



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

СБОРНИК ТРУДОВ

VIII

КОНГРЕССА
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ

ТОМ 5



КОНГРЕСС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Санкт-Петербург

2019



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Сборник трудов
VIII Конгресса молодых ученых**

Том 5



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2019

Сборник трудов VIII Конгресса молодых ученых. Том 5. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 119 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на VIII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО по тематикам: низкотемпературная энергетика; пищевых биотехнологий и инженерии; химико-биологическое.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редколлегии:

Баранов Игорь Владимирович

доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО.

Члены редколлегии:

Виноградов Александр Валентинович

кандидат химических наук, доцент, директор химико-биологического кластера

Волкова Ольга Владимировна

доктор технических наук, доцент, декан факультета пищевых биотехнологий и инженерии

Дубровин Сергей Александрович

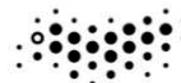
кандидат экономических наук, заместитель директора мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем

Никитин Андрей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент факультета низкотемпературной энергетики

ISBN 978-5-7577-0603-0

ISBN 978-5-7577-0621-4 (Том 5)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Авторы, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 15–19 апреля 2019 года на VIII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО по тематикам: низкотемпературная энергетика; пищевых биотехнологий и инженерии; химико-биологическое.

Конгресс проводится в целях реализации программы Национального исследовательского университета, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., а также с целью стимулирования научно-технической деятельности молодых ученых, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня и апробации выпускных квалификационных работ магистрантов и бакалавров за 2018/2019 учебный год.

**НАПРАВЛЕНИЕ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Герасютенко Виктория Викторовна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: viktoriya.gerasyutenko@mail.ru

Кораблев Владимир Антонович

Год рождения: 1953

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
к.т.н., ст.н.с.

e-mail: kvant1953@gmail.com

Шарков Александр Васильевич

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
д.т.н., профессор

e-mail: avsharkov@corp.ifmo.ru

УДК 536.24**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПРИБОРА С СИСТЕМОЙ
ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ПОЛОЖЕНИЯХ В ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ****Герасютенко В.В., Кораблев В.А.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Шарков А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Поддержание заданного температурного режима является необходимым условием для обеспечения надежного функционирования радиоэлектронной аппаратуры. Современная радиоэлектронная аппаратура требует эффективных способов отвода теплоты и систем охлаждения. Одним из эффективных способов отвода теплоты является применение тепловых труб. Эффективность тепловых труб определяется их свойствами: высокой теплопроводностью (в десятки раз больше чем у меди и серебра), надежностью и возможностью использования в качестве термостатирующего устройства для обеспечения постоянства температуры объекта.

Ключевые слова: температурный режим, тепловая труба, система охлаждения, тепловое сопротивление, термопары, теплоноситель.

Целью данной работы являлось исследование тепловыделяющего объекта с системой охлаждения на основе тепловых труб. Система охлаждения на основе тепловых труб позволяет отвести тепло от тепловыделяющего объекта с минимальным перепадом температуры. В работе исследована зависимость теплового сопротивления между охлаждаемым объектом и краями пластины от ориентации охлаждаемого объекта в пространстве [1–3].

Для изучения этой зависимости была собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Она состоит из узлов нагрева и охлаждения, жидкостного термостата, источника питания нагревателя и электроизмерительных приборов.

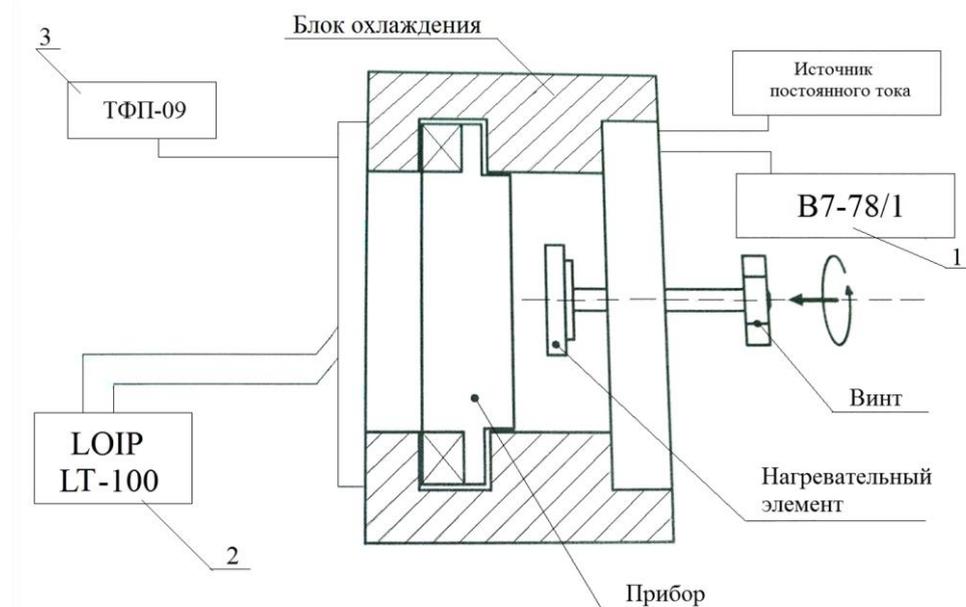


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования теплового сопротивления: 1 – вольтметр В7-78/1; 2 – термостат LOIP LT-100; 3 – устройство для измерения температуры ТФП-09

Испытуемое устройство (рис. 2, а) состоит из медной пластины, в которую вставлены шесть медных тепловых труб длиной 10 см (рис. 2, б). Теплоносителем в них является вода, капиллярно пористая структура – спеченный медный порошок. Блок охлаждения подключается к жидкостному термостату LOIP LT-100. Нагревательный элемент устанавливается на медной пластине. Для измерения температуры на объекте применяются термопары типа хромель-копель (ТХК), которые установлены согласно рис. 2, в. Устройство измерения температуры ТФП-09 состоит из основания, стального блока с 21 ячейкой для термопар, переключателя между термопарами и электрического выхода. Нагревательный элемент подключается к источнику постоянного тока ВСА111Б. Для измерения мощности тепловыделений в цепь включены ампервольтметры Ц4311.

