

Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики  
Государственная организация высшего профессионального образования  
«Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского»



На правах рукописи

ГРОМОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА  
ВЫСОКИМ ЦИКЛИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

Специальность 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2019

**Диссертация является рукописью.**

Работа выполнена в ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Министерства образования и науки Донецкой народной республики.

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент **Соколов Сергей Анатольевич**, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», зав. кафедрой общепромышленных дисциплин.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, доцент **Фалько Александр Леонидович**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;  
кандидат технических наук, доцент **Петрова Юлия Николаевна**, ГО ВПО «Донецкий государственный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», доцент кафедры общепромышленных дисциплин.

**Ведущая организация:** Государственное образовательное учреждение ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», кафедра технологии молока и молокопродуктов.

Защита состоится «11» апреля 2019 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.025.02 при ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» по адресу: 283055, г. Донецк, пр. Театральный, 28, корпус 7, ауд. 7304, тел: +38(062)304-50-50, e-mail: dissovet0102502@donnuet.education.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган Барановского» по адресу: 283017, г. Донецк, б. Шевченко, 30 (<http://library.donnuet.education>). Автореферат разослан \_\_\_\_\_

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.025.02  
к.т.н., доцент



Н.Н. Севаторов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Сливочное масло (СМ) представляет собой ценный пищевой продукт.

Как и все жиры, СМ является нестойким в хранении пищевым продуктом. Нестойкость жиров при хранении проявляется в их прогоркании, т.е. ухудшении вкуса и запаха, что приводит иногда к их непригодности для пищевого использования. К сожалению, СМ, вырабатываемому в настоящее время, присущи определенные пороки, снижающие потребительские свойства, пищевую и энергетическую ценность. Пороки могут быть обнаружены уже в свежем масле, но наиболее интенсивно развиваются в процессе хранения.

Ухудшение вкуса и запаха пищевых жиров является лишь внешним проявлением ряда сложных химических превращений жиров в процессе окисления, в результате чего они в значительной степени утрачивают свою пищевую ценность, а зачастую становятся и непригодными для пищевого использования.

Вопросам совершенствования технологии выработки СМ, повышения его качества и сроков хранения посвящены труды ученых ближнего и дальнего зарубежья: Вышемирского Ф.А., Гуляев-Зайцева С.С., Грищенко А.Д., Белоусова А.П., Андрианова Ю.П., Рашевской Т.А., Knoor E, King N, Haughton A.J., Striton A.J. и др.

В настоящее время в пищевой промышленности одной из инновационных технологий, обеспечивающих стабильность потребительских качеств продуктов питания в процессе их длительного хранения являются технологии высокого давления (ВД) и высокого циклического давления (ВЦД).

Поэтому, при разработке процесса, обеспечивающего получение СМ с высокими потребительскими качествами в процессе длительного хранения – наиболее целесообразно применить технологию ВЦД, обеспечивающую как микробиологическую безопасность продукта, так и улучшение его потребительских свойств.

Во многих странах Западной Европы, США, Японии уже разработаны технологии обработки продуктов ВД, что нашло отражение в научных работах зарубежных ученых Н. Пилар, Ф. Джонсон, У. Донг, Х. Огава, К. Фукушиза, Х. Фукумото и др. Из ученых стран бывшего СССР следует отметить С. Т. Туменова, В. А. Сукманова, В. М. Шаталова, С. А. Соколова, Ю. Н. Петрову.

Внедрение в практику выработки СМ технологий ВЦД затруднено, в связи с тем, что в настоящее время не изучен в достаточной мере механизм воздействия ВД на патогенную микрофлору СМ; отсутствуют исследования влияния параметров процесса обработки СМ ВЦД на его дисперсность, реологические свойства и свойства, влияющие на ухудшение качества СМ в процессе его хранения; не изучены потребительские свойства продукта, обработанного ВЦД; отсутствуют модели, позволяющие определять оптимальные параметры процесса обработки СМ ВЦД; не изучена динамика свойств СМ, обработанного ВЦД в процессе его длительного хранения, и, как следствие, в настоящее время, в стране не производят СМ длительного срока

хранения. Вышеперечисленные обстоятельства и определяют актуальность диссертационной работы.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Исследования проводились в соответствии с тематикой научно-исследовательских работ Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михайла Туган-Барановского Г-2005-2 «Совершенствование процесса производства кондитерских масс с использованием высокого давления» (№ ГР 0103U002113), Г-2006-2 «Использование высокого давления с целью улучшения свойств пищевых продуктов» (№ ГР 0105U007780), Д-2010-18 «Инновационные методы обработки продуктов питания и создание технологического оборудования» (№ ГР 0111U008821), хоздоговорной НИР № 684/2011 «Рекомендации по использованию высокого давления и субкритической воды в пищевых технологиях» (№ ГР 0111U007960), планом работы проблемной научно-исследовательской лаборатории ДонНУЭТ «Использование высокого давления в пищевых технологиях».

**Цель исследований:** научное обоснование, разработка и исследование процесса обработки СМ ВЦД с целью стабилизации его качества при длительном хранении.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие **задачи:**

- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его микробиологическую безопасность;
- изучить влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на активность воды;
- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на динамику его химических чисел во времени;
- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его термоустойчивость;
- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на дисперсность его основных компонентов;
- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его реологические свойства;
- исследовать влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его компрессионные характеристики;
- определить оптимальные параметры процесса обработки СМ ВЦД, обеспечивающие его высокое стабильное качество;
- разработать аппаратурную схему реализации разработанного процесса, соответствующую нормативную документацию и выполнить оценку ожидаемой социально-экономической эффективности внедрения результатов работы.

**Объект исследования** – процесс обработки СМ ВЦД.

**Предмет исследования** – параметры процесса, физико-механические и потребительские свойства СМ, обработанного ВЦД.

**Методы исследования.** При выполнении работы использованы теоретические и экспериментальные методы исследования с использованием современных измерительных устройств и приборов, среди которых - физико-химические методы, микробиологический и дисперсный анализ образцов, обработанных ВЦД.

Экспериментальные данные обрабатывались с помощью стандартных методов математической статистики, были использованы методы оптимизации.

**Обоснование и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.** Достоверность экспериментальных исследований влияния параметров процесса на свойства СМ обеспечена использованием уникального исследовательского комплекса ВД, снабженного системами автоматического управления и современных лабораторных методов исследования с применением компьютерных технологий. Достоверность полученных научных результатов, методик расчета, выводов и рекомендаций обеспечена использованием основных теорий микробиологии, реологии, методов дисперсного анализа пищевых продуктов, использованием современных измерительных приборов, математических методов обработки экспериментальных данных и подтверждается адекватностью результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

**Научная новизна работы.**

- обоснована перспективность применения ВЦД для производства СМ с высокими пищевыми и потребительскими свойствами, стабильными при его длительном хранении;

- установлено влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД (количество импульсов, максимальное давление импульса; скорости импульса при возрастании и снижении давления) на: активность воды и его микробиологические показатели; реологические показатели (коэффициент пенетрации, предельное напряжение среза, работа резания); химические числа, характеризующие стабильность качества СМ;

- исследовано влияние количества циклов нагружения на изменение относительного объема и плотности СМ;

- получены значения компрессионных показателей СМ (плотность, относительный объем, модуль объемной упругости, коэффициент сжимаемости) и исследована их динамика в процессе его обработки ВЦД;

- исследовано влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на изменение показателей (площадь частиц, их периметр, диаметр Фере, удлиненность, овальность, компактность), характеризующих дисперсность основных компонентов СМ (жировые шарики, частицы влаги и пузырьки воздуха);

- исследовано влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его термоустойчивость;

- научно обоснованы оптимальные параметры процесса обработки СМ ВЦД, позволяющие стабилизировать его стойкость и высокое качество в процессе длительного хранения.

**Практическое значение полученных результатов.**

- определены оптимальные параметры процесса обработки СМ ВЦД;

- подобрано технологическое оборудование для обработки СМ ВЦД при включении его в технологическую линию выработки СМ;

- разработаны Технические условия ТУ У 15.5-01566057-029:2012 «Масло сливочное супер» и Технологическая инструкция по производству «Масла сливочного супер».

