5, 10, 15, 20 и 30 % от массы цемента и изучали твердеющую активность цементных растворов в течение 7, 28 и 90 дней в водном состоянии [8–9, 13] по сравнению с прочностью цемента ПК 42,5 типа I из

хутульского цемента. Прочность цемента МК20 увеличилась более чем на 280 кг/см² (рисунок 2 и таблица 4) по сравнению с первоначальной прочностью цемента по массе. Показана возможность использования высокообъемного дополнительного цементирующего материала в качестве активной минеральной добавки для повышения цементной активности.

Таблица 4 – Влияние МК на рост прочности на сжатие цементной пасты [13]

Образец	МК, %	вода (% масс.)	Время, час		Прочность на сжатие, кг/см ²				
			Начало	конец	1 суток	3 суток	7 суток	28 суток	90 суток
ПЦ	–	W/C = 29,5 %	2,55	8,2	280	410	440	450	460
МК5С	5		2,15	6,5	80	180	280	500	520
МК10С	10		2,15	6,45	200	330	510	540	560
МК15С	15		2,15	6,2	260	280	440	530	570
МК20С	20		2,34	7,05	110	330	640	730	740
МК30С	30				110	330	640	730	740

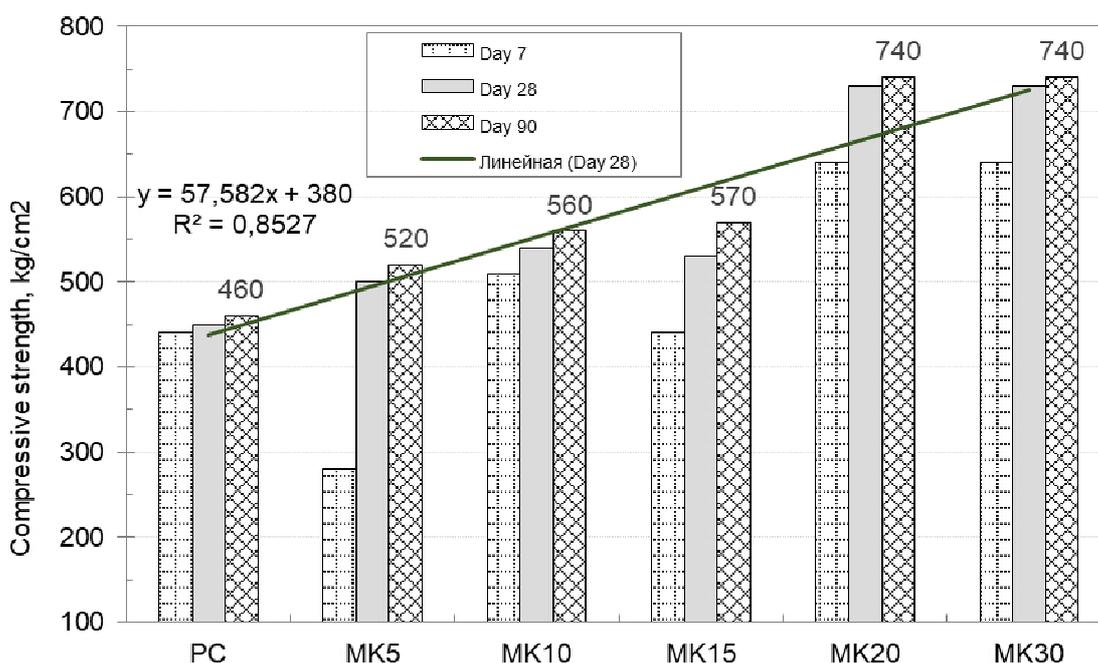


Рисунок 2 – Влияние МК на рост прочности на сжатие смешанной цементной пасты

2.2 DTA TG анализа цементной пасты

Наблюдалось образование ряда портландита, CSH (I, II) и трех сульфатно-гидроалюминатных кальциевых фаз типа C_3AH_6 и соответственно их скорость дегидратации

показана в таблице 5, а для наиболее предпочтительной цементной пасты в виде МК20С по дням на рисунке 3, б, также на рисунке 3, а показано сравнение гидратированных соединений в ПЦ.

Таблица 5 – Потеря веса для кривой TG для ПЦ и смешанного цемента с МК [13]

Потеря массы для критериев DTA и температуры на кривой TG		3 суток		7 суток		28 суток		90 суток	
		мг	%	мг	%	мг	%	мг	%
C-S-H (I; II) Обезвоживание примерно 780 °C	ПЦ	57	5,68	56	6,18	67	7,15	58	6,2
	МК ₂₀ С	60	6,63	63	6,88	59	5,96	51	5,17
Ca(OH) ₂ & C ₃ AH ₆ , около 470–485 °C	ОПС	24	2,52	28	3,09	32	3,415	30	3,21
	МК ₂₀ С	28	3,09	31	3,39	37	3,74	54	5,6
Диссоциация C ₃ A·3CaSO ₄ ·31H ₂ O, около 125–175 °C	ОПС	53	5,78	70	7,73	76	8,11	87	9,0
	МК ₂₀ С	69	7,62	71	7,76	86	8,69	85	8,60
*LOI _{TG} , (%)	ОПС	134	14,1	154	17	174	18,57	165	18,71
	МК ₂₀ С	157	17,35	165	18,03	182	18,38	190	19,23

*T = 1000 °C, TG = 200 mg, DTA = 1/5, DTG = 1/5, VT = 10 °C, Al₂O₃–etalon

2.3 Рентгено-дифрактограммы (XRD) цементной пасты

Образец Портландита Хутульского цемента подвергали рентгеноструктурному анализу XRD (d = 4,90Å в), Значению d = 2,61Å соответствует гидросиликат феррита и гидросульфат кальция. До значения 2,74Å интенсивность была уменьшена в течение 3–7 дней. Эти закономерности четко не наблюдаются через 28 дней.

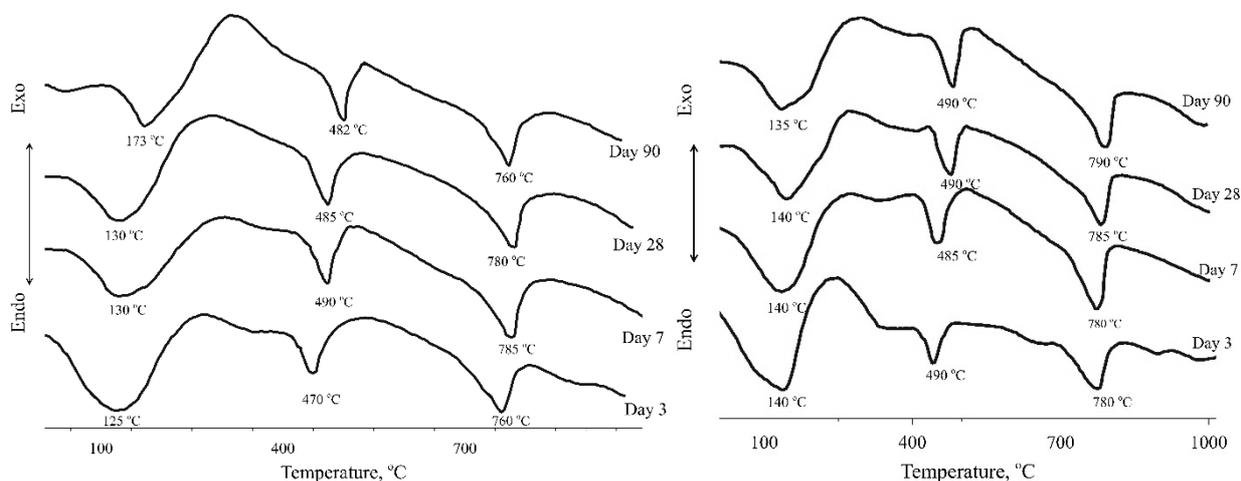
При термообработанной присадке МК в течение 1–3 суток снижали интенсивности

структуры фазы силиката кальция цемента в смеси и увеличивали d гидро-алюмината кальция = 2,28 Å. Через 7 дней имели место d = 3,10, 3,56Å линии, присвоенные гидросиликату кальция, и наблюдали диссоциацию эттрингитовой фазы [1–3]. Он показал пуццолановую активацию процесса гидратации цемента под действием термообработанной метакаолиновой добавки и образование центра зародышеобразования для процесса кристаллизации, окруженного слоем гидросиликата кальция.