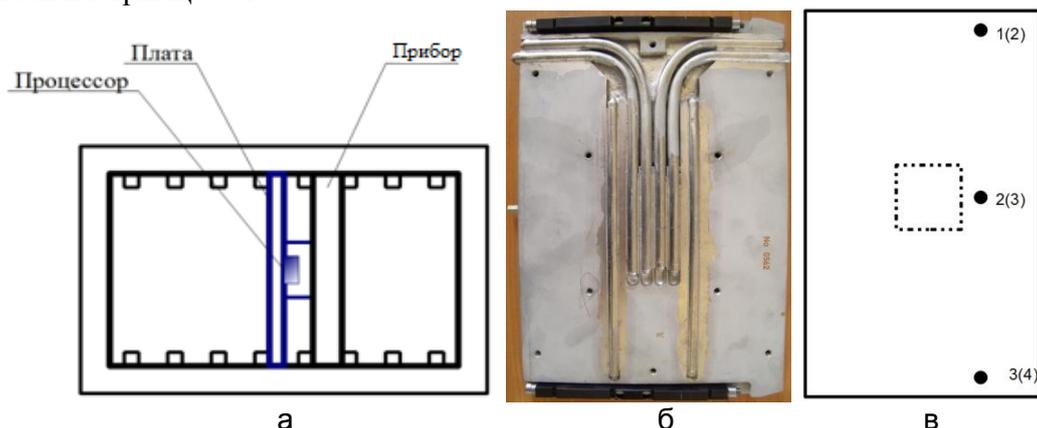


Рис. 2. Общая схема прибора (а); фотография прибора (медная пластина с 6-ю тепловыми трубами) (б); схема установки термопар на поверхности прибора (цифрами 1, 2, 3 обозначены места крепления термопар; (2), (3), (4) – номера используемых термопар

В работе приведены результаты исследований теплового сопротивления между охлаждаемым объектом и краями пластины от ориентации объекта в пространстве. Объект испытывался при трех различных положениях: первое положение – тепловые трубы расположены вертикально, зона испарения расположена ниже зоны конденсации; второе положение – тепловые трубы расположены горизонтально; третье

положение – тепловые трубы расположены вертикально, зона испарения выше зоны конденсации.

Схематично положения прибора представлены на рис. 3.

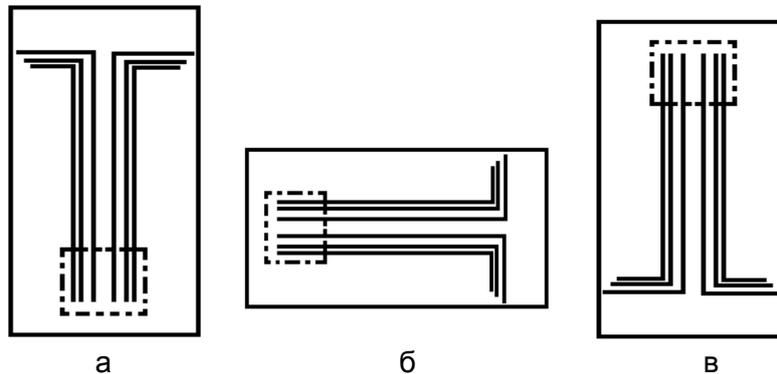


Рис. 3. Схематичные изображения расположений прибора в пространстве: положение 1 (а); положение 2 (б); положение 3 (в)

Схема экспериментальной установки, когда испытуемый прибор 2 находится в первом положении, показана на рис. 4.



Рис. 4 Прибор установлен в первое положение (тепловые трубы расположены вертикально, зона испарения расположена ниже зоны конденсации): 1 – источник постоянного тока ВСА111Б; 2 – испытуемый прибор; 3 – устройство для измерения температуры ТФП-09; 4 – ампервольтметр Ц4311; 5 – вольтметр В7-78/1; 6 – термостат LOIP LT-100

На рис. 5 показаны фотографии расположений прибора в пространстве.

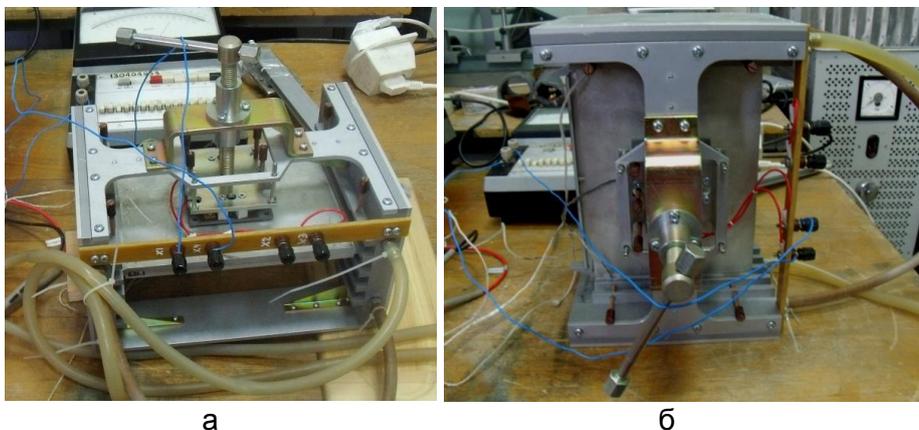


Рис. 5. Положение прибора 2 (тепловые трубы расположены горизонтально) (а); положение прибора 3 (тепловые трубы расположены вертикально, зона испарения выше зоны конденсации) (б)

Результаты исследования теплового сопротивления между охлаждаемым объектом и краями пластины от ориентации объекта в пространстве. Результаты исследования сведены в таблицу.