**Личный вклад соискателя.** Автором лично определены направления и обоснованы методы теоретических и экспериментальных исследований, соискатель выполнил постановку, планирование, провел экспериментальные исследования и проанализировал результаты, сформулировал выводы по работе.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на ежегодных научных конференциях Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского в 2009-2018 годах; V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы питания: технология и оборудование, организация и экономика» (г. Донецк, 2009 г.); V Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании» (г. Варна, 2009 г.); VII Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» (г. Могилев, 2010 г.); международной научно-практической конференции «Новые технологии, оборудование, безопасность и качество пищевых продуктов: настоящее и перспективы» (г. Киев, 2010 г.); III международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы потребительского рынка товаров и услуг» (г. Киров, 2012 г.); X Всеукраинской научно-практической конференции «Морские технологии: проблемы и решения» (г. Керчь, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (г. Минск, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Прогрессивная техника и технологии пищевых производств, ресторанного и гостиничного хозяйств и торговли. Экономическая стратегия и перспективы развития сферы торговли и услуг» (г. Харьков, 2013 г.); Всеукраинской научно-технической конференции «Актуальные проблемы пищевой промышленности» (г. Тернополь, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства» (г. Казахстан 2013 г.), VII Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI век» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.), II Международной научно-практической конференции «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств» (г. Воронеж, 2016 г.)

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 28 научных работ, в том числе: 9 статей в специализированных научных изданиях Украины, 3 статьи в специализированных научных изданиях ДНР, 1 – в издании РФ (г. Москва), 1 – в издании Румынии, включенное в международные наукометрические базы (Index Copernicus, EBSCO), 2 патента Украины на полезную модель, 13 тезисов докладов и материалов конференций.

**Структура диссертации.** Основное содержание работы изложено на 177 страницах машинописного текста, который состоит из 6 разделов и 5 приложений. Диссертация проиллюстрирована 54 рисунками и содержит 41 таблицу. Список использованной литературы содержит 211 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, связь с научными программами, планами и темами, сформулированы цель и задачи исследований, определены объект, предмет и методы исследований, дано обоснование достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, приведены научное и практическое значения работы, представлена апробация, структура и количество публикаций по теме диссертации.

В первом разделе «Анализ научно-технической информации по проблеме исследования» проанализировано значение СМ в рационе питания человека, рассмотрены принципы и способы формирования качества СМ в современных способах его производства, показатели его качества и методики их контроля. Выполнен анализ научных исследований изменения потребительских и физико-механических показателей СМ в процессе его хранения, причин и факторов, приводящих к снижению качества СМ в процессе хранения. Проанализированы современные представления о процессе автоокисления жиров, механизм образования вторичных продуктов окисления в процессе автоокисления жиров и факторы, воздействующие на скорость их автоокисления, рассмотрено влияние качества сырья и технологии производства СМ на его устойчивость в хранении, описаны пороки СМ микробиологической природы и способы производства СМ длительного хранения.

Описаны принципы обработки продуктов питания ВД с целью стабилизации качества в процессе хранения и выполнен обзор оборудования, используемого для реализации данных процессов. Комплекс исследований представлен в виде программно-целевой модели исследований на рис. 1.

Во втором разделе «Аппаратурное и методическое обеспечение экспериментальных исследований» обоснован выбор объекта исследования - СМ пониженной жирности (72,5%) сладкосливочное «Крестьянское», целесообразность использования ВЦД и показаны его преимущества по сравнению со статическим ВД. Разработана циклограмма процесса обработки (Рис. 2) и определены области экспериментирования: значения давления – 230, 260, 290, 320, 350 МПа; скорость импульса при возрастании давления  $v_{и↑}$  = 1, 5, 10 МПа/с и скорость импульса при снижении давления  $v_{и↓}$  = 25, 10, 5 МПа/с.

Приведены описания экспериментальных установок ВЦД, а также методик проведения микробиологических, компрессионных, реологических исследований, исследования активности воды, дисперсности основных компонентов СМ (жировых шариков, частиц влаги, воздушных пузырьков), термоустойчивости СМ, химических чисел, характеризующих его качество.



Рис. 1. Программно-целевая модель проведения исследований



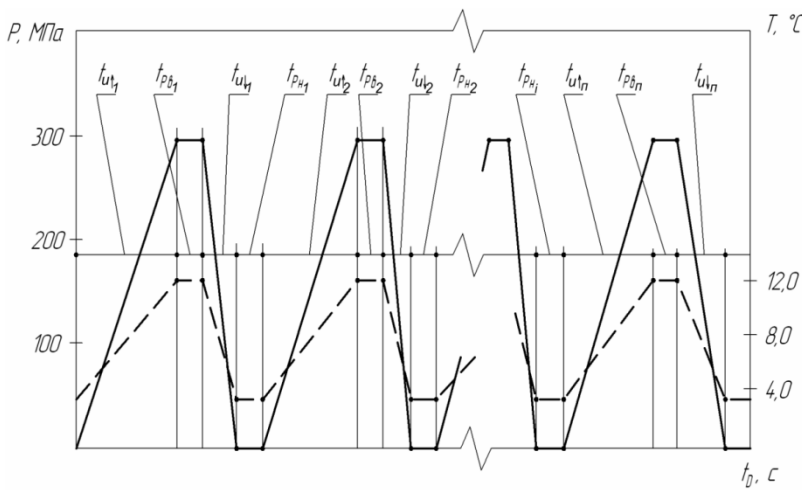


Рис. 2. Циклограмма процесса обработки СМ ВЦД

$t_{u\uparrow 1}, t_{u\downarrow 1}$  - продолжительность первого импульса при увеличении и снижении давления;  $t_{P_{\text{в}1}}, t_{P_{\text{н}1}}$  - длительность выдержки давления в первой верхней и нижней точках циклограммы;  $t_{P_{\text{н}i}}$  - длительность выдержки давления в  $i$ -той ( $i=1 \dots n$ )

верхней точки циклограммы;  $t_{u\uparrow i}, t_{u\downarrow i}$  - продолжительность  $n$ -ого импульса при увеличении и снижении давления. Количество циклов - от 1 до 5.

В третьем разделе «Экспериментальная оценка влияния параметров процесса обработки СМ ВЦД на свойства, определяющие стабильность его качества в процессе хранения» представлены результаты исследования динамики активности воды СМ в зависимости от величины максимального давления  $P_{\text{max}}$  и количества циклов  $n$  (Рис. 3).

Анализ данных показывает, что активность воды СМ, не обработанного ВЦД, составила 0,995. Активность воды существенно снижается после первых трех циклов нагружения: с 0,995 до 0,955 при  $P_{\text{max}} = 230$  МПа; до 0,940 при  $P_{\text{max}} = 290$  МПа и до 0,935 при  $P_{\text{max}} = 350$  МПа. При этом, увеличение значения  $P_{\text{max}}$  с 230 МПа до 350 МПа снижает значение активности воды с 0,985 до 0,975 после 1-го цикла; с 0,975 до 0,950 после 2-го цикла; с 0,955 до 0,935 после 3-го цикла; с 0,950 до 0,930 и с 0,950 до 0,925 после 5-го цикла соответственно.

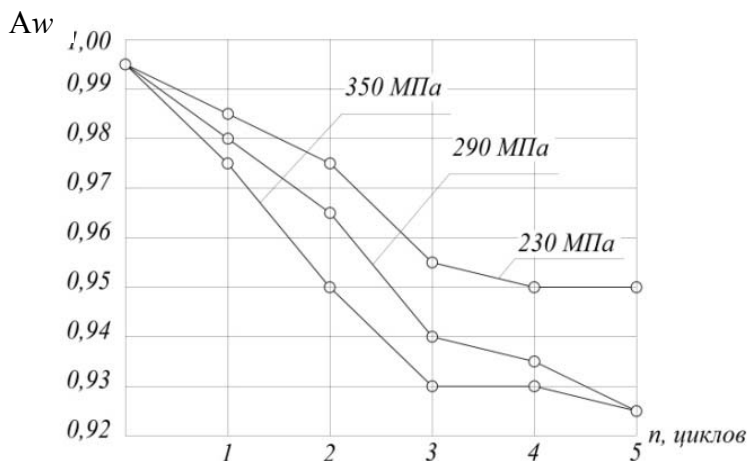


Рис. 3. Зависимость активности воды СМ от величины максимального давления  $P_{\text{max}}$  и количества циклов  $n$  при скорости импульса при возрастании давления  $v_{u\uparrow} = 1$  МПа/с и скорости импульса при снижении давления  $v_{u\downarrow} = 5$  МПа/с

Таким образом, обработка СМ ВЦД приводит к снижению активности воды. Наибольшее влияние на снижение значения активности воды оказывает количество циклов нагружения и величина максимального давления в каждом цикле; варьирование скорости импульса изменения давления влияет на изменение активности воды несущественно.