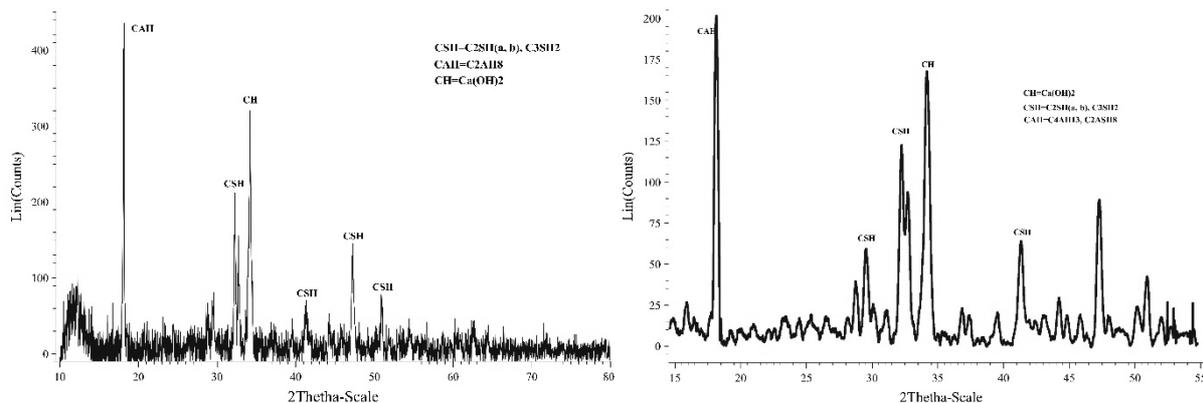
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОСТОЧНОЙ ГОБИ МОНГОЛИИ

Через 28 и 90 дней этот процесс гидратации уже завершился, потому что во время фазы гидроалюмината кальция он был хорошо гидратирован, и эти центры зародышеобразования были увеличены, затронутые мно-

гими гидратированными фазами. Увеличение центров кристаллизации упрочнили кристаллические каркасы и участки решетки (рисунки 4, а и 4, б) [8–9, 13].



а) б)
Рисунок 3 – Дифференциальный термический анализ для цементной пасты:
а) ПЦ в течение 3, 7, 28 и 90 суток; б) МК20 в течение 3, 7, 28 и 90 суток



а) б)
Рисунок 4 – Рентгенограмма: а) портландцементной пасты в течение 28 суток;
б) цементной пасты МК20С в течение 28 суток

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Добавление метакаолиновой минеральной добавки к цементу повышает его механические свойства после выдержки от 28 до 90 дней. Прочность на сжатие увеличилась на 280 кг/см^2 , чем у цемента без добавки. Это может быть связано с замедлением скорости фазового перехода для новых гидратных соединений и снижением разрушения структуры цементного камня от XRDA. Для более лучшего использования работ по упрочнения зданий добавление полученного материала в цемент или в процесс измельчения цемент-

ного клинкера объясняет формирование цемента с наибольшей прочностью за счет улучшения гидравлической активности.

Улучшение гидравлической активности цемента связано с увеличением кристаллизационных центров при добавлении активированного порошкообразного минерала в раствор, что соответствует общей закономерности гидратации и затвердевания цемента.

Авторы благодарны коллегам из отдела научного исследования и инноваций Монгольского Государственного университета,

а также Фонду науки и технологий за финансовую поддержку проекта N.SSSA_010/14 при Министерстве образования, культуры и науки Монголии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Kakali, T. Perraki, S. Tsvilis and E. Badogiannis. Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity. – Appl. Clay Sci. – V. 20. – № 1–2. – P. 73–80. – Sep. 2001.
2. A. Tironi, M. A. Trezza, A. N. Scian and E. F. Irassar. Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans. – Constr. Build. Mater. – V. 28. – № 1. – P. 276–281. – Mar. 2012.
3. N. A. B. Brindley G, Sharp J, Patterson J. Kinetics and mechanism of dehydroxylation processes: I. Temperature and vapor pressure dependence of dehydroxylation of kaolinite, 1967.
4. F. Ntimugura, S. O. Sore, L. Bello and A. Messan. The Influence of Metakaolin from Saaba (Burkina Faso) over Physico-Mechanical and Durability Properties of Mortars. – Open J. Civ. Eng. – V. 7. – № 3. – P. 389–408. – 2017.
5. A. Tironi, M. A. Trezza, A. N. Scian and E. F. Irassar. Assessment of pozzolanic activity of different calcined clays. – Cem. Concr. Compos. – V. 37. – P. 319–327. – Mar. 2013.
6. D. R. MacPherson and L. R. Forbrich. Determination of Uncombined Lime in Portland Cement: The Ethylene Glycol Method. – Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. – V. 9. – № 10. – P. 451–453. – Oct. 1937.
7. H. Insley and R. H. Ewell. Thermal behavior of the kaolin minerals. – J. Res. Natl. Bur. Stand. (1934). – V. 14. – № 5. – P. 615–627. – 1935.
8. I. Biljana, M. Aleksandra and M. Ljiljana. Thermal treatment of kaolin clay to obtain metakaolin. – Hem. Ind. – V. 64. – № 4. – P. 351–356. – 2010.
9. E. Badogiannis, G. Kakali and S. Tsvilis. Metakaolin as supplementary cementitious material. – J. Therm. Anal. Calorim. – V. 81. – № 2. – P. 457–462. – Jul. 2005.
10. B. R. Ilić, A. A. Mitrović and L. R. Miličić. Thermal treatment of kaolin clay to obtain metakaolin. – Hem. Ind., 2010.
11. A. Shvarzman, K. Kovler, G. Grader and G. Shter. The effect of dehydroxylation /amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite. – Cem. Concr. Res. – V. 33. – № 3. – P. 405–416. – Mar. 2003.
12. M. C. G. Juenger and R. Siddique. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. – Cem. Concr. Res. – V. 78. – P. 71–80. – Dec. 2015.
13. R. Siddique, J. Klaus. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review, Applied Clay Science. – 2009. – 43. – P. 392–400.
14. N. V. Chukanov. On IR Spectra of Silicates and Alumosilicates. – Proc. RMS. – № 3. – P. 80–85, 1995.
15. Erdenebat Tserenjav, Usukhbayar B., Nyamjargal M., Lygdenov B. D STUDY ON CRYSTALLIZATION PROCESS OF CEMENT PASTE FOR

PORTLAND POZZOLAN CEMENT Grand Altai Council of HEI Chancellors Network Edition, UDK 666.972, «Grand Altai Research & Education». – Issue 1. – 2017. – P. 61–113

16. Ts. Erdenebat, R. Sanjaasuren, (2011). Physics-chemical study for hydration process of three calcium aluminate phase and Metakaolin, Mongolian Journal of Chemistry. – Ulaanbaatar. – № 12(38). – P. 107–112. – DOI: <https://doi.org/10.5564/mjc.v12i0.183>.

17. Erdenebat Ts. and oth., (2011). Recent and future of cement and concrete industries-a root of our development, Mongolian Journal of Chemistry, Ulaanbaatar, Issue of Mongolian Chemical Society. – № 6, P. 78–82.

18. Erdenebat Ts. and oth., (2002), Study on composite mineralizers influence for synthesizing the Portland cement clinker in low temperature condition, Journal of Stroitel'stvo, Proceedings of Higher Educational Institutions. – № 1–2. – V. 517–518. – P. 34–37, Novosibirsk, Russia.