Таблица. Результаты исследования теплового сопротивления

Прибор установлен в положение 1							
I, A	U, B	$T_{ж}, ^\circ C$	$T_{хс}, ^\circ C$	$\varepsilon_2, мВ$	$\varepsilon_3, мВ$	$\varepsilon_4, мВ$	$R, K/Вт$
1,14	59	27,3	25,3	0,778	1,558	0,888	0,157
1,14	59	28,0	25,4	0,819	1,597	0,931	0,157
1,14	59	28,7	25,4	0,857	1,639	0,972	0,157
1,14	59	29,3	25,4	0,893	1,668	1,007	0,156
1,14	59	29,6	25,4	0,908	1,686	1,024	0,156
Прибор установлен в положение 2							
I, A	U, B	$T_{ж}, ^\circ C$	$T_{хс}, ^\circ C$	$\varepsilon_2, мВ$	$\varepsilon_3, мВ$	$\varepsilon_4, мВ$	$R, K/Вт$
1,14	59	34,0	25,7	1,170	1,920	1,282	0,151
1,14	59	34,3	25,7	1,196	1,952	1,308	0,152
1,14	59	35,2	25,8	1,239	2,008	1,362	0,154
1,14	59	35,3	25,8	1,252	2,011	1,370	0,152
1,14	59	35,4	25,8	1,246	2,002	1,367	0,151
Прибор установлен в положение 3							
I, A	U, B	$T_{ж}, ^\circ C$	$T_{хс}, ^\circ C$	$\varepsilon_2, мВ$	$\varepsilon_3, мВ$	$\varepsilon_4, мВ$	$R, K/Вт$
1,14	59	30,3	25,4	0,971	1,725	1,074	0,152
1,14	59	31,5	25,4	1,037	1,789	1,143	0,152
1,14	59	32,0	25,45	1,069	1,820	1,175	0,152
1,14	59	32,9	25,49	1,120	1,869	1,230	0,151
1,14	59	33,2	25,49	1,140	1,892	1,253	0,151
Прибор установлен в положение 4							
I, A	U, B	$T_{ж}, ^\circ C$	$T_{хс}, ^\circ C$	$\varepsilon_2, мВ$	$\varepsilon_3, мВ$	$\varepsilon_4, мВ$	$R, K/Вт$
1,14	59	35,6	25,9	1,267	2,027	1,388	0,152
1,14	59	35,8	25,9	1,280	2,039	1,401	0,152
1,14	59	36,0	25,9	1,288	2,042	1,407	0,151
1,14	59	36,4	25,9	1,297	2,048	1,417	0,150
1,14	59	36,5	25,9	1,301	2,050	1,417	0,150

Тепловое сопротивление прибора рассчитывалось по следующей формуле [4, 5]:

$$R = \frac{14,6(\varepsilon_3 - \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_4}{2})}{U \cdot I},$$

где $\varepsilon_2, \varepsilon_4$ – термоЭДС на краях пластины; ε_3 – термоЭДС на нагревателе; $\Phi = U \cdot I$ – передаваемая мощность. При экспериментальном исследовании передаваемая мощность составляла 67,3 Вт.

Выводы. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что применение данной системы охлаждения позволяет понизить уровень температуры охлаждаемого объекта и тем самым обеспечить нормальный тепловой режим его работы. Было установлено, что в исследуемом диапазоне определяющих параметров, ориентация охлаждаемого объекта практически не влияет на его тепловой режим.

Таким образом, была определена возможность использования устройства охлаждения тепловыделяющего объекта при различных положениях в пространстве.

Литература

1. Чернышев А.А., Иванов В.И., Аксенов А.И., Глушкова Д.Н. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники. – М.: Энергия, 1980. – 216 с.
2. Хайрнатов С.М., Рассмакин Б.М., Рассмакин А.Б. Применение алюминиевых тепловых труб в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры // Современные информационные и электронные технологии. – 2014. – Т. 2. – № 15. – С. 8–11.
3. Reay D., McGlen R., Kew P. Heat Pipes: Theory, Design and Applications. – 6th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 265 p.
4. Егоров В.И., Кораблев В.А., Шарков А.В. Системы термостатирования. Методические указания к лабораторным работам. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 51 с.
5. Дульнев Г.Н., Беляков А.П. Тепловые трубы в электронных системах стабилизации температуры. – М.: Радио и связь, 1985. – 96 с.

Давыденко Мишель Игоревна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41051

Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

e-mail: mishelloooh@yandex.ru

Баранов Александр Юрьевич

Год рождения: 1956

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, д.т.н., профессор

e-mail: abaranov@corp.ifmo.ru

УДК 621.6.057

НАСОСНЫЕ АГРЕГАТЫ ДЛЯ ВЫДАЧИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ КРУПНОТОННАЖНЫХ ХРАНИЛИЩ

Давыденко М.И.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Баранов А.Ю.