Получены зависимости изменения значений относительной концентрации бактерий группы кишечной палочки (БГКП) при обработке СМ ВЦД при различных параметрах процесса его обработки (Рис. 4). Экспериментально установлено, что при разных параметрах процесса обработки могут быть использованы кинетические модели как первого, так и второго порядка. При относительно невысокой интенсивности ( $P_{\max} = 230$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 1$  и  $5$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 5$  МПа/с) воздействия ВЦД на СМ скорость инактивации микрофлоры описывается линейной зависимостью, однако при увеличении интенсивности воздействия ВЦД на СМ ( $P_{\max} = 290, 350$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 10$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 10$  и  $25$  МПа/с) линейная зависимость переходит в двухфазовую модель. Микробиологическая стерильность СМ может быть обеспечена его обработкой ВЦД с параметрами процесса:  $P_{\max} = 290-350$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 5-10$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 10-25$  МПа/с. При этом количество циклов варьируется от 2 до 5.

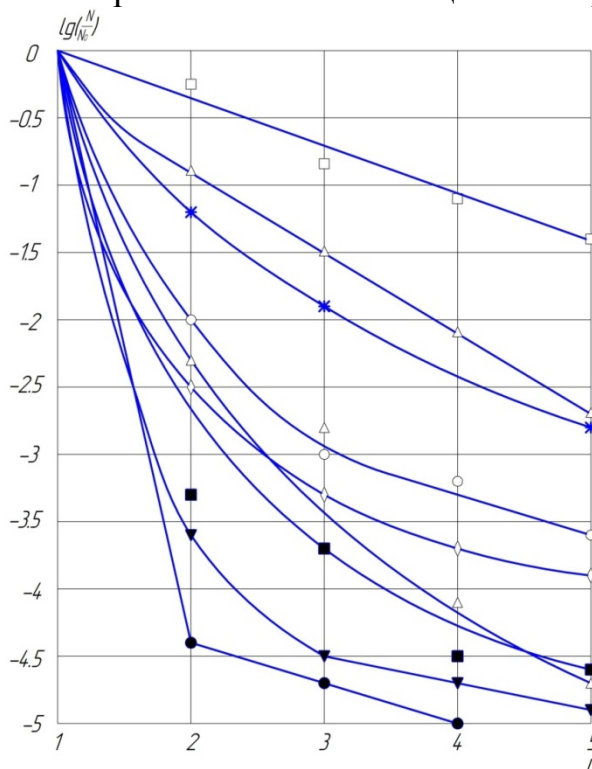


Рис. 4. Снижение относительной концентрации БГКП при различных параметрах процесса обработки СМ ВЦД

Обозначение точек	Параметры процесса: $P_{\max} - v_{u\uparrow} - v_{u\downarrow}$
□	230 - 1 - 5
△	230 - 5 - 10
○	230 - 10 - 25
*	290 - 1 - 5
◇	290 - 5 - 10
■	290 - 10 - 25
▲	350 - 1 - 5
▼	350 - 5 - 10
●	350 - 10 - 25

Следует отметить, что при параметрах процесса 350-5-10 ( $P_{\max} - v_{u\uparrow} - v_{u\downarrow}$ ) точка излома в двухфазной модели соответствует количеству циклов  $n=3$ , но при параметрах цикла 350-10-25 точка излома перемещается к  $n=2$ , что говорит о том, что при равных значениях величины  $P_{\max}$  скорость инактивации БГКП зависит от скорости подъема и сброса  $P_{\max}$ . Двухфакторная модель описания процесса имеет меньшее значение давления ( $P_{\max} = 290$  МПа), но аналогичные значения скоростей подъема и сброса давления, а именно - 290-5-10.

Экспериментально установлено, что микробиологические показатели (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, *St. Aureus*, бактерии группы кишечной палочки, дрожжи, плесневые грибы, патогенные микроорганизмы, в частности бактерии рода *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*) СМ, обработанного ВЦД с параметрами процесса 290-350 МПа,  $v_{u\uparrow} = 1-10$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 5$  и  $25$  МПа/с при его длительном

хранении в течение 12 месяцев при ( $t = 4 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ) отвечают требованиям НТД на данный продукт.

Обработка СМ ВЦД приводит к изменениям его свойств, которые описываются соответствующими химическими числами: перекисное (ПЧ), йодное (ЙЧ), кислотное (КЧ), число омыления (ЧО), числа Поленске ( $Ч_{\text{П}}$ ) и Рейхерта-Мейссля ( $Ч_{\text{Р-М}}$ ), которые характеризуют стойкость продукта в процессе хранения.

Скорость увеличения КЧ в образцах СМ, обработанных ВЦД существенно ниже по сравнению с данным показателем в контрольном образце. За первые 2 месяца хранения СМ КЧ в образцах, обработанных ВЦД, возросло в 1,16 – 1,03 раза, в зависимости от параметров процесса, в то время как в контрольном образце данный показатель вырос в 1,6 раза, что может быть объяснено тем, что количество кислорода, которое обеспечивает окисление жира в процессе его хранения в контрольных образцах выше, чем в опытных. В образцах СМ, обработанных ВЦД, рост КЧ происходит менее интенсивно при любых параметрах процесса и по истечении 12 месяцев хранения СМ значение КЧ у контрольных образцов было равно 1,86 мг КОН/г, а у образцов СМ, обработанных ВЦД – 1,49 – 1,02 мг КОН/г в зависимости от параметров процесса обработки.

Обработка СМ ВЦД способствует снижению процессов окисления в нем. В первые 2 месяца хранения как в контрольных образцах, так и в образцах, обработанных ВЦД, значения ПЧ возрастают, в контрольном образце в 1,5 раза, и в опытных образцах в 1,35 - 1,37 раза. В дальнейшем, в контрольном образце начинается незначительное снижение ПЧ; в образцах СМ, обработанных ВЦД наблюдается существенное снижение значения ПЧ в 1,71 - 1,73 раза. Через 5 месяцев хранения в контрольном образце ПЧ составляет 0,0118 ( $1/2 \text{ O}_2/\text{кг}$ ) и в опытных образцах 0,013 - 0,014 ( $1/2 \text{ O}_2/\text{кг}$ ).

Непосредственно после обработки СМ ВЦД значение его ЙЧ снижается с 30 до 28,4. В дальнейшем, в процессе хранения имеет место снижение ЙЧ у всех образцов, однако за первые три месяца хранения, в опытных образцах данный показатель снизился в 1,33 - 1,25 раза, в то время как в контроле данный показатель снизился лишь в 1,14 раза. Далее темпы снижения данного показателя в исследуемых образцах снижаются и через 12 месяцев хранения в контрольном образце ЙЧ равно 20,5 г  $\text{I}_2/100 \text{ г}$ , и в опытных образцах 19,5 - 19,1 г  $\text{I}_2/100 \text{ г}$ .

В опытных образцах в течение 2-х месяцев хранения ЧО выросло незначительно: с 226 до 228 и 230 соответственно; в контрольном образце данный показатель составил 240. Далее имело место увеличение данного показателя у всех образцов, и через 12 месяцев в контрольном образце ЧО было равно 263 и в опытных образцах 256 - 258.