19. Erdenebat Ts. and oth., (2010). Synthesis of Portland Cement Clinker with use of Basaltic rock, Vestnik, Buriyat National University. – UDK666.9.031, № 3. – Chemistry and Physics. – P. 56–60. – ISSN1994-0866-9-771994 086035, Ulan-Ude, Russia.

20. Erdenbat. Ts, Sanjaasuren R. Valyakhuu D. Study on colloid system crystallization for hydraulic free cement, The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (2015) Vol.1 p365 Beijing China

21. J. Otgonlham, Ts. Erdenebat, N. Enkhtsetseg, R. Sanjaasuren. Physics chemical study for hydraulic cement clinker calcareous and argillaceous raw materials ; 3-rd International Conference on Materials Science (2014). – Abstract book. – P. 34. – Ulaanbaatar, Mongolia.

22. Ts. Erdenebat, R. Sanjaasuren, D. Enkhtuya, J. Otgonlham. From study of Cementitious Materials to Innovation, IC on Education, Technology, Innovation, dedicated to 60th anniversary of Transport Institute, proceeding. – P. 39–40. – Ulaanbaatar, Mongolia, 2013.

23. Erdenebat Ts. and oth., (2009). Physics chemical study on hydration process of CaOAl₂O₃ and metakaolin. International Week of Building Materials. – Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

24. Erdenebat Ts. (2008). Physics-chemical study on influence of some mineral additives for 3CaO-SiO₂-H₂O system crystallization process, «State of materials research and new trends in material science», APAM CONFERENCE. – New Delhi, India.

25. Erdenebat Ts. and oth., (2008). State of research work on the making new materials from natural and waste products in Mongolia, «State of materials research and new trends in material science», APAM CONFERENCE. – New Delhi, India.

26. Erdenebat Ts. and oth., (2010). Modern tendency and research needs to innovation in Cementitious materials technology. – Proceeding of Mongolian-German workshop on advanced materials. – P. 13–15, Ulaanbaatar, Mongolia.

27. Erdenebat Ts., (2008). Physics-chemical study on chemical admixture for concrete by using

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ ВОСТОЧНОЙ ГОБИ МОНГОЛИИ

natural raw material, Proceeding of Korea-Mongolia Joint 2nd Seminar "On Sustainable Development." – P. 241. – Seoul, Korea.

28. Erdenebat Ts. and oth., (2007). Theoretical evaluation on possibility of using basaltic as aluminosilicates component in raw mix for Portland cement clinker synthesis, Proceeding of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement Montreal, Quebec, Canada.

Эрдэнэбат Цэрэнжав, к.х.н., заведующий лабораторией «Новые материалы и технологии» Монгольского национального университета, г. Улан-Батор, МНР, e-mail: erdenebatt@seas.nuim.mn.

Уурийнцолмон Баяраа, аспирантка Монгольского национального университета,

г. Улан-Батор, МНР, e-mail: gidrocareer@gmail.com.

Санжаасурэн Раднаасэдийн, д.х.н., профессор Монгольского национального университета, г. Улан-Батор, МНР.

Лыгденов Бурьял Дондокович, д.т.н., профессор Уханьского текстильного университета, г. Ухань, Китай, e-mail: lygdenov59@mail.ru.

Намжилдорж Банзар, к.ф.м.н., Строительная архитектурная корпорация Монголии, г. Улан-Батор, МНР, e-mail: namjildorj@yahoo.com.

Оюун Жамба, д.х.н., профессор Улан-Баторского университета, г. Улан-Батор, МНР, e-mail: oyun@yahoo.com.

МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КАРБИДНОЙ ФАЗЫ

С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, С. А. Земляков, М. А. Гурьев

В работе представлены особенности пробоподготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы инструментальных высоколегированных сталей X12M, X12Ф1, Р6М5 с применением программного комплекса «Thixomet PRO». Первичное травление для выделения карбидной фазы производили в 4 % спиртовом растворе азотной кислоты в течение 3–4 с после чего шлиф промывали водой и сушили этиловым спиртом. Время травления подбирали исходя из условия, чтобы не произошло травление границ зерен. Вторым этапом травления заключался в травлении реактивом Века в течение 12–15 с для окрашивания карбидной фазы с целью ее контрастирования по сравнению с матрицей для дальнейшего анализа. Для лучшей контрастности травления реактив Века (Weck's reagent) был модифицирован: перед травлением добавляли 1–2 капли насыщенного водного раствора бифторида аммония.

Ключевые слова: микроструктура, металлография, травление, анализ микроструктуры, первичное травление, карбидная фаза, водный раствор.

ВВЕДЕНИЕ

Качество термической и кузнечно-штамповой обработки высоколегированных сталей X12M, X12Ф1, Р6М5 и других определяется через параметры размерности и распределения карбидной фазы. Чем мельче и равномернее распределены карбиды, тем выше качество обработки и эксплуатационные характеристики изделий из данных сталей. Однако проводить подсчет количества карбидных включений – крайне трудоемкая задача, ручное решение которой имеет низкую точность и производительность, особенно с учетом того, что в настоящее время существуют программные средства для автоматического металлографического анализа [1, 2]. С учетом опыта эксплуатации подобного программного обеспечения от различных производителей для надежной идентификации фазовых составляющих требуется, чтобы они соответствовали одновременно двум критериям: во-первых, фазовые границы должны быть четкими, высококонтрастными; во-вторых, сами фазовые составляющие должны иметь существенные цветовые различия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В качестве образцов применялись образцы из сталей X12M, X12Ф1, Р6М5. Для проведения металлографических исследований образцы вырезались при помощи прецизионного металлографического отрезного станка «MICRACUT–201» и запрессовывались в бакелитовый компаунд с помощью металлографического прессы «METAPRESS». Шлифовка производилась на автоматическом

шлифовально-полировальном станке «DIGIPREP» с помощью алмазных кругов зернистостью 54, 15 и 6 мкм, усилие на каждый образец составляло соответственно 25, 20 и 18 Н при индивидуальном прижиме образцов. Полировку осуществляли на полировочных сукнах «ALUPOL» с помощью монокристаллических алмазных суспензий на водной основе зернистостью 3 и 1 мкм при давлении на образец 15 Н в режиме индивидуального прижима. Суперфинишная полировка производилась на сукне «AQUA BLACK» с применением кислой суспензии оксида кремния зернистостью 0,05 мкм. Металлографический анализ проводили при помощи программного пакета «Thixomet PRO» и оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer Z1m по методикам [3–8]. Традиционный способ травления в 4 % растворе азотной кислоты в этиловом спирте позволяет получать высококонтрастные межфазные границы, а по мере увеличения времени травления с 3–4 до 20–30 с выявляются границы зерен. Следует учитывать, что при автоматическом анализе – в силу слабой разницы в цветовой окраске карбидной фазы и матрицы – провести надежное разделение фаз не представляется возможным (рисунок 1), т. к. система автоматического анализа «Thixomet» воспринимает границы зерен как карбидную фазу.

Опытным путем и с учетом анализа литературных источников [9–18], была разработана специальная методика по выявлению и контрастированию карбидной фазы: для предварительного травления использован 4 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте – для выявления и контрастирования

МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КАРБИДНОЙ ФАЗЫ

межфазных границ. В качестве окрашивающего реактива для карбидной фазы выбран и модифицирован реактив Века (Weck's reagent) [10, 14]. Данный реактив представляет собой водный раствор перманганата калия и гидроксида натрия (100 мл H_2O , 1 г $KMnO_4$, 1 г $NaOH$): перед травлением добавляли 1–2 капли насыщенного водного раствора бифторида аммония. Результаты травления сталей X12M, X12Ф1, P6M5 представлены на рисунках 2–4.

Первичное травление для выделения карбидной фазы производили в 4 % спиртовом растворе азотной кислоты в течение 3–

4 с, промывали шлиф водой и сушили его в этиловом спирте. Время травления подбирали экспериментально с тем условием, чтобы не произошло травление границ зерен, т. к. при последующем анализе в программном комплексе границы зерен будут восприниматься как карбидная фаза. Второй этап травления заключался в травлении модифицированным реактивом Века в течение 12–15 с для окрашивания карбидной фазы с целью ее контрастирования по сравнению с матрицей для дальнейшего автоматизированного анализа.