Главная проблема России в области газодобычи – это существенное отставание от мировых лидеров в производстве сжиженного природного газа. Задачи, которые стоят перед Россией в области сжиженного природного газа технологий сейчас, были решены в этих странах на 20 лет раньше. Необходимо либо пытаться «догнать» лидеров, повторяя и копируя известные технологии, либо решать технологические задачи новыми способами. Хорошим примером потребности в определении стратегии развития является обеспечение сжиженным природным газом производств погружными насосами. Насосные агрегаты хранилищ сжиженного природного газа дорогие и высоко аварийные. В каждую емкость устанавливают два или три «резервных» насоса, чтобы снизить потери при поломках. Внедрение новых технологических решений сможет обеспечить повышение эффективности насосных агрегатов. Объектом данного исследования выбраны погружные криогенные насосы для отгрузки природного газа из крупнотоннажных хранилищ. Проведено сравнение насосов для использования в качестве погружных в системе отгрузки природного газа из крупнотоннажных хранилищ. Проанализированы преимущества и недостатки известных типов насосов, сделаны выводы о наиболее оптимальной схеме насоса для сжиженного природного газа. Очевидными преимуществами, расход и напор, обладают центробежные насосы, которые имеют «слабое» место – электрический привод. Учитывая то, что мощность привода около 300 кВт, его конструкция сложная и дорогая. Даны рекомендации по дальнейшему развитию данного исследования в целях подтверждения возможности внедрения выбранной конструкции насоса в систему выдачи крупнотоннажного сжиженного природного газа.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, криогенные насосы, крупнотоннажные хранилища, выдача сжиженного газа, криогенный насос, крупнотоннажные заводы СПГ, привод насоса, гидропривод.

В сложившейся к 2019 году геополитической ситуации транспортирование природного газа только в газообразном состоянии связано с большими рисками. Необходимо развивать сферу производства и транспортирования природного газа в сжиженном состоянии, организовывать крупно-, средне- и малотоннажные производства сжиженного природного газа (СПГ). Россия находится в роли страны «догоняющей» страны, долгое время работающих на рынке СПГ [1].

Анализ передовых технологий и методов ожижения, хранения и транспортирования можно осуществить, используя открытое информационное пространство. Обобщение и адаптация опыта производства СПГ позволит создать конкурентоспособные технологии, основанные на использовании отечественных компонентов, направленных на решение конкретных, существующих в отрасли.

Среди широкого круга практических задач можно выделить проблему потерь сжиженного газа при накоплении, бункеровке и транспортировании на морских судах. Производство больших объемов СПГ для последующего транспортирования морским транспортом требует использования крупных криогенных хранилищ для накопления продукции. Завод СПГ производительностью 10 000 т СПГ вырабатывает в час около 2300 м^3 жидкости, а вместимость танкера $200\,000 \text{ м}^3$. Время наполнения нужного объема жидкости 100 ч. Фрахт метановоза достаточно дорог [2], поэтому продолжительность заправки составляет от 12 до 24 ч. Это значит, что надо к приходу танкера иметь запас не менее $160\,000 \text{ м}^3$ СПГ.

Использование погружных насосов в системе бункеровки СПГ обусловлено нерентабельностью линии отбора жидкости через боковую теплоизоляционную конструкцию танкера или резервуара. Считается, что такая линия является «тепловым мостом» между СПГ и окружающей средой и будет вызывать большие теплопритоки. Погружной насос удален от поверхности на 50 м, что снижает теплопередачу окружающей среды [3].

Использование погружного насоса в системах бункеровки создает ряд эксплуатационных проблем. Насос должен создавать достаточный напор для выталкивания СПГ из резервуара. Слой СПГ толщиной 25 м создает гидростатическое давление более 0,1 МПа. Для подъема с глубины 50 м, насос должен иметь напор более 0,2 МПа. Скорость выдачи СПГ из одного резервуара составляет 3 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Выдача СПГ производится за счет работы двух насосов с подачей 1250–2000 $\text{м}^3/\text{ч}$ (0,3–0,55 $\text{м}^3/\text{с}$). Высокие требования по величине напора и расхода СПГ могут выполнить только центробежные насосы [4].

В системах отгрузки СПГ из танкеров и резервуаров обычно устанавливают минимум один резервный насос, так как для ремонта или замены насоса необходимо выводить из эксплуатации весь резервуар.

Анализ опыта эксплуатации хранилищ показывает, что насосы СПГ являются наиболее критичным узлом, который значительно повышает производственные риски. Необходимо выявить наиболее «слабые» места в конструкции центробежного насоса для СПГ и разработать всевозможные варианты повышения его надежности.

Следует учитывать то, что в Российской Федерации в настоящее время нет производства насосов для крупнотоннажных хранилищ СПГ, хотя экспериментальные образцы уже проходят стендовые испытания.

Есть возможность внесения в конструкцию насоса принципиальных изменений, которые могут впоследствии использоваться при производстве отечественных агрегатов.

Жидкостные насосы преобразуют механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости. Жидкостные насосы по принципу действия можно подразделить на две группы: динамические и объемные.

Исходя из сравнительной характеристики существующих видов насосов, оптимальным решением для погружного насоса СПГ является центробежный насос. Это подтверждается и успешной практикой использования отечественных погружных центробежных насосов.

Большинство погружных насосов – центробежные с электроприводом. Наличие электропривода, погруженного в жидкость, приводит к снижению ремонтпригодности – при поломке узел насосных агрегатов требует полной замены [4]. Кроме того, в составе электродвигателя имеется множество трущихся частей, работа которых в условиях сверхнизких температур ненадежна и значительно повышает аварийность системы в целом. Таким образом, встает вопрос о рассмотрении возможности замены электрического привода насосов в системах отгрузки СПГ погружными насосами. Как

правило, центробежные насосы эксплуатируются со следующими приводами [5]: электрический, гидравлический, пневматический, механический.