В первые два месяца хранения  $Ч_{\text{П}}$  в контрольном образце увеличилось в 1,4 раза и в опытных образцах в 1,3 раза, после чего к третьему месяцу хранения в контрольном образце данный показатель снизился в 1,05 раза, в то время как в опытных образцах данный параметр снизился в 1,17 - 1,16 раза. В процессе дальнейшего хранения  $Ч_{\text{П}}$  во всех образцах непрерывно возрастало, и

через 12 месяцев хранения для контрольного образца оно было равно 5,3 и для опытных образцов 4,6 - 4,8.

В первые два месяца хранения  $Ч_{P-M}$  наиболее интенсивно возрастало в контрольном образце: с 26,5 до 40,5 (в 1,53 раза); увеличение данного показателя в опытных образцах составило 1,48 - 1,46 раза. В дальнейшем, к третьему месяцу хранения происходило снижение  $Ч_{P-M}$  до 38,5 в контрольном образце и 33,0 - 34,5 в опытных образцах, после чего наступал период практически монотонного возрастания данного показателя, как в контрольном, так и в опытных образцах. Через 12 месяцев хранения в контрольном образце  $Ч_{P-M}$  было равно 62,0 и в обработанных образцах 57,5 - 59,0.

В четвертом разделе «Влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на его физические, структурно-механические и потребительские свойства» была выполнена оценка термостойкости СМ в интервале температур от 26 до 35°C (Рис. 5).

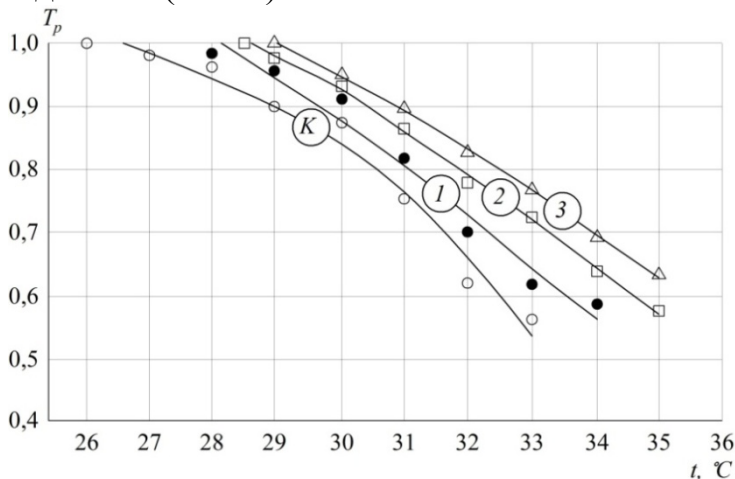


Рис. 5. Термоустойчивость СМ:

- К - контрольного образца,
- 1,2,3 - обработанных ВЦД.
- 1:  $P_{max} = 230$  МПа,  $n = 3$ ,  
 $v_{и\uparrow} = 5$  МПа/с;  $v_{и\downarrow} = 10$  МПа/с;
- 2:  $P_{max} = 290$  МПа,  $n = 3$ ,  
 $v_{и\uparrow} = 5$  МПа/с;  $v_{и\downarrow} = 10$  МПа/с
- 3:  $P_{max} = 350$  МПа,  $n = 3$ ,  
 $v_{и\uparrow} = 5$  МПа/с;  $v_{и\downarrow} = 10$  МПа/с

Анализ экспериментальных данных показывает, что обработка СМ ВЦД приводит к улучшению его термоустойчивости. Так, при стандартной температуре, предусмотренной ГОСТ 52253-2004 -  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  термостойкость контрольного образца составила 0,84, что соответствует «удовлетворительной» термоустойчивости (диапазон значений показателя  $0,70 \div 0,85$ ). При температуре  $30^\circ\text{C}$  показатель термоустойчивости для опытных образцов 1, 2 и 3 составил 0,88; 0,92 и 0,96 соответственно, что характеризует термоустойчивость данных образцов СМ как «хорошую». Улучшение показателя термоустойчивости в образцах СМ, обработанных ВЦД, может быть результатом изменения его дисперсности на макро- и наноуровне и увеличением его плотности.

При исследовании влияния параметров процесса обработки СМ ВЦД на дисперсность основных компонентов СМ (жировых шариков, частиц влаги, воздушных пузырьков) были проанализированы следующие их характеристики: площадь, диаметр Фере, удлиненность, компактность, округлость, овальность и получены гистограммы, сглаживающие функции распределения и средние значения исследуемых параметров.

Была изучена микроструктура масла, выработанного при следующих параметрах процесса: образец 1 —  $P_{max} = 320$  МПа,  $n = 5$ ;  $v_{и\uparrow} = 1$  МПа/с  $v_{и\downarrow} = 5$  МПа/с; образец 2 —  $P_{max} = 320$  МПа,  $n = 4$ ;  $v_{и\uparrow} = 10$  МПа/с,  $v_{и\downarrow} = 5$  МПа/с.

Анализ полученных результатов позволил констатировать, что количество жировых шариков в обработанных ВЦД образцах СМ несколько увеличилось (на 0,9 и 1,0% соответственно для образца 1 и 2 по сравнению с контрольным образцом), что свидетельствует о диспергировании (дроблении) жировых шариков под действием ВЦД. Средняя площадь жировых шариков в образцах 1 и 2 уменьшилась на 4,6 и 8,7%, что свидетельствует об уменьшении объема жировых шариков под действием ВЦД. Однако, периметр жировых шариков у образцов 1 и 2 уменьшился на 18 и 21,9%. Для пояснения данного обстоятельства целесообразно использовать показатель «диаметр Фере» (эквивалентный диаметр), который у рассматриваемых образцов также уменьшился на 22 и 29%. Данные величины могут быть объяснены тем, что ВЦД приводит к изменению формы жировых шариков, при которых они приобретают более правильную округлую форму. Это подтверждается параметром округлости жировых шариков, который в образцах 1 и 2 вырос соответственно на 5,3 и 9%. Увеличился также параметр компактности на 4,7 и 7,1% соответственно, и снизился параметр удлиненности на 13,0 и 10,1%. Таким образом, обработка СМ ВЦД приводит к дроблению его жировых шариков, повышению их компактности, они приобретают более правильную округлую форму.

Под действием ВЦД среднее количество частиц влаги после обработки ВЦД образцов 1 и 2 уменьшилось на 1%, однако их средняя площадь уменьшилась на 16,8 и 15,% соответственно. При этом среднее значение их периметра уменьшилось на 14,8 и 21,5%, а диаметр Фере уменьшился на 21,4 и 25,7% соответственно. В контрольных образцах СМ среднее значение диаметра Фере (эквивалентный диаметр) равен 3,98 мкм. Параметр удлиненности снизился на 10,3 и 14,1%; параметр округлости вырос на 28,3 и 27% соответственно, и компактность частиц влаги выросла на 1,2 и 8,3%.

Обработка ВЦД приводит к уменьшению количества пузырьков воздуха: на 36,9 и 34,5% для образцов 1 и 2. При этом их средняя площадь уменьшилась на 7,8 и 12,6%. Среднее значение их периметра уменьшилось на 10,3 и 20,2%, а среднее значение диаметра Фере – на 30,6 и 33,2% соответственно. Сравнительный анализ приведенных значений показывает, что объем пузырьков газовой фазы уменьшился и пузырьки воздуха стремятся приобрести форму правильной сферы. Это подтверждает и увеличение параметра округлости на 2,4 и 3,4% и увеличение компактности пузырьков газовой фазы на 12,9 и 15,3%.

При анализе структурно-механических свойств СМ, выработанного с использованием технологии ВЦД, были изучены: коэффициент пенетрации, предельное напряжение среза, работа резания, плотность, относительный объем, коэффициент сжимаемости, модуль объемного сжатия (Рис. 6).