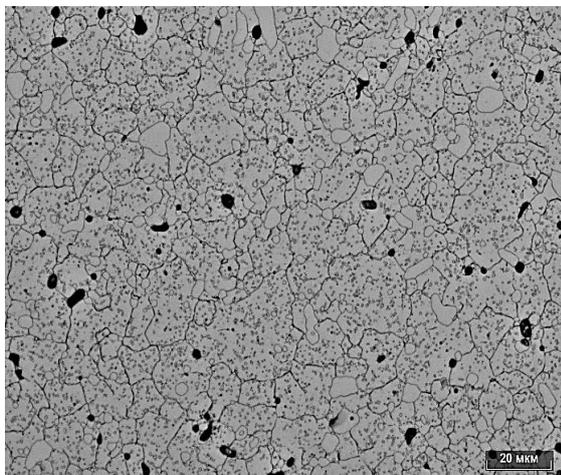


Рисунок 1 – Микроструктура сердцевины образца стали X12Ф1 после травления 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте в течение 30 с [18]

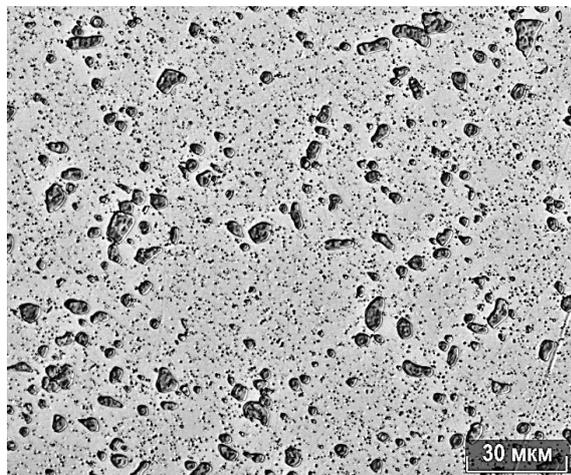


Рисунок 2 – Микроструктура стали X12Ф1 после травления 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте в течение 4 с, промывки водой, сушки и последующего травления модифицированным реактивом Века в течение 15 с

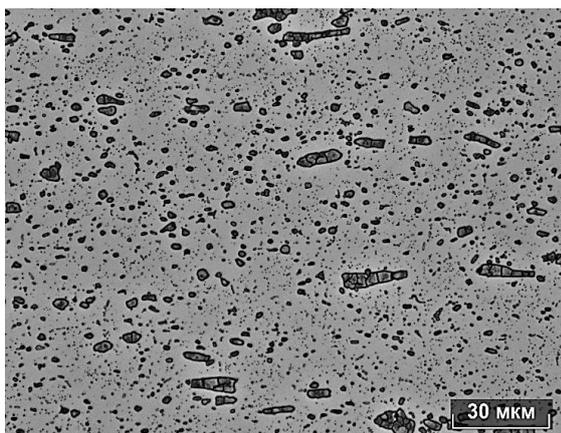


Рисунок 3 – Микроструктура стали X12M после травления 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте в течение 4 с, промывки водой, сушки и последующего травления модифицированным реактивом Века в течение 15 с

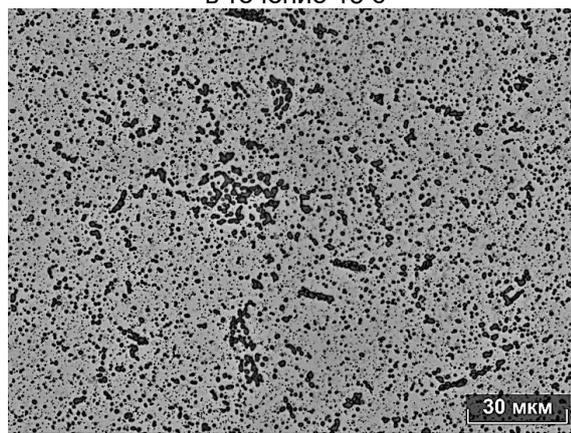


Рисунок 4 – Микроструктура стали P6M5 после травления 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте в течение 4 с, промывки водой, сушки и последующего травления модифицированным реактивом Века в течение 15 с

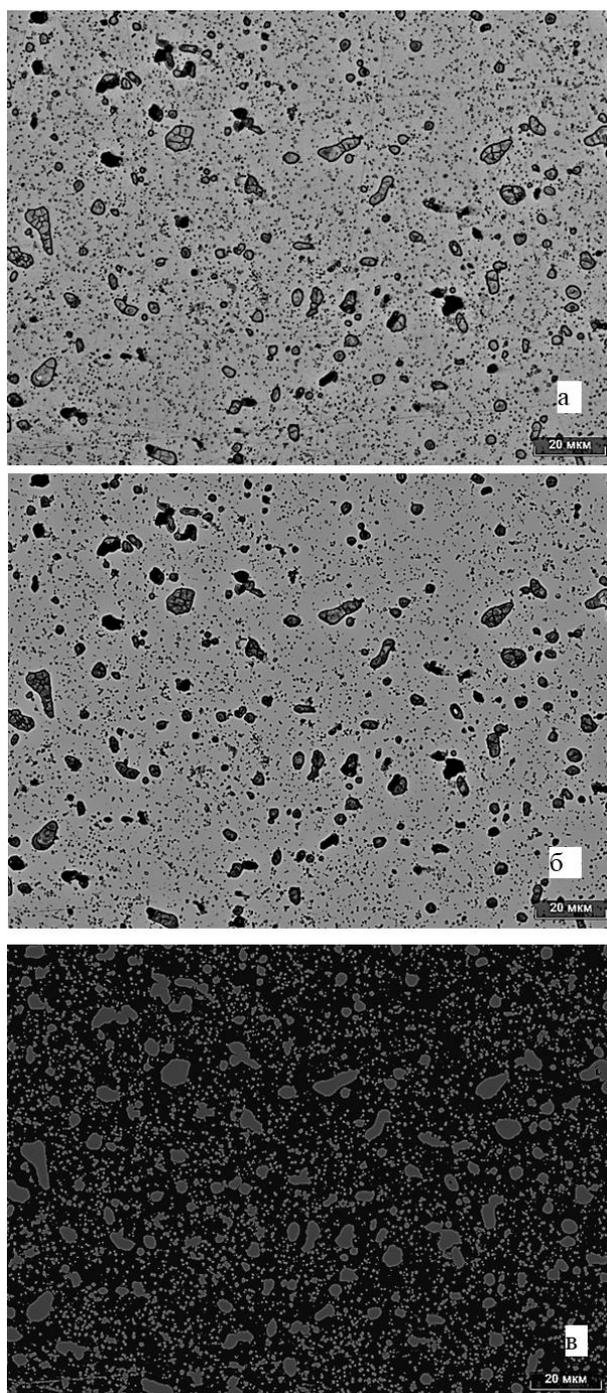


Рисунок 5 – Результаты травления и обработки фотографии микроструктуры стали X12Ф1 в программном комплексе «Thixomet PRO» для дальнейшего автоматического анализа [18]

На рисунке 5 пошагово представлены результаты травления и обработки фотографии микроструктуры стали X12Ф1 в программном комплексе «Thixomet PRO» для дальнейшего анализа. Как видно из рисунка 5, при условии окрашивания карбидной фазы в дальнейшем она хорошо контрасти-