Использование механического и пневмопривода в качестве привода для погружных насосов СПГ систем отгрузки невозможно. Единственным альтернативным вариантом для использования в качестве привода погружного насоса СПГ остается гидравлический привод. Принцип действия гидроприводов основывается на перемещении исполнительного органа за счет движения жидкости – минерального масла, воды и т.д. Гидроприводы подразделяются на гидродинамические и объемные. Основным различием является то, что в гидродинамических гидроприводах перемещение исполнительного механизма происходит за счет кинетического потока и скорости движения жидкости, в объемных же перемещение происходит за счет энергии давления [5].

Гидротурбина является надежным источником механической энергии, а поток СПГ под давлением 7,0 МПа обладает достаточной потенциальной энергией, т.е. на привод насосов для перекачки СПГ может быть направлено до 2000 кг/с жидкости под высоким давлением.

Использование гидропривода позволит исключить высокую аварийность, необходимость использования подшипников, а также обеспечит использование в качестве рабочей жидкости перекачиваемый из танкера СПГ с давлением 7,0 МПа, который традиционно направляют в «жидкостной» детандер [5, 6].

Управление гидроприводом обеспечивается запорной арматурой. Использование СПГ в качестве источника энергии исключает проблемы с уплотнением подшипников, так как перекачка жидкости со стороны привода на сторону нагнетания не ухудшает работу насоса.

Для практической реализации насосного агрегата для СПГ с гидроприводом необходимо разработать математические модели полости привода и полости нагнетания, которые составят насосный агрегат.

Численные эксперименты на математической модели насосного агрегата позволят определить оптимальные конструктивные и динамические параметры рабочих колес обоих полостей жидкостного насоса.

Литература

1. Терегулов Рим Климович. Развитие технологий производства и хранения сжиженного природного газа: диссертация ... кандидата технических наук: 02.00.13, 07.00.10. – Уфа: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т, 2009. – 170 с.
2. Голубева И.А., Мещерин И.В. Производство сжиженного природного газа: вчера, сегодня, завтра // Мир нефтепродуктов. – 2016. – С. 4–13.
3. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – М.: Книга по требованию, 2014. – 167 с.
4. Елин В.М., Солдатов К.Н., Соколовский С.М. Насосы и компрессоры. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гостоптехиздат, 2015. – 98 с.
5. Осипов П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод: уч. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная промышленность, 2013. – 424 с.
6. Дурнов П.И. Насосы и компрессоры. – М.: Машгиз, 2014. – 938 с.

Иванов Лев Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41061Направление подготовки: 16.04.03 – Технологии сжиженного природного газа
e-mail: levladiv@mail.ru**Анохин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики
студент группы № W41051Направление подготовки: 16.04.03 – Технологии сжиженного природного газа
e-mail: anokhin.andrey@gmail.com**Зайцев Андрей Викторович**

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, к.т.н., доцент
e-mail: zai@inbox.ru

УДК 629.122

**АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ТОПЛИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЧНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОСТАВОК В СЕВЕРНЫЕ
РЕГИОНЫ РОССИИ****Иванов Л.В., Анохин А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Зайцев А.В.**

В работе рассмотрены варианты корабельных силовых установок для судов, предназначенных для «северного завоза» и использующих различные виды топлива – судовой мазут, дизель, газойль, сжиженный природный газ и т.д. При поставках в отдаленные регионы неэффективно используются большие объемы топлива. Сжиженный природный газ же изначально производится в северных районах и может быть использован в качестве альтернативы.

Ключевые слова: СПГ, речные танкеры, топливный СПГ, северный завоз, газомоторное топливо, двутопливные силовые установки.

В настоящее время в России для обеспечения северных районов жизненно важными товарами, в первую очередь топливом, используется так называемый «северный завоз». Одним из методов осуществления этих поставок является речной транспорт по крупным северным сибирским рекам, таким как Лена и Енисей. Топливо (светлые нефтепродукты I–III класса, в том числе этилированный бензин) поставляется самоходными или несамоходными судами, на которых используются дизельные двигатели, которые ориентированы на использование топлива судового маловязкого (ТСМ) или судовых мазутов различной степени вязкости.

Подобный вариант доставки может быть улучшен внедрением в схемы поставок сжиженного природного газа (СПГ) в качестве топлива. В России активно развиваются проекты, связанные с получением и использованием СПГ. Большая его часть производится как раз на Севере нашей страны – на заводе «Ямал СПГ». Поэтому в данном случае рационально было бы транспортировать СПГ в южные районы, и вдобавок использовать его в качестве моторного топлива на речных танкерах, эксплуатируемых в рамках «северного завоза».

СПГ обладает рядом преимуществ при использовании в качестве газомоторного топлива. Одним из них является его большая экологичность. При сжигании жидкого корабельного топлива в воздух выбрасываются большие объемы CO₂, оксиды серы и

азота. Все дальнейшие данные соответствуют данным с судов класса «ЛЕНАНЕФТЬ», которые являются наиболее используемыми в Российской Федерации. По данным организации Всемирного фонда природы (WWF) выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от сжигания СПГ значительно меньше (SO_x и твердых частиц – на 100%, NO_x – на 90%), чем от сжигания нефтяных видов судового топлива [1]. Таким образом, танкеры на СПГ полностью соответствуют международным требованиям по содержанию вредных выбросов в выхлопных газах судов [2]. В табл. 1 приведено сравнение традиционных видов топлив с СПГ по различным параметрам.