Изменение усилия при перемещении конуса для определения коэффициента пенетрации при постоянной скорости его перемещения и изменение усилия резания в зависимости от перемещения ножа, полученные для контрольного образца СМ, и образцов, произведенных с использованием

технологии ВЦД, были описаны зависимостью  $y = a + b \cdot e^{-c \cdot x}$ . При этом, усилие резания при 35 мм перемещения ножа составило для контрольного образца 11 Н, для образца, обработанного  $P_{\max} = 230$  МПа,  $v_{и\uparrow} = 1$  МПа/с,  $v_{и\downarrow} = 5$  МПа/с 9,5 Н, образца, обработанного  $P_{\max} = 290$  МПа,  $v_{и\uparrow} = 5$  МПа/с,  $v_{и\downarrow} = 10$  МПа/с 8,2 Н и образца, обработанного  $P_{\max} = 350$  МПа,  $v_{и\uparrow} = 10$  МПа/с,  $v_{и\downarrow} = 25$  МПа/с 7,2 Н. При этих же параметрах процесса усилие для перемещения конуса на 24 мм при определении коэффициента пенетрации составило соответственно 4,0 Н, 3,4, 3,0 и 2,8 соответственно.

Наибольшие изменения относительного объема и плотности СМ происходят после 1 и 2-го циклов нагружения: относительный объем за первые 2 цикла уменьшается на 0,1 и за последующие 3 цикла – на 0,01 при  $P_{\max} = 230$  МПа и при  $P_{\max} = 350$  МПа уменьшение относительного объема составляет 0,13 и 0,01 соответственно. Плотность масла за первые 2 цикла увеличивается на  $85 \text{ кг/м}^3$ ; за последующие 3 цикла – на  $14 \text{ кг/м}^3$  при  $P_{\max} = 230$  МПа и при  $P_{\max} = 350$  МПа увеличение плотности происходит на  $87 \text{ кг/м}^3$  и  $16 \text{ кг/м}^3$  соответственно.

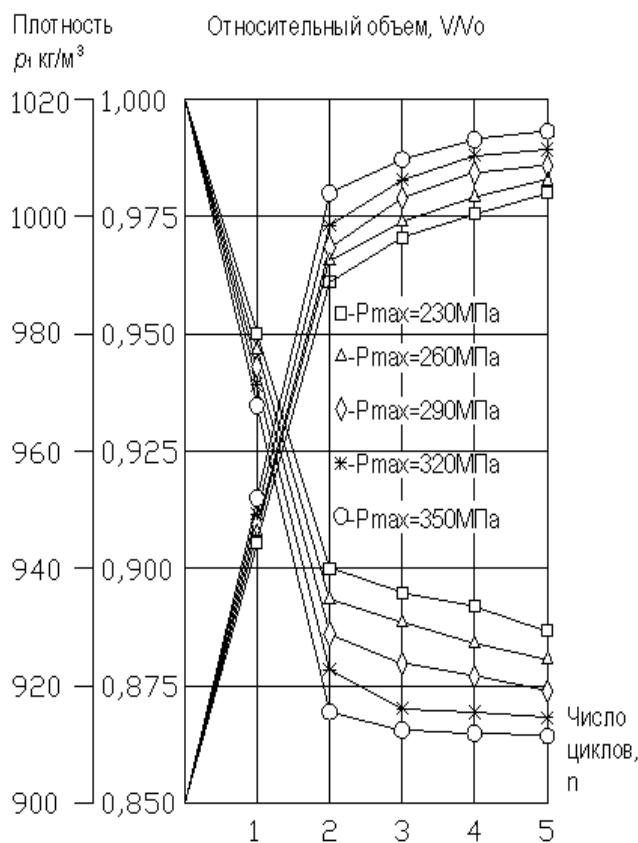


Рис. 6. Изменение относительного объема и плотности СМ в зависимости от количества циклов нагружения

Получены экспериментальные зависимости изменения абсолютного и относительного объемов продукта, плотности, модуля объемной упругости и коэффициента сжимаемости (Рис. 7).

Анализ полученных результатов показал, что в процессе обработки СМ ВЦД относительный объем продукта при количестве циклов  $n=5$  и

Выполнено нелинейное оценивание зависимостей с использованием кусочно-линейной регрессии и установлено, что точка разрыва функций соответствует 2-му циклу нагружения.

Упругие свойства исследуемых образцов определяли в диапазоне давлений от 0,1 до 230 МПа и 350 МПа. Исследовали гистерезисные явления компрессионных показателей у исследуемых объектов; запись контролируемых параметров осуществляли как в период увеличения давления от атмосферного до величины  $P_i$ , так и в обратном направлении, при уменьшении величины давления от значения  $P_i$  до атмосферного, где  $i$  – значение максимального давления при циклической обработке.

максимальном давлении 230 МПа уменьшается до 0,88, и при максимальном давлении цикла 350 МПа – до 0,86; после снятия давления, как в первом, так и во втором случае данный параметр возрастает и составляет 0,96 от первоначального его значения; плотность продукта при тех же параметрах процесса ( $n=5$ ,  $P_{\max}=230$  МПа и 350 МПа) увеличивается на 10,9% (с  $905 \text{ кг/м}^3$  до  $1004 \text{ кг/м}^3$ ) и на 12,5% (с  $905 \text{ кг/м}^3$  до  $1018 \text{ кг/м}^3$ ) соответственно; после снятия давления плотность снижается до значения  $947 \text{ кг/м}^3$ , что составляет 4,4 от первоначального; значение модуля объемного сжатия при увеличении давления увеличивается практически в 17 раз (с  $0,55 \times 10^{-3}$  МПа до  $9,4 \times 10^{-3}$  МПа) и затем возвращается до величины  $2,0 \times 10^{-3}$  МПа; изотермический коэффициент сжатия при подъеме давления снижается на 77,3% (от  $1,1 \times 10^{-3}$  до  $0,25 \times 10^{-3}$  МПа $^{-1}$ ) и затем при снятии давления его значение превышает:  $4,5 \times 10^{-3}$  МПа $^{-1}$ .

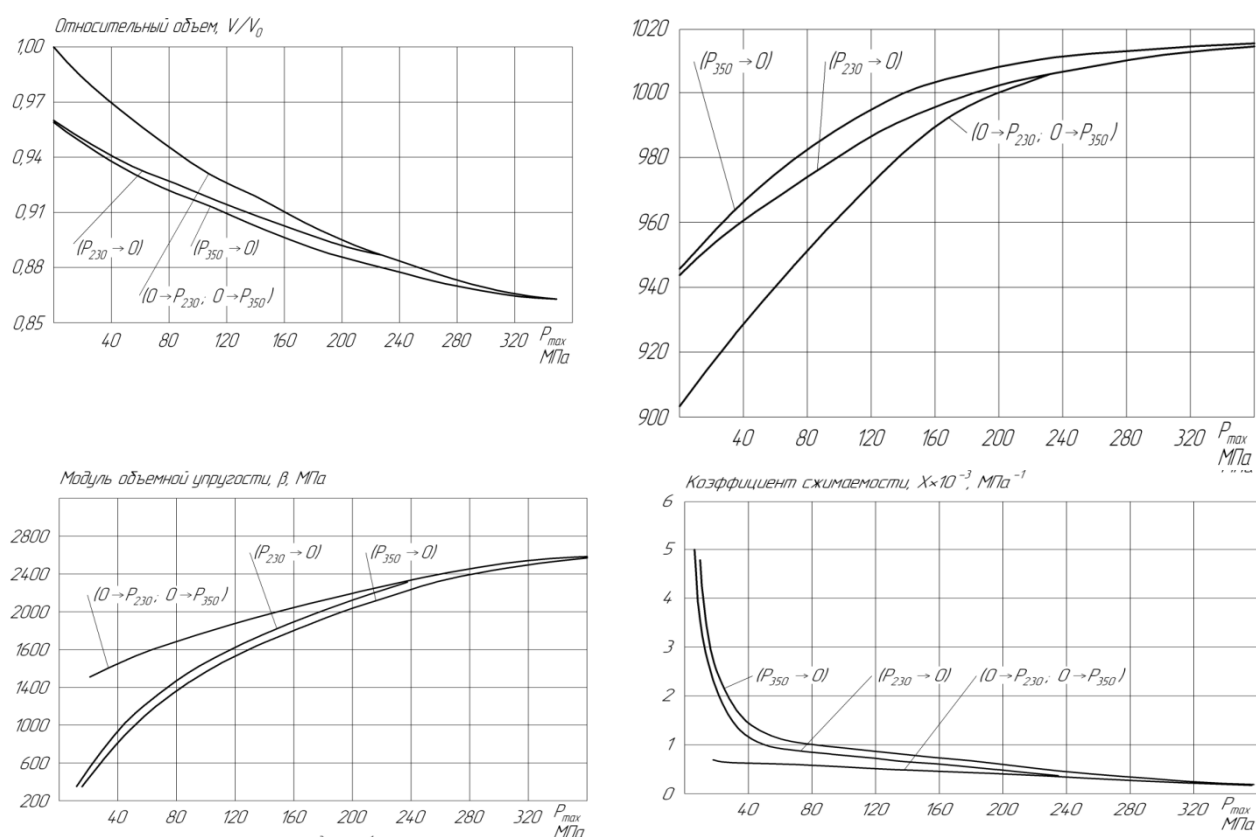


Рис. 7. Изменение показателей компрессионных свойств СМ при обработке ВЦД

Установлено, что наибольшие изменения всех вышерассмотренных компрессионных показателей происходят при давлениях до 230 МПа, а, следовательно, для изменения структуры СМ достаточно давления до 230 МПа.