рует с более светлой матрицей. При этом условия разрешающая способность оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer Z1m достигает паспортных значений 0,9 мкм при увеличении $\times 500$. При увеличении $\times 1000$ значение разрешающей способности микроскопа достигает 0,6–0,65 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали возможность применения предлагаемой методики для контрастного выявления карбидной фазы в высоколегированных сталях типа X12M, X12Ф1, P6M5 и т. п. с целью определения структурных параметров карбидной фазы. При этом реактив Века окрашивает в коричневый и желтый цвета карбидную фазу типа MC, карбидную фазу типа M7C3 в зеленый цвет, а фазу M3C2 – в синий [12–15]. Однако без добавки бифторида аммония картина окрашивания получается размытой – наблюдается плавный переход цветов, что затрудняет идентификацию карбидных фаз. Добавка в реактив Века 1–2 капли бифторида аммония непосредственно перед травлением позволяет устранить этот недостаток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вонсовский, С. В. Магнетизм. – М. : Наука, 1971. – 1032 с.
2. Валиев, Р. З., Корзников, А. В., Мулюков, Р. Р. Структура и свойства металлических материалов с субмикроструктурной микроструктурой // ФММ. – 1992. – № 4. – С. 70–86.
3. Gosling, T. G., Willis, J. R., Bullough, R. The energetics of dislocation array stability in strained epitaxial layers // J. Appl. Phys. – 1993. – V. 73. – № 12. – P. 8297–8303.
4. Гафаров, М. Ф., Павлова, К. П., Гафарова, Е. А. Обзор программных продуктов для проведения металлографического анализа // Современная наука : актуальные проблемы теории и практики. – 2018. – № 11. – С. 69–73.
5. Мартюшев, Н. В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 79.
6. Kazakov, A. A., Kiselev, D. V. Industrial Application of Thixomet Image Analyzer for Quantitative Description of Steel and Alloys // Microstructure. Microscopy and Microanalysis. – 2015. – V. 21. – № 3. – P. 457–458. – DOI: 10.1017/S1431927615003086.
7. Kazakov, A. A., Ryaboshuk, S. V., Lyubochko, D. A., Chigintsev, L. S. Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis // Microscopy and Microanalysis. – 2015. – V. 21 – № 3. – P. 1755–1756. – DOI: 10.1017/S1431927615009551.
8. Vander Voort, G. F., Pakhomova, O., Kazakov, A. Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions // Materials Performance and

МЕТОДИКА ПРОБОПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КАРБИДНОЙ ФАЗЫ

Characterization. – <https://www.astm.org/> ISSN 2165-3992.

9. Kazakov, A., Kovalev, S., Ryaboshuk, S. Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products // CIS Iron and Steel Review. – 2012. – DOI: 10.13140/RG.2.1.4675.3688.

10. Kazakov, A., Lyubochko, D. Nonmetallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels // Microscopy and Microanalysis. – 2015. – V. 21. – № 3. – P. 1749–1750.

11. Kazakov, A., Kiselev, D. Industrial Application of Thixomet // Metallography, Microstructure and Analysis. – 2016. – P. 294–301. – DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.

12. ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures. – P. 493–512. – DOI: 10.1361/asmhba0003752.

13. Беккерт, М., Клемм, Х. Способы металлографического травления // Справ. изд. : пер. с нем. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1988. 400 с.

14. Вашуль, Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. – М. : Металлургия, 1988. – 320 с.

15. Мальцев, М. В., Барсукова, Т. А., Борин, Ф. А. Металлография цветных металлов и сплавов ; 1-е изд. – М. : Металлургия, 1970. – 368 с.

16. Коваленко, В. С. Металлографические реактивы : Справочник. – М. : Металлургия, 1981. – 120 с.

17. Vander Voort, G. F. Materials characteriza-

tion. – 1991. – № 27. – P. 241–260. – DOI: 10.1016/1044-5803(91)90040-B.

18. Иванов, С. Г., Гурьев, А. М., Земляков, С. А., Гурьев, М. А., Романенко, В. В. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали X12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса «Thixomet PRO» // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 165–168.

Иванов Сергей Геннадьевич, к.т.н., директор ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, ул. Туриногорская, 39-А, тел.: 89050809761, e-mail: serg225582@mail.ru.

Гурьев Михаил Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры МТuO, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, e-mail: gurievma@mail.ru.

Земляков Сергей Анатольевич, к.т.н., Главный металлург ОАО «Алтайский завод прецизионных изделий», Барнаул, пр. Космонавтов 6/2, e-mail: kobalt_20@mail.ru.

Гурьев Алексей Михайлович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой НГиГ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул; профессор Уханьского текстильного университета, г. Ухань, Китай, e-mail: gurievam@mail.ru.

CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS

CHEMICAL COMPOSITION OF GRAIN PROCESSING PRODUCTS RICE AND CORN TO INCREASE THE NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF BAKERY PRODUCTS

V. Y. Ayrumyan, N. V. Sokol, E. A. Olkhovatov

For the first time, the results of a comprehensive study of the chemical composition of rice grain processing products are summarized. For grain products rice and maize domestic production – husking bran rice, flour rice and flour, corn – studied such basic indicators for nutrient content as total protein, lipids, starch, fiber and ash; determined amino acid composition and degree of balance; evaluated the fatty acid composition of rice husking bran and flour of corn; studied carbohydrate, vitamin and mineral supplements husking bran rice, flour rice and corn flour.

It is established that the amino acid composition of rice husking bran distinguishes a favorable quantity of essential amino acids, and fatty acid – the presence of essential fatty KIS-lot of the General high fiber content, b vitamins, vitamin E, minerals including calcium, iron, zinc; the rice flour is characterized by a high number of fine-digestible starch; corn flour has a favorable composition of vitamin and mineral complexes.

A comprehensive study of the chemical composition of rice flour, corn flour and rice flour creates prerequisites for the prospects of joint use of these materials in the form of flour composite mixtures for the production of bakery products of increased nutritional and biological value.

Keywords: chemical composition, rice flour, corn flour, rice flour, nutritional and biological value, bakery products.

INFLUENCE OF PRE-ULTRASONIC WATER TREATMENT ON THE CHARACTERISTICS OF MODEL EMULSIONS BASED ON CEDAR CAKE

E. A. Zaporozhan, E. Yu. Egorova, S. N. Tsyganok

The search for rational technological solutions aimed at obtaining stable emulsions for food purposes does not lose its relevance. The main reasons for improving technologies for obtaining emulsion products are the potential breadth of their range and undeniable advantages in modeling food value.

The purpose of the presented work was to study the influence of pre-ultrasonic water treatment on the characteristics of complex emulsions obtained on the basis of oil cake (for example, crushed cake from the kernel of pine nuts). The authors found that preliminary ultrasonic activation contributes to changes in the physical and chemical properties of water used for extracting water-soluble components from cake of pine nuts. According to the results obtained, the water temperature increases with increasing duration of ultrasonic treatment. As a result, the solvent capacity of water increases, which is confirmed by experimental data on extracting the sum of dry substances and proteins from the cake of pine nuts.

Based on the research results, the recommended duration of ultrasonic activation of water was determined: 2–3 minutes at an intensity of 16 W/cm², which provides maximum efficiency of extraction of dry substances, including soluble protein fractions.

Keywords: пищевые технологии, эмульсионные продукты, получение эмульсий, масличные жмыхи, кедровый жмых, ультразвуковая обработка, активация воды, физико-химические свойства воды, качество эмульсий.

SAPONINS OF QUINOA (CHENOPODIUM QUINOA WILLD): STRUCTURE, PURIFICATION, BIOACTIVE ROLE AND APPLICATION IN THE FOOD INDUSTRY. OVERVIEW

T. V. Orlova

This review presents a synthesis of foreign research of saponins of quinoa, their structure and composition. Quinoa saponins are a complex mixture of triterpene glycosides isolated from various parts of the plant. The aglycone part of quinoa saponin is represented by oleanolic acid, hederagenin, and phytolaccagenic acid, while the sugar part is represented by arabinose, glucose, and galactose. It was found that the content of saponins in quinoa depends on the genotype and place of plant growth and can range from 0.2 to 11.3 g/kg of dry matter. Quinoa saponins have various effects on the human body: in high doses, they are toxic to the circulatory system, destroying the membrane of red blood cells and causing loss of hemoglobin. The beneficial properties of quinoa saponins include immune-stimulating, antibacterial, antifungal, anti-inflammatory, and anti-tumor effects. Cleaning of quinoa saponins is carried out by mechanical grinding after harvesting the seeds, followed by washing them with water. Taking into account a wide range of useful properties, quinoa saponins are used in medicine, pharmacy, agronomy, cosmetology, and household chemicals. In the food industry, their use should be strictly regulated and limited in the production of food additives, preservatives, flavor modifications, foaming components in the creation of soft drinks and confectionery products.