Таблица 1. Сравнение параметров типов топлива

Тип топлива		Низшая теплотворная способность, кДж/кг	Содержание углерода	$C_F (CO_2 / V)$
Дизельное топливо/газойль		42,7	0,875	3,206
Светлые нефтепродукты		41,2	0,86	3,151
Мазут		40,2	0,85	3,114
СУГ	Пропан	46,3	0,819	3
	Бутан	45,7	0,827	3,03
СПГ		48	0,75	2,75

Energy Efficiency Design Index (EEDI) – показатель, использовавшийся для оценки выбросов CO_2 в табл. 1.

$$EEDI = \frac{F_{ME} + F_{AE}}{vV_{DWT}}; \quad (1)$$

$$F = P(C_{F_{pf}} SFC_{pf} + C_{F_{df}} SFC_{df}),$$

где F – совокупность выбросов одного из двигателей; P – мощность судовой установки, кВт; C_F – отношение массы выбросов углекислого газа, основываясь на содержании частиц углерода, к общей массе потребляемого топлива, г/г; SFC – удельный расход топлива для соответствующей мощности, г/кВт·ч; v – скорость судна, уз; V_{DWT} – объем водоизмещения судна, m^3 .

Данный показатель зависит, как от используемого топлива, так и от параметров расхода и мощности силовой установки судна. Существуют два основных варианта с использованием двух двутопливных двигателей:

1. основной и вспомогательный двигатели двутопливного типа ($EEDI \approx 2,78$);
2. основной двигатель двутопливного типа, а вспомогательный – дизельный ($EEDI \approx 3,15$).

В первом случае EEDI ниже за счет более низкого показателя C_F у СПГ, ведь сравниваемые двигатели максимально похожи. Однако данный экологический показатель приобретает бóльшую ценность при оценке разных силовых установок, так как, помимо экологических свойств топлива, сравнение происходит и относительно главных характеристик двигателей.

На основе анализа зарубежного опыта использования газомоторного топлива (действующие и разрабатываемые проекты судов) установлено, что газомоторное топливо может применяться в пяти типах судовых энергетических установок: дизельных (четырёхтактных, двухтактных и газовых), газовых и паровых турбинах.

Практически все зарубежные морские транспортные суда последних лет, работающие на СПГ, имеют четырёхтактные дизельные установки с впрыскиванием для зажигания дизельного топлива в качестве пилотного в количестве около 1% – так называемые двутопливные среднеоборотные дизели. Наиболее распространены четырёхтактные дизели фирмы Wärtsilä (модели 20DF, 34DF и 50DF). На судах класса

«ЛЕНАНЕФТЬ» используются четырехтактные однорядные вертикальные судовые дизели 6NVD-48A-2U. В табл. 2 приведены сравнительные показатели для двигателя Wärtsilä 20DF и 6NVD-48A-2U [3].

Таблица 2. Сравнение судовых двигателей

Показатель	Wärtsilä 6L20DF	6NVD-48A-2U
Количество цилиндров	6	6
Мощность, кВт	960	640
Частота, об/мин	1000	375
Тип топлива	СПГ	Тяжелое топливо
Расход топлива, г/кВт·ч	180–200	212–223

Существуют различные варианты компоновки силовых установок и топливных резервуаров. На рис. 1, а, приведена стандартная компоновка. На рис. 1, б – компоновка с двухтопливной силовой установкой [4].

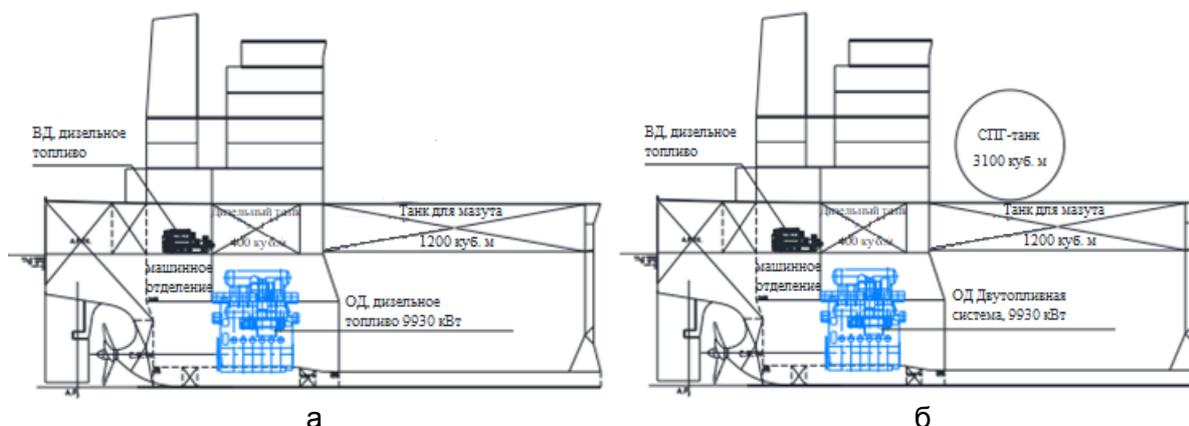


Рис. 1. Стандартная компоновка дизельной силовой установки (а); компоновка с двухтопливной силовой установкой (б)

Главным недостатком двухтопливных установок является необходимость дополнительной подготовки машинного отделения судна, расположение топливного танка для СПГ, системы его забора из танка и регазификации с последующей подачей.

Проблема адаптации современных российских речных танкеров под подобный тип силовых установок является важной и требующей решения.