**В пятом разделе «Оптимизация параметров процесса обработки СМ ВЦД с целью стабилизации его качества»** проведены исследования влияния параметров процесса обработки СМ ВЦД на изменение его свойств, описываемых химическими числами, которые характеризуют окислительные процессы, происходящие в СМ в процессе его хранения.

Величина ПЧ наиболее существенно снижается после второго цикла. Так, в образцах с параметрами процесса 230-1-5, 230-5-10 и 230-10-25 после 1-го цикла величина ПЧ снизилась на 4%, в образцах с параметрами процесса 290-10-25 и 350 МПа с любыми значениями  $v_{и\uparrow}$  и  $v_{и\downarrow}$  ПЧ снизилось на 19,1%. После 2-го цикла ПЧ образца 230-1-5 не изменилось; в образце 350-10-25 величина ПЧ снизилась на 51,3%.

Влияние параметров процесса обработки СМ ВЦД на величину ЙЧ, аналогично предыдущему показателю, наиболее существенно зависит от  $n$  и  $P_{\max}$ . Так, после 1-го цикла данный показатель в образцах с параметрами процесса 230-1-5 уменьшился на 2,7%; в образцах с параметрами процесса 350-10-25 эта величина уменьшилась на 7,3%. В этих же образцах после 2-го цикла по сравнению с контрольным образцом ЙЧ уменьшилось на 3,2 и 26,7% и после 3-го цикла – на 4,1 и 28,3% соответственно.

Темпы снижения величины ЧО в образцах с параметрами 230 МПа, 1, 5, 10 МПа/с невысокие и практически не изменяются при увеличении  $n$ . В образцах с  $P_{\max} = 350$  МПа величина ЧО после 2-го цикла снизилась на 2,9-4,2%.

Обработка СМ ВЦД с параметрами процесса 230-1-5 практически не снижает величину  $Ч_{\text{Пол}}$ . В то же время, при реализации процесса 350-5-10 и 350-10-25 данная величина уменьшается на 19,5-20,0%.

Величина  $Ч_{\text{р-м}}$  наиболее существенно уменьшается после 2-го и 3-го цикла в процессах, в которых  $P_{\max} = 350$  МПа и практически не уменьшается при обработке образцов СМ  $P_{\max} = 230$  МПа: при увеличении  $v_{и\uparrow}$  и  $v_{и\downarrow}$  данный показатель снижается на 0,3-4,0%.

Обобщение полученных результатов показало, что в исследуемом диапазоне значений параметров процесса контролируемые показатели существенно изменяются при значениях  $n = 2$  и 3. Увеличение количества циклов до 5 практически не влияет на изменение показателей. Наиболее сильно контролируемые показатели зависят от величины максимального давления  $P_{\max}$  и затем уже оказывают влияние величины  $v_{и\uparrow}$  и  $v_{и\downarrow}$ .

Изучение динамики химических чисел СМ, обработанного ВЦД в процессе хранения в течение 12 месяцев показало следующее.

Скорость увеличения КЧ в образцах СМ, обработанных ВЦД существенно ниже по сравнению с данным показателем в контрольном образце. За первые 2 месяца хранения СМ КЧ в образцах, обработанных ВЦД возросло в 1,16 – 1,03 раза, в то время как в контрольном образце данный показатель возрос в 1,6 раза. Обработка СМ ВЦД способствует уменьшению в нем продуктов окисления: через 5 месяцев хранения в контрольном образце ПЧ равно 0,0118(1/2  $O_2$ )/кг и в опытных образцах 0,013 - 0,014 (1/2  $O_2$ )/кг. За первые три месяца хранения СМ, обработанного ВЦД значение его ЙЧ снизилось в 1,33 - 1,25 раза, в то время как в контроле данный показатель снизился лишь в 1,14 раза; через 12 месяцев хранения в контрольном образце ЙЧ равно 20,5 г  $I_2/100$  г, и в опытных образцах 19,5 - 19,1 г  $I_2/100$  г. Через 12 месяцев в контрольном образце СМ ЧО было равно 263 и в опытных образцах 256 - 258. Количество растворимых в воде летучих жирных кислот ( $Ч_{\text{р-м}}$ ), и количество нерастворимых в воде летучих жирных кислот ( $Ч_{\text{П}}$ ), содержащихся



в масле возрастают в контрольных и опытных образцах, но через 12 месяцев хранения в контрольном образце  $Ch_{p-m}$  было равно 62,0 и в контрольных образцах 57,5 - 59,0 и величина  $Ch_{п}$  для контрольного образца составила 5,3 и для опытных образцов 4,6 - 4,8.

Для получения оптимальных параметров процесса был использован метод неопределенных множителей Лагранжа, составлена функция цели и система уравнений Лагранжа. В результате проведенного центрального композиционного ротатбельного планирования разработана оптимизационная модель, которая дала возможность получить значения оптимальных режимов обработки СМ ВЦД: величина максимального давления, МПа -  $P_{max} = 320-340$ ; количество циклов нагружения,  $n = 2-3$ ; скорость подъема давления, МПа/с,  $v_{и\uparrow} = 7-10$ ; скорость сбрасывания давления, МПа/с,  $v_{и\downarrow} = 15-25$ , что обеспечило производство СМ с химическими числами, указывающими на увеличение его стойкости и стабильности качества в процессе длительного хранения (табл. 1).

Таблица 1

### Изменение химических чисел СМ в результате его обработки ВЦД

Наименование показателя	Значение показателя (химического числа)			Значения параметров, нормируемые ГОСТом
	Непосредственно после выхода из маслообразователя	Контроль СМ через 3 месяца хранения	Опытные образцы СМ через 3 месяца хранения	
Кислотное число, мг КОН/г	1,15	1,16	0,51–0,57	< 1 ... 75
Перекисное число, ( $\frac{1}{2}O_2$ )/кг	0,024	0,025	0,014–0,016	0,03 ... 0,1
Йодное число, $I_2/100$ г	30	26	22-24	22 ... 48
Число омыления, мг КОН/г	228	241	229–233	218 ... 235
Число Поленске	3,15	3,25	2,45–2,55	1,3 ... 3
Число Рейхерта-Мейссля	26,5	40	33-35	23 ... 35

В шестом разделе «Практическая реализация результатов исследований» разработана аппаратная схема выработки СМ длительного срока хранения, которая включает в себя выпускаемое технологическое оборудование для обработки СМ ВЦД, разработаны технические условия ТУ 15.5-01566057-029:2012 «Масло сливочное супер» и Технологическая инструкция по производству «Масла сливочного супер». Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований на некоторых предприятиях составил 237 тыс. грн. в год.

## ВЫВОДЫ

1. СМ, вырабатываемое в настоящее время, имеет определенные пороки, приводящие в процессе хранения к снижению его пищевой ценности и показателей его безопасности. Определено, что наиболее перспективно для решения данной проблемы применить технологию ВЦД, что обеспечит микробиологическую безопасность и высокие потребительские качества СМ при длительном хранении.