Keywords: quinoa, saponins, structure, aglycone, purification, bioactive role, application in industry.

EVALUATION OF THE FERMENTATION ACTIVATORS USE PROSPECTS IN THE TECHNOLOGY OF CORNELIAN CHERRIES DISTILLATES

L. A. Oganesyants, L. N. Krikunova, E. V. Dubinina, S. D. Shvets

This work is devoted to assessing of the fermentation activators use prospects in the technology of Cornelian cherries distillates. Five samples of fermentation activators most commonly used in fermentation and winemaking were tested. A comparative assessment of the tested preparations soluble fractions showed that they significantly differ in the content of soluble protein, free amino acids and mineral composition. It has been established that the intensity of the Cornelian cherries pulp fermentation process and ethanol yield increase when activators with a high content of free amino acids are used. Moreover, the use of activator with a high free amino acids concentration more than 1000 mg/dm³ and a phosphorus content up to 60 mg/dm³ led to the increased concentration of methanol formation. Minimum methanol formation was recorded in samples of fermented Cornelian cherries pulp with use of Vita Ferm Ultra FZ fermentation activator (Erbslöh, Germany), containing the maximum phosphorus amount in the soluble part - more than 3000 mg/dm³. It is shown that when fermenting the Cornelian cherries pulp using activators with concentration ratio of amine nitrogen to phosphorus from 0.07 to 0.10 allows to obtain fermented pulp with a sufficiently high ethyl alcohol concentration and an optimal main volatile components content.

Keywords: fermentation activators, soluble components composition, nitrogen-containing complex, free amino acids, minerals, fermentation efficiency, fermented Cornelian cherries pulp, ethanol yield, methanol, volatile components.

TABLE WINES FROM FRENCH GRAPES GROWN IN THE FOOTHILL ZONE OF THE ALTAI TERRITORY

N. K. Shelkovskaya, V. A. Wagner

The use of local eco-friendly raw materials to create functional food products, including high-quality wines, is an important trend in the food industry. The purpose of the study: to establish the possibility of using French grape varieties grown in the harsh climatic conditions of the Altai territory for the production of table-type wines. Light table wines from French grape varieties: Pinot Noir, Chardonnay, Muller-Thurgau and Muscat Ottonel were obtained by micro-fermentation by complete fermentation of grape juice sugars without adding alcohol. The juices had a delicate harmonious taste and varietal aroma. By the end of fermentation in three juices, the sugar is almost dry-fermented, with the exception of Pinot Noir with a residual sugar of 1.27 g/dm³. Alcohol content 8.1-10.3 % vol. The accumulation of volatile acids was 0.23-0.45 g/dm³, which is within the requirements of GOST. Polyphenolic compounds decreased from 1436-2809 to 1123-2269 mg/dm³, but are at a high level. In the fermented juices during long-term storage, there were small changes that did not affect their quality. The wine is in the taste and aroma reflect the properties of the varietal grapes, without foreign taste. The goth wines had a soft taste, harmonious varietal aroma and bouquet. It is proved that the main physical and chemical parameters and organoleptic qualities of varietal grape wines correspond to GOST 32030 "table wines and table wine materials. General technical conditions".

Keyword: juices, wine materials from French grape varieties, active dry yeast, white and red fermentation, varietal table wines.

STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF FRUIT AND BERRY INGREDIENTS OF MACROBIOTIC PORRIDGE

A. T. Prussakova, M. S. Voronina

For decades, macrobiotic porridge has proven to be effective in restoring human health. The curative properties of these porridges were mainly associated with the presence of whole grains, plant health supplements with a maximum number of biologically active substances. At the same time, an interesting effect was observed. The use of macrobiotic porridges was much more useful than the elimination of simply mixed compositions: cereals and similar plant components. Macrobiotic food has principles that must be followed in order to achieve better results. Macrobiotic nutrition can affect the aging process by slowing it down. The most basic principle of macrobiotic nutrition is to maintain a balance in nutrition. The aim of this study is to investigate the physical and chemical properties of fruit and berry ingredients for macrobiotic porridge. The study was conducted in several stages. In the first stage, the samples were dried by means of IR radiation. At the second stage, physical and chemical parameters of dried samples were determined, namely: acidity, humidity, and dry substances. Acidity was determined by titration of sodium hydroxide extract. Dry substances and humidity were determined when berry samples were dried at fixed temperature with a fixed time. The main conclusions about the work done were made.

Keywords: macrobiotic porridges, fruit, and berry raw materials, berries, drying, irradiation, acidity, dry matter, humidity, pomace, functional products of pythanium.

RELATIONSHIP BETWEEN THE CARBOHYDRATE COMPOSITION OF MALTODEXTRIN AND ORGANOLEPTIC PARAMETERS OF CURD WHEY CONCENTRATE OBTAINED BY NANOFILTRATION

A. L. Novokshanova, N. O. Matveeva, A. A. Nevsky

For people who have a lot of physical activity, carbohydrates are the main source of energy. The production of domestic food products for athletes, including carbohydrate and protein, is currently limited. The Department of milk and dairy products technology at Vologda state MEDICAL Academy is INVESTIGATING the possibility of using curd whey concentrate obtained by nanofiltration as a source of biologically complete proteins and carbohydrates for a sports product. An additional carbohydrate ingredient is suggested to use maltodextrin of domestic production with different degrees of hydrolysis. The paper presents the results of studies of organoleptic parameters of curd whey concentrate obtained by nanofiltration when adding different amounts of maltodextrin of two types. Maltodextrin with the dextrose equivalent of 12 and 20 was added to the samples of curd whey concentrate obtained by nanofiltration in an amount from 5% to 15% with a step of 5%. To describe organoleptic indicators, scales for evaluating taste, smell, consistency and color have been developed. Water solutions of maltodextrin were used as a control. It was found that the amount and type of maltodextrin introduced affect the organoleptic parameters of curd whey concentrate. Maltodextrin with a higher degree of hydrolysis, introduced in an amount from 5% to 15%, completely dissolved in the curd whey concentrate and did not violate the stability of the colloidal system. As a result, the required amount of maltodextrin is recommended for adding to the product.

Keywords: specialized food products, sports nutrition, nanofiltrate concentrate, curd whey, maltodextrin, organoleptic indicators.

STUDYING QUALITY AND SAFETY DAIRY PRODUCTS

V. V. Trigub, M. V. Nikolenko

Dairy products are a unique and valuable product designed to meet the physiological needs of humans. To prevent souring and increase the shelf life, products are pasteurized, sterilized, preserved with the addition of chemical inhibitors. Currently, there are many counterfeit dairy products on the Russian market. Especially often falsification is associated with the replacement of milk fat with vegetable oils, fats and spreads. The paper presents an assessment of the quality of milk and dairy products sold on the market of Tyumen, in terms of physical, chemical and microbiological indicators. Determination of physicochemical indicators of dairy products was carried out by thermogravimetric, titrimetric methods. For an accelerated sanitary and bacteriological examination of the collected samples, the express method of microbiological analysis was used, which provides significant savings in labor and time during monitoring. This method is based on recording changes in the electrical impedance of the nutrient medium that occurs under the influence of the growth processes and vital functions of microorganisms in the test sample. It was experimentally established in the course of chemical analysis that the selected samples corresponded to the declared quality indicators. Microbiological research methods revealed inadequate sanitary and hygienic condition of objects, the degree of their contamination with bacterial and fungal microbiota, the presence of pathogens of intestinal infections.

Keywords: Safety of dairy products, physical and chemical, microbiological indicators.