Существующие проблемы с логистикой топливного СПГ могут быть решены за счет повышения спроса на СПГ у промышленных потребителей. При снабжении южных регионов страны ориентированность на промышленного потребителя позволит поставщику более гибко выстраивать ценовую политику, что в последствие образует необходимые условия для развития газомоторной инфраструктуры и создания зон бункеровки.

Расход СПГ приблизительно в 1,2 раза меньше, чем у дизельного топлива, благодаря большему количеству даваемой энергии, а также он почти в 2 раза дешевле. Ужесточение экологических требований приводит к необходимости введения скрубберов и прочих систем очистки для нефтяных топлив. Данные изменения оцениваются экспертами, как благоприятный сценарий развития цены на СПГ по отношению к другим видам топлива (рис. 2).

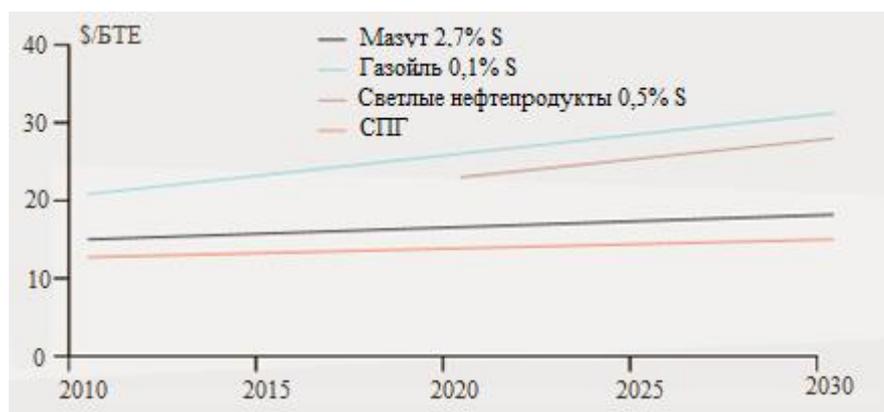


Рис. 2. Ценовой прогноз на основные виды судоходного топлива [5]

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующий вывод: использование СПГ в качестве судового топлива для речных танкеров выгодно с различных точек зрения. Двухтопливные двигатели значительно безопаснее для окружающей среды, что не только благоприятно скажется на экологии России, но и своевременно адаптирует отрасль к международным трендам по нормированию выбросов с судов, что поможет избежать штрафов. Технические решения силовых установок не только не уступают, но даже превосходят традиционные дизельные аналоги. Проблемы с логистикой топлива решаются дальнейшим развитием инфраструктуры СПГ, особенно в регионах со слабой газотранспортной системой. Совокупность этих факторов позволяет заключить, что это направление является выгодным и перспективным.

Литература

1. Аметистова Л.Е., Книжников А.Ю. Экологические аспекты СПГ-проектов в арктических условиях. – М.: Всемирный фонд дикой природы, 2016. – 48 с.
2. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI (пересмотренное) к Конвенции «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов». Поправки от 1.09.2017.
3. Каталог продукции Wärtsilä 20DF Product Guide, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/product-guide-o-e-w20df.pdf?sfvrsn=4> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.281\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.281(70).pdf) (дата обращения: 03.03.2019).
5. Costs and Benefits of LNG as Ship Fuel for Container Vessels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/costs-and-benefits-of-lng3739431d863f4f5695c4c81f03ac752c.pdf?sfvrsn=3> (дата обращения: 03.03.2019).

Иванов Лев Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41061Направление подготовки: 16.04.03 – Технологии сжиженного природного газа
e-mail: levladiv@mail.ru**Анохин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41051Направление подготовки: 16.04.03 – Технологии сжиженного природного газа
e-mail: anokhin.andreyu@gmail.com**Штоббе Александр Александрович**

Год рождения: 1972

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, тьютор
e-mail: aashtobbe@itmo.ru**УДК 629.122****ANALYSIS OF THE MODES OF FUEL OPERATION OF RIVER TRANSPORT
VESSELS USED FOR DELIVERIES TO THE NORTHERN REGIONS OF RUSSIA****Ivanov L.V., Anokhin A.V.****Supervisor – Schtobbe A.A.**

This article discusses options for ship-borne power plants for ships intended for the “northern delivery” and using different types of fuel – ship fuel oil, diesel, gas oil, liquefied natural gas (LNG), etc. When supplying to remote regions large amounts of fuel are used inefficiently. LNG is originally produced in the northern regions and can be used as an alternative.

Key words: LNG, river tankers, fuel LNG, northern delivery, gas engine fuel, dual-fuel power plants.

At present, in Russia, the so-called “northern delivery” is used to provide the northern regions with vital goods, primarily fuel. One of the methods for making these supplies is river transport along major northern Siberian rivers, such as the Lena and the Yenisei. Fuel (light oil products of the I-III class, including leaded gasoline) is supplied by self-propelled or non-self-propelled vessels, which use diesel engines that are focused on the use of LMF (low viscosity marine fuel) or ship fuel oil of various degrees of viscosity.

This delivery option can be improved by introducing LNG as a fuel into supply chains. Russia is actively developing projects related to the production and use of liquefied natural gas. Most of it is produced just in the north of our country – at the Yamal LNG plant. Therefore, in this case it would be rational to transport LNG to the southern regions, and in addition to use it as a motor fuel on river tankers operated as part of the “northern delivery”.