2. Установлено, что обработка СМ ВЦД позволяет снизить активность воды. Наибольшее влияние на снижение значения активности воды оказывает количество циклов нагружения и величина  $P_{\max}$  в каждом цикле: активность воды существенно снижается после первых трех циклов нагружения: с 0,995 до 0,955 при  $P_{\max} = 230$  МПа; до 0,940 при  $P_{\max} = 290$  МПа и до 0,935 при  $P_{\max} = 350$  МПа. При этом, увеличение значения  $P_{\max}$  с 230 МПа до 350 МПа снижает значение активности воды с 0,985 до 0,975 после 1-го цикла; с 0,975 до 0,950 после 2-го цикла; с 0,955 до 0,935 после 3-го цикла соответственно.

3. Получены зависимости значения относительной концентрации БГКП при обработке СМ ВЦД при различных параметрах процесса: при значениях параметров  $P_{\max} = 230$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 1$  и 5 МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 5$  МПа/с скорость инактивации микрофлоры описывается линейной зависимостью, однако при увеличении значений параметров процесса ( $P_{\max} = 290, 350$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 10$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 10$  и 25 МПа/с) линейная зависимость переходит в двухфазовую модель. Микробиологическая безопасность СМ может быть обеспечена его обработкой ВЦД с параметрами процесса:  $P_{\max} = 290-350$  МПа,  $v_{u\uparrow} = 5-10$  МПа/с,  $v_{u\downarrow} = 10-25$  МПа/с при количестве циклов от 2 до 5.

4. Увеличение значений параметров процесса обработки СМ ВЦД приводит к повышению его стойкости в процессе хранения и улучшению его свойств, которые характеризуются соответствующими химическими числами.

Скорость увеличения КЧ в образцах СМ, обработанных ВЦД существенно ниже по сравнению с данным показателем в контрольном образце. За первые 2 месяца хранения СМ КЧ в образцах, обработанных ВЦД возросло в 1,16 – 1,03 раза, в зависимости от параметров процесса, в то время как в контрольном образце данный показатель возрос в 1,6 раза. Обработка СМ ВЦД способствует уменьшению в нем продуктов окисления: через 5 месяцев хранения в контрольном образце ПЧ равно 0,0118(1/2 O<sub>2</sub>)/кг и в опытных образцах 0,013 - 0,014 (1/2 O<sub>2</sub>)/кг. За первые три месяца хранения СМ, обработанного ВЦД значение его ЙЧ снизилось в 1,33 - 1,25 раза, в то время как в контроле данный показатель снизился лишь в 1,14 раза; через 12 месяцев хранения в контрольном образце ЙЧ равно 20,5 г I<sub>2</sub>/100 г, а в опытных образцах 19,5 - 19,1 г I<sub>2</sub>/100 г. Через 12 месяцев в контрольном образце СМ ЧО было равно 263 и в опытных образцах 256 - 258. Количество растворимых в воде летучих жирных кислот ( $Ч_{P-M}$ ) и количество нерастворимых в воде летучих жирных кислот ( $Ч_{II}$ ), содержащихся в масле, возрастают в контрольных и опытных образцах, но через 12 месяцев хранения в контрольном образце  $Ч_{P-M}$  было равно 62,0, а в

контрольных образцах 57,5 - 59,0 и величина  $Ch$  для контрольного образца составила 5,3, для опытных образцов - 4,6 - 4,8.

5. Обработка СМ ВЦД приводит к повышению показателя его термоустойчивости: в зависимости от режимов обработки опытных образцов СМ данный показатель равен 0,88-0,96, у контрольного образца данный показатель равен 0,84.

6. Обработка СМ ВЦД приводит к изменениям дисперсности основных компонентов СМ: по сравнению с контрольным образцом количество жировых шариков увеличилось на 1%, при этом их средняя площадь уменьшилась на 4,6 - 8,7%, возрос показатель их компактности на 4,7 и 7,1%; средняя площадь частиц влаги, по сравнению с контролем, уменьшилась на 15-16,8%; количество воздушных пузырьков уменьшилось на 34,5 - 36,9% и средний диаметр уменьшился на 30,6 - 33,2%.

7. При возрастании значений параметров процесса происходит уменьшение значений коэффициента пенетрации, работы резания и увеличение предельного напряжения среза.

8. Получены зависимости изменения компрессионных показателей СМ, обработанного ВЦД (плотность, относительный объем, модуль объемной упругости, коэффициент сжимаемости) от параметров процесса его обработки.

9. В результате построения и решения оптимизационной модели методом неопределенных множителей Лагранжа получены значения оптимальных режимов обработки СМ ВЦД:  $P_{\max} = 320-340$  МПа;  $n = 2-3$ ;  $v_{и\uparrow} = 7-10$  МПа/с;  $v_{и\downarrow} = 15-25$  МПа/с.

10. Выполнен комплекс мероприятий по внедрению результатов исследований в производство: разработаны аппаратурная схема процесса обработки СМ ВЦД, технические требования на установку для реализации данного процесса, Технические условия ТУ У 15.5-01566057-029:2012 «Масло сливочное супер» и Технологическая инструкция по производству «Масла сливочного супер». Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 237 тысяч гривен в год.

### **Перечень работ, опубликованных по материалам диссертации**

#### **Статьи в научных изданиях:**

1. Соколов С.А., Громов С.В., Кіріченко В.О. Дослідження впливу високого тиску на вершкове масло // Обладнання та технології харчових виробництв: збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – Вип. 22. – С. 414 – 419.

2. Сукманов В.О., Левіт І.Б., Громов С.В. Вплив параметрів процесу обробки вершкового масла високим циклічним тиском на його стійкість і стабільність якості в процесі зберігання. // Вісник ДонНУЕТ: наук. журнал – Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. – Вип. 57. – С. 42-55.

3. Сукманов В.О., Гаркуша В.Б., Басараб О.С., Громов С.В. Вплив параметрів процесу обробки вершкового масла високим циклічним тиском на його мікробіологічні показники // Обладнання та технології харчових виробництв: збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. – Вип. 30. – С. 175-186.

4. Сукманов В.О., Громов С.В. Порівняльний аналіз методів виробництва вершкового масла. // Вісник ДонНУЕТ: наук. журнал – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – Вип. 49. – С. 88-97.
5. Громов С.В. Визначення внутрішньої енергії вершкового масла // Обладнання та технології харчових виробництв: збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 23. – С. 13 – 18.
6. Громов С.В., Кіріченко В.О. Математичне моделювання процесу обробки харчових продуктів високим тиском // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - Вип. 10. - Т. 1. - С. 173-178.
7. V.Sukmanov, I. Levit, S. Gromov Structure formation and dispersion analysis of butter, processed under high cyclical pressure // EcoAgriTourism – Brasov, Romania, 2012 – P. 137-143.
8. Сукманов В.А., Громов С.В., Кристя Д.А., Моисеева В.К. Исследования термоустойчивости и температуры плавления сливочного масла, обработанного высоким циклическим давлением // Обладнання та технології харчових виробництв: збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. – Вип. 31. – С. 185 – 196.
9. Сукманов В.А., Громов С.В., Кристя Д.А., Моисеева В.К. Дисперсность влаги сливочного масла, обработанного высоким циклическим давлением // Пищевая наука и технология: научно-производственный журнал. – Одесса: ОНАПТ, 2013. – Вип. 22. – С. 89-92.
10. Громов С.В., Кириченко В.А. Экспериментальное определение основных характеристик сливочного масла, обработанного высоким давлением // Повышение эффективности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности. Сб. науч. трудов – Москва, ФГБОУ ВО МГУДТ – 2016. – Том 2. – С. 171-175.
11. Громов С.В., Кириченко В.А. Влияние параметров обработки сливочного масла высоким циклическим давлением на активность воды // Оборудование и технологии пищевых производств. Темат. сб. науч. трудов – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ», 2017. – Вып. 1 (34). – С. 72-76.
12. Громов С.В., Кириченко В.А. Исследование скорости инактивации бактерий группы кишечной палочки при обработке сливочного масла высоким циклическим давлением // Оборудование и технологии пищевых производств. Темат. сб. науч. трудов – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ», 2017. – Вып. 1 (34). – С. 77-83.
13. Громов С.В., Кириченко В.А. К вопросу о математическом моделировании процесса обработки пищевых продуктов высоким давлением // Оборудование и технологии пищевых производств. Темат. сб. науч. трудов – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ», 2017. – Вып. 2 (35). – С. 86-90.