INFLUENCE OF DIFFERENT METHODS OF BEER WORT FERMENTATION ON QUALITATIVE INDICATORS OF LIGHT BEER

E. P. Kamenskaya, A. A. Chanchikova

*The article is devoted to the study of the influence of various methods of fermentation on the apparent degree of fermentation of beer wort, the intensification of the main fermentation process and the quality indicators of light beer "Nemetskoe". The following methods of wort fermentation were considered: fermentation in fermentation vats and cylindro-conical tanks under the following modes: classical method; with cold fermentation and with warm fermentation mode. For the production of light beer samples with an initial wort extract of 11 %, we used bottom-fermented brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae*, strain W 95, with an initial cell concentration in the wort of 10-12 million cells / cm³. During the main fermentation, changes in the visible extract, acidity, visible degree of fermentation were monitored in the wort, and in the finished beer - the quality indicators by traditional methods used in the brewing industry. The analysis of the research results showed that the process of fermentation of wort extractives in CCT under cold and warm modes of fermentation is completed already on the fourth day with an apparent degree of fermentation of 68.2 % and 67.3 %, respectively. The fermentation process in the CCT in the classical way ends on the fifth day, and in the fermentation tank on the seventh day with the same apparent degree of fermentation - 66.4 %. It was found that in the technology of production of light beer "Nemetskoe" with the use of brewer's yeast *S. cerevisiae* strain W 95, the most effective fermentation process in CCT under cold conditions with a maximum temperature of 11 ° C. This method allows you to reduce the duration of the main fermentation to 4 days while maintaining the quality of the finished beer, as well as to increase the apparent degree of fermentation of the wort to 68.8 % and improve the foaming performance: foam height by 14 % and foam retention by 25 % compared to the control sample.*

Keywords: fermentation, beer, beer wort, fermentation tanks, cylindrical-conical tanks, yeast, fermentation, visible extract, visible degree of fermentation.

RISK-ORIENTED APPROACH IN THE TECHNOLOGY OF THE ENRICHED FLOUR CONFECTIONERY GOODS

A. M. Chistyakov, I. Yu. Reznichenko, M. V. Petrova, Yu. V. Ustinova

The article presents the results of studies on the application of a risk-based approach in the production of fortified flour confectionery. The objects of research were the documentation of the company Confectioner OJSC and its organizational structure, production technology, cookies enriched with vitamin and mineral premix. As methods of analysis, systematization and generalization methods were used to analyze information about the enterprise, observation, questionnaires, QFD methodology for identifying risks and justifying their prevention, statistical analysis methods in accordance with the requirements of current regulatory documents. During the research, the strengths and weaknesses of the organizational structure of the enterprise were identified, the risks at each stage of the technology for preparing fortified cookies were analyzed, the main expectations of consumers of fortified cookies based on the methodology of deploying a quality function to improve products taking into account expected consumer needs were examined. We developed a program for continuous risk management, which provides the conditions for quick decision making, continuous risk assessment, determining the level of influence and degree of significance of risks on management decisions. They substantiated the implementation of information support for employees working with premix. They proposed the constituent elements of the risk management process: identification, analysis, planning and response, monitoring and management.

Keywords: risk, risk-based approach, organizational structure, vitamin-mineral premix "Valetek-8", fortified cookies, production technology, defects, consumer expectations, risk management.

THE TRANSFORMATION DIRECTIONS OF STABLE GAS CONDENSATE HYDROCARBONS UNDER ZEOFORMING CONDITIONS ON A ZEOLITE CATALYST

I. A. Bogdanov, A. A. Altynov, K. E-O. Mardanov, M. V. Kirgina

The process of stable gas condensate zeoforming was implemented on a laboratory catalytic unit, under conditions of varying technological parameters of the process (temperature, pressure, feedstock space velocity). The hydrocarbon composition of the feedstock and the obtained products was determined by the gas-liquid chromatography method. The transformation directions of stable gas condensate hydrocarbons under zeoforming conditions on a zeolite catalyst were considered, and the influence of process technological parameters on the composition and properties of the obtained products was investigated. The optimal technological parameters of the process were determined from the viewpoint of using the obtained products in the blending of gasoline. Recipes for the blending of RON-92, RON-95 and RON-98 gasolines using the obtained zeoforming products as the main blending component have been developed. The gasolines obtained according to the developed recipes meet all the requirements of current standards.

Keywords: stable gas condensate, zeolite catalyst, directions of transformation gasoline, octane number, zeoforming, temperature, pressure, feedstock space velocity.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND STRENGTH OF WELDED PIPE JOINTS WITH WALL DELAMINATION

D. V. Zhukov, S. V. Konovalov, A. A. Melnikov, K. K. Chaplygin

The causes of the occurrence and development of a crack with a length of 80.0 mm and a depth of up to 3.0 mm in an underground gas main pipeline along an annular weld made by high-frequency contact welding are investigated. As part of the study, a set of studies was carried out, including visual and measuring control, ultrasonic thickness measurement of pipe walls in the near-seam zone and for the base metal, optical microscopy, static tensile tests and fractographic analysis. The structure and morphology of the seam and metal of adjacent sections of pipes are considered, the behavior of stratifications and the influence of inclusions during welding are analyzed. It was found that the defects were initially present on one of the welded pipes and were stratifications with a thickness of 5 to 50 microns, located at different depths. During the welding process, there was a significant distortion of the layers with the formation of micropores and violation of the microstructure of steel in the defect zones. It was found that the presence of defects leads to significant local changes in the structure in the fusion zone and changes in the physical properties in these areas. It is shown that such changes in the structure most strongly affect the plasticity of defective areas. The relative elongation is reduced by almost half.

Keywords: Delamination, weld, tensile diagram, rolled product defects, electron microscopy, optical microscopy.

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON THE STRUCTURAL AND PHASE CHARACTERISTICS OF PRODUCTS OBTAINED BY SPS SINTERING

M. V. Loginova, A. V. Sobachkin, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, V. Y. Filimonov, A. Y. Myasnikov, A. V. Gradoboev

Experimental studies on the effect of gamma irradiation with an accumulated dose of $Dy = 5 \cdot 10^6$ Gy on the structural-phase states of activated powder mixtures of the Ti-Al-Nb system before SPS sintering and on the structural-phase characteristics of sintered products from non-irradiated and pre-irradiated powder mixtures are presented. It was experimentally established that after exposure γ -irradiation to a sintered product from a pre-irradiated mechanoactivated mixture of Ti + Al (25 At. %) + Nb (25 At. %) with the accumulated dose $Dy = 5 \cdot 10^6$ Gy while maintaining the phase composition of the sintered product: (O-phase (Ti_2AlNb), $\beta_0(B2)$ and $\alpha_2(Ti_3Al)$), the radiation-induced state is formed. It is characterized by splitting of diffraction peaks, changing their parameters, ordering the structural state of the observed compounds and forming separate clusters from them. Also, there is a change in the morphology of sintered products from the irradiated mixture, manifested in the appearance of a superstructure represented by areas of crystallite nucleation and areas of destruction of the lamellar structure. For a sintered product from a non-irradiated powder mixture no special radiation-induced state was detected after exposure to gamma irradiation.

Keywords: gamma-irradiation, mechanical activation, powder mixture, spark plasma sintering, x-ray diffractometry, structural parameters, crystal lattice.

FORMATION OF DIFFUSION LAYERS AND INVESTIGATION OF ROUGHNESS AT COMPLEX SATURATION OF THE STEEL SURFACE WITH 5KHNM BORON AND COPPER

S. A. Lysykh, Yu. P. Kharaev, V. N. Kornopol'tsev, He Xiao Zhong, B. D. Lygdenov, A. M. Guryev

One of the most effective and efficient methods of influencing the surface layer in order to improve its physical and mechanical properties is chemical and thermal treatment (CTO), in particular, boronation. The aim of this work is to study the effect of the amount of copper in the saturating medium on the formation of the diffusion layer and the height of micro-roughness (roughness) after complex saturation of the surface of 5KHNM alloy die steel with boron and copper.

It was found that as a result of complex saturation of the steel surface with 5KHNM boron and copper in a powder medium with a copper content of 9 % to 15 %, diffusion layers with a thickness of 140 to 330 microns were obtained on the steel surface, which allows us to develop a technology for creating a guaranteed allowance for finishing after CTO of critical machine parts and tools. It is shown that after complex saturation of the surface of 5KHNM steel with boron and copper in a powder medium with a copper content of 9 % to 15 %, the roughness deteriorates, while the relationship with the initial roughness is not observed.

Keywords: diffusion layer, complex saturation, boron, copper, micro-hardness, roughness.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SILICON STEEL ON ITS MECHANICAL PROPERTIES

E. A. Pismenny, A. M. Markov, D. A. Gabets

When designing and manufacturing steel products operating under shock-friction wear conditions, special attention is paid not only to the design of the product, but also to such properties as impact strength and hardness. To ensure high impact toughness and wear resistance, in addition to the chemical composition of the steel, it is necessary to take into account the method of heat treatment in which the resulting steel will have the best combination of strength and impact toughness. The article proposes the composition of steel obtained by remelting railway scrap. The dependences of the influence of the carbon content on the hardness and impact toughness were investigated under various modes of heat treatment. The modes of heat treatment of the obtained steel are determined, which provide high indicators of impact toughness and resistance in conditions of shock-friction wear. The result of the work is to obtain an optimal heat treatment mode for steel 50SL, providing a level of impact toughness of 85–92 J/cm² at a hardness of 250 ± 20 HB.

Keywords: hardening, steel, impact strength, alloying.

INVESTIGATION OF HEAT RESISTANCE OF TI-AL-NB COATING ON MODEL SAMPLES OF PISTON ALUMINUM ALLOY

A. V. Sobachkin, M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov,
A. Y. Myasnikov, M. R. Syrovezhkin

This work is devoted to determining the heat resistance of gas-detonation coatings based on SHS powders of Ti-Al-Nb composition. Using equipment «Katun M», coatings made of Ti-Al-Nb intermetallic powder materials were obtained on model samples made of a piston aluminum alloy. A mixture of propane-butane and oxygen was used as the detonating compound. According to the results of the study, it was found that after 400 and 500 deposition cycles, uniform multiphase coatings consisting of intermetallic compounds were formed in both cases: TiAl₃, TiAl, Ti₃Al, Nb₂Al. Annealing of each sputtered sample was performed in a muffle furnace in an air environment at temperatures of 300 °C, 450 °C and 550 °C for an hour. The preservation of the phase composition at temperatures up to 550 °C indicates the heat resistance of coatings at these temperatures. During the work, it was established that coatings based on intermetallic SHS-powder materials of Ti-Al-Nb composition will be able to protect the piston from burnout and other harmful factors of increased thermal impact, since the temperature of the piston, namely its hottest part – the bottom, is almost 2 times lower than the maximum temperature at which the tests were conducted.

Keywords: SHS-powder materials, Ti-Al-Nb, piston aluminum alloy, detonation-gas sputtering, heat resistance.

INVESTIGATION OF HYDRATION OF PORTLAND CEMENT USING CLAY MINERALS FROM THE EASTERN GOBI OF MONGOLIA

Ts. Erdenebat, B. Uuriintsolmon, R. Sanjaasuren, B. D. Lygdenov,
B. Namjildorj, J. Oyun

As a result of geological exploration in Mongolia, clay minerals containing the most kaolin were discovered, and their estimated total resource is approximately 866.9 thousand square meters. This work is aimed at determining the optimal way to use local kaolin for cement production. The work confirms the Pozzolan effects based on its physical and mechanical properties, setting time and hydration process, depending on the consistency in the mixture of cement paste with MK, and compares it with the local Portland cement ASTM PC 42.5 Type I, from LLC "Hutul cement" in the province of Selenga as a reference material. Clay containing approximately 50% kaolinite ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), 25% clay mineral (2:1) and 25% silica in the form of quartz was calcined to temperatures from 550 to 750°C for various periods of time. Kaolin clay and its calcined products were evaluated by the degree of dehydroxylation. And in the mode: 650°C, holding time for 2 hours, it is most effectively converted to highly reactive metakaolin in the form of MK. These calcination variations for converting kaolin clay to MK were also confirmed by Differential Thermal analysis – Thermo Gravimetric (DTA-TG), x-ray Diffraction analysis (XRDA), and Fourier infrared spectrometry (FTIR).

Adding a metakaolin mineral additive to cement increases its mechanical properties after 28 to 90 days of exposure. Compressive strength increased by 280 kg / cm² than that of cement without additives.

Improving the hydraulic activity of cement is associated with an increase in crystallization centers when adding activated powdered mineral to the solution, which corresponds to the General pattern of hydration and solidification of cement.

Keywords: Kaolin, Metakaoline, Dehydroxylation process, Pozzolan activity, Hydration products, Portlandite.

PROCEDURE FOR PREPARATION OF SAMPLES OF HIGH-ALLOYED STEELS FOR AUTOMATIC ANALYSIS OF THE CARBIDE PHASE

S. G. Ivanov, A. M. Guriev, S. A. Zemljakov, M. A. Guriev

The paper presents the features of sample preparation for automatic analysis of the carbide phase of high-alloy tool steels T30402, D2, T11302, M2 (AISI) using the "Thixomet PRO" software package. Primary etching to isolate the carbide phase was carried out in a 4% alcohol solution of nitric acid for 3-4 s after which the section was washed with water and dried with ethyl alcohol. The etching time was selected proceeding from the condition that etching of grain boundaries did not occur. The second stage of etching consisted of etching with Weck's reagent for 12–15 s to color the carbide phase in order to contrast it with the matrix for further analysis. For better etching contrast, the Weck's reagent was modified: 1-2 drops of a saturated aqueous solution of ammonium bifluoride were added before etching.

Keywords: microstructure, metallography, etching, microstructure analysis.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Айрумян В. Ю.	3	Николенко М. В.	44
Алтынов А. А.	60	Новокшанова А. Л.	39
Богданов И. А.	60	Оганесянц Л. А.	24
Вагнер В. А.	31	Ольховатов Е. А.	3
Воронина М. С.	35	Орлова Т. В.	16
Габец Д. А.	83	Оюун Ж.	93
Градобоев А. В.	71	Петрова М. В.	55
Гурьев А. М.	77, 102	Письменный Е. А.	83
Гурьев М. А.	102	Пруссакова А. Т.	35
Дубинина Е. В.	24	Резниченко И. Ю.	55
Егорова Е. Ю.	11	Санжаасурэн Р.	93
Жуков Д. В.	66	Ситников А. А.	71, 88
Запорожан Е. А.	11	Собачкин А. В.	88
Земляков С. А.	102	Собачкин А. В.	71
Иванов С. Г.	102	Сокол Н. В.	3
Каменская Е. П.	48	Сыровежкин М. Р.	88
Киргина М. В.	60	Тригуб В. В.	44
Коновалов С. В.	66	Устинова Ю. В.	55
Корнопольцев В. Н.	77	Уурийнцолмон Б.	93
Крикунова Л. Н.	24	Филимонов В. Ю.	71
Логина М. В.	71, 88	Хареев Ю. П.	77
Лыгденов Б. Д.	77, 93	Хэ Сяо Чжун	77
Лысых С. А.	77	Цыганок С. Н.	11
Марданов К. Э.	60	Чанчикова А. А.	48
Марков А. М.	83	Чаплыгин К. К.	66
Матвеева Н. О.	39	Чистяков, А. М.	55
Мельников А. А.	66	Швец С. Д.	24
Мясников А. Ю.	71, 88	Шелковская Н. К.	31
Намжилдорж Б.	93	Эрдэнэбат Ц.	93
Неевский А. А.	39	Яковлев В. И.	71, 88

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объёмом 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 чётных и нечётных 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 чётных страниц выравнивание по левому краю, для нечётных 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 (объёмом 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.: 8 (3852) 290924, e-mail: polz_journal@mail.ru

Подписано в печать 01.10.2020. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл.п.л. 13,6 Тираж 200 экз.
Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