***Матеріали науково-практичних конференцій:***

14. Соколов С.А., Громов С.В., Кириченко В.А. Обработка сливочного масла высоким давлением // V Междунар. конф. «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Варна: Техн. универ., 2009. – с. 418-419.

15. Соколов С.А., Громов С.В., Кіріченко В.О. Вершкове масло під високим тиском // Міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка». – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – с. 207-208.
16. Кіріченко В.О., Громов С.В. О некоторых результатах обработки сливочного масла высоким давлением // Рибне господарство України: зб. тез доп. учасників X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Морські технології: проблеми і рішення - 2012», - Керч: 2012. – Вип. 7. С. 34-35.
17. Сукманов В.А., Громов С.В. Оптимизация параметров процесса обработки сливочного масла высоким циклическим давлением с целью стабилизации его качества // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: доклады междунар. научно-практич. конф. – Минск, 2013. - С.193-197.
18. Сукманов В.А., Громов С.В. Влияние высокого циклического давления на кислотное число сливочного масла // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: зб. тез доп. учасників міжнар. наук.-практич. конф., - Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2013. – Ч. 1. – С. 390-391.
19. Сукманов В.А., Громов С.В. Сохранность сливочного масла, обработанного высоким циклическим давлением // Актуальні проблеми харчової промисловості: науково-технічної конференції Тернопіль, 8-9 жовтня 2013.- Тернопіль: В-во ТНТУ, 2013. – С. 50-51
20. Сукманов В.А., Левит И.Б., Дебелый В.Л., Кириченко В.А., Громов С.В. О параметрах процесса обработки сливочного масла высоким циклическим давлением // Інноваційний розвиток харчової, легкої промисловості і індустрії гостинності: збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції - Казахстан, Алматинский технологический университет, 17-18 октября 2013 г. – С. 155-157.
21. Сукманов В.А., Гаркуша В.Б., Громов С.В. Особенности применения циклической обработки сливочного масла высоким давлением // Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, 7-9 вересня 2011 - Донецьк-Святогірськ, 2011 – С. 283-286.
22. Сукманов В.А., Громов С.В. Влияние высокого циклического давления на структурообразование и дисперсность сливочного масла // Актуальные проблемы потребительского рынка товаров и услуг; материалы III международной заочной научно-практической конференции, посвященной 25-летию Кировской ГМА, 24 февраля 2012. – Киров, 2012 – С. 205-208.
23. Громов С.В. Исследование влияния высокого давления на физико-химические показатели сливочного масла // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, 22-23 апреля 2010. – Могилев: УО «МГУП», 2010 – Ч. 1. – С. 285.
24. Сукманов В.А., Громов С.В. Процесс обработки сливочного масла высоким давлением // Нові технології, обладнання, безпека та якість харчових

продуктів: сьогодення та перспективи; міжнародна науково-практична конференція, 27-28 вересня 2010 –Київ НУХТ Ч. 2. – С.31-32.

25. Громов С.В., Кириченко В.А. Влияние высокого циклического давления на основные физические свойства сливочного масла // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Материалы VII Междунар. науч. – технич. конф. – Санкт-Петербург, Университет ИТМО – 2015. – Ч.II – С. 7-10.

26. Громов С.В., Кириченко В.А. Применение метода циклов для расчета процесса обработки сливочного масла высоким давлением // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств. Материалы II. Междунар. науч-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ – 2016. – С. 105-108.

### **Патенты:**

27. Пристрій для обробки рідких та в'язко-пластичних харчових продуктів високим тиском: пат 36279 U Україна : МПК (2006) А 23 L 3/00 / Соколов С.А., Сукманов В.О., Севаторов М.М., Громов С.В.; заявник і патентовласник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. - № 36279; заявл. 02.04.2008; опубл. 27.10.2008., Бюл. №.20 – 4 с.

28. Спосіб подовження терміну зберігання вершкового масла: пат 86264 U Україна: МПК (2013.01) А 23 С 15/00 / Сукманов В.О., Громов С.В.; заявник і патентовласник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. - № 86264; заявл. 25.12.2013; опубл. 25.112.2013., Бюл. №.24 – 4 с.

*В работах 1,2,7-12,14-26 соискателем проведены исследования влияния высокого циклического давления на образцы сливочного масла, выполнен анализ полученных результатов и сделаны выводы.*

*В работе 3 соискателем проведена серия предварительных экспериментов, проведены теоретические исследования по определению кинетики инактивации микроорганизмов.*

*В работе 4 соискателем проведен литературный поиск методов производства сливочного масла, предложена новая схема производства.*

*В работе 5 соискателем проведено теоретическое обоснование и определение внутренней энергии сливочного масла под действием высокого давления.*

*В работах 6,13 соискателем проведено моделирование процесса обработки сливочного масла высоким давлением.*

*В патентах 27, 28 соискателем лично сформулирована формула изобретения и выполнена подготовка описания к декларационному патенту на полезную модель.*

*Во всех работах автор принимал участие в подготовке материалов к публикациям.*

## АННОТАЦИЯ

**Громов С.В. Процесс обработки сливочного масла высоким циклическим давлением. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Министерства образования и науки ДНР, Донецк, 2019.

Диссертационная работа посвящена научному обоснованию, разработке и исследованию процесса обработки сливочного масла (СМ) высоким циклическим давлением (ВЦД) с целью стабилизации его качества при длительном хранении.

Экспериментально установлено, что обработка СМ ВЦД приводит к снижению активности воды. Наибольшее влияние на снижение значения активности воды оказывает количество циклов нагружения и величина максимального давления каждого цикла.

Экспериментально исследовано влияние параметров процесса на стабильность его качества при длительном хранении, для описания которой использованы соответствующие химические числа (перекисное, йодное, кислотное, число омыления, числа Поленске и Рейхерта-Мейссля). Показано, что обработка СМ ВЦД приводит к повышению его термоустойчивости.

Установлено, что обработка СМ ВЦД приводит к изменениям дисперсности основных компонентов СМ: количество жировых шариков увеличивается при уменьшении их размеров; уменьшается средний размер частиц влаги количества и средний размер воздушных пузырьков. При обработке СМ ВЦД происходит уменьшение значений коэффициента пенетрации, работы резания и увеличение предельного напряжения среза.

Получены зависимости изменения компрессионных показателей СМ, обработанного ВЦД (плотность, относительный объема, модуль объемной упругости, коэффициент сжимаемости) от параметров процесса его обработки. В результате построения и решения оптимизационной модели методом неопределенных множителей Лагранжа получены значения оптимальных режимов обработки СМ ВЦД.

На основе проведенных исследований разработана аппаратная схема процесса, Технические условия ТУ У 15.5-01566057-029:2012 «Масло сливочное супер» и Технологическая инструкция по производству «Масла сливочного супер».

**Ключевые слова:** сливочное масло, высокое циклическое давление, срок хранения, физико-механические свойства, микробиологическая безопасность, активность воды, дисперсность, химические числа.

## ANNOTATION

Gromov S.V. Processing butter high cyclic pressure (B HCP). - Manuscript. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.18 -

processes and devices of food production. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Ministry of Education and Science of DPR, Donetsk, 2019. Experimentally found that treatment of B HCP reduces the water activity and improve its thermal stability. The effect of process parameters on the respective chemical numbers characterizing the stability of quality during storage is established, which processing leads to B HCP changes dispersity main components butter and provides a microbiological safety. When processing B HCP is a reduction coefficient values penetration of cutting and increased shear stress limit. The changes in the compression properties of the butter during processing HCP. As a result of constructing the optimization model by Lagrange multipliers obtained values of the optimal treatment regimens B HCP. Developed hardware circuits and process complex regulatory and technical documentation.

Keywords: butter, high cyclic pressure, shelf life, physical and mechanical properties, microbiological safety, water activity, dispersion, chemical number.