LNG has several advantages when used as a gas engine fuel. One of them is its greater environmental friendliness. When burning liquid ship fuel, large volumes of CO₂, sulfur oxides and nitrogen are emitted into the air. All further data correspond to the data from the «Lenaneft» class vessels, which are the most used in the Russian Federation. According to WWF, pollutant emissions from LNG combustion are significantly lower (SO_x and particulate matter – by 100%, NO_x – by 90%) than from the burning of petroleum fuel [1]. Thus, LNG tankers fully comply with international requirements on the content of harmful emissions in the exhaust gases of ships [2]. Table 1 shows a comparison of traditional fuels with LNG in various parameters.

Table 1. Comparison of fuel type parameters

Fuel type		Net calorific value kJ/kg	Carbon content	C_F (CO ₂ /V)
Diesel/gasoil		42,7	0,875	3,206
Light oil products		41,2	0,86	3,151
Fuel oil		40,2	0,85	3,114
LPG	Propane	46,3	0,819	3
	Butane	45,7	0,827	3,03
LNG		48	0,75	2,75

The Energy Efficiency Design Index (EEDI) is an indicator used to estimate CO₂ emissions in table 1.

$$EEDI = \frac{F_{ME} + F_{AE}}{vV_{DWT}}; \quad (1)$$

$$F = P(C_{F_{pf}} SFC_{pf} + C_{F_{df}} SFC_{df}),$$

where F – the set of emissions of one of the engines; P – power of the ship installation, kW; CF – the ratio of the mass of carbon dioxide emissions, based on the content of carbon particles to the total mass of fuel consumed, g/g; SFC – specific fuel consumption for the corresponding power, g/kW·h; v – vessel speed, knots; $VDWT$ – vessel displacement volume, m³.

This indicator depends on both the fuel used and the parameters of flow and power of the ship's propulsion system. There are two main options using two dual-fuel engines:

1. primary and auxiliary engines of dual fuel type (EEDI≈2.78);
2. the main engine is of dual fuel type, and the auxiliary engine is diesel (EEDI≈3.15).

In the first case, EEDI is lower due to a lower CF index for LNG, since the compared engines are as similar as possible. However, this environmental indicator is acquiring greater value when evaluating different power plants, since, in addition to the environmental properties of the fuel, the comparison also occurs with respect to the main characteristics of the engines.

Based on the analysis of foreign experience in the use of gas engine fuel (existing and developed ship projects), it has been established that gas engine fuel can be used in five types of ship power plants: diesel (four-stroke, two-stroke and gas), gas and steam turbines.

Almost all foreign marine transport vessels operating on LNG have four-stroke diesel injection units for igniting diesel fuel as a pilot in an amount of about 1% – so-called dual-fuel medium-speed diesel engines. The most common four-cycle diesel engines Wärtsilä (models 20DF, 34DF and 50DF). On vessels of the Leneneft class, four-stroke single-row vertical marine diesel engines 6NVD-48A-2U are used. The following table 2 shows the comparative figures for the engine Wärtsilä 20DF and 6NVD-48A-2U [3].

Table 2. Comparison of ship engines

Indicator	Wärtsilä 6L20DF	6NVD-48A-2U
Number of cylinders	6	6
Power, kWt	960	640
frequency, r/min	1000	375
Fuel type	LNG	HFO
Fuel consumption, g/kWt·h	180–200	212–223

There are various options for the layout of power plants and fuel tanks. Fig. 1, a shows the standard layout. Fig. 1, b – layout with dual-fuel power plant [4].

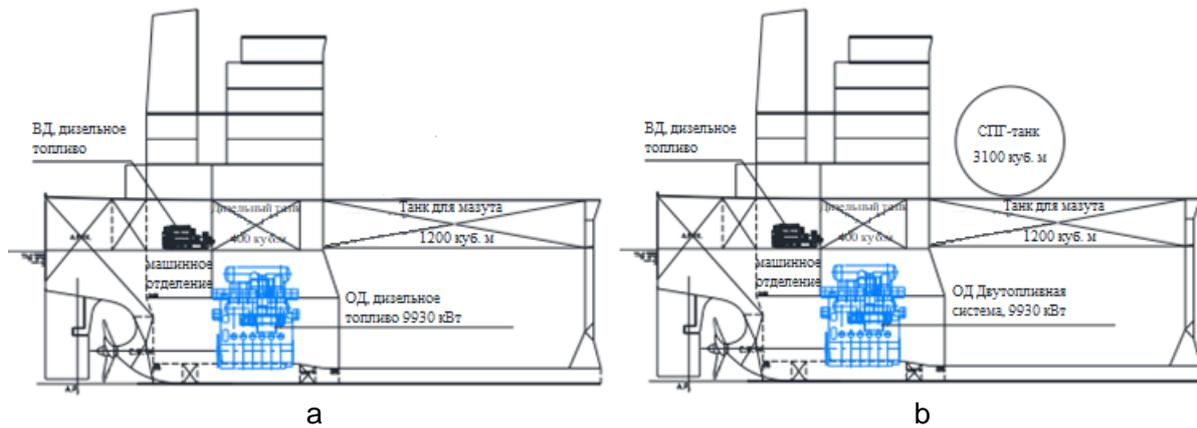


Fig. 1. Standard diesel engine layout (a); layout with dual fuel power plant (b)

The main disadvantage of dual-fuel installations is the need for additional preparation of the engine room of the vessel, the location of the fuel tank for LNG, the system of its intake from the tank and regasification followed by feeding.

The problem of the adaptation of modern Russian river tankers under this type of power plant is an important and requiring solution.

Existing problems with the logistics of fuel LNG can be solved by increasing the demand for LNG from industrial consumers. When supplying the southern regions of the country, focusing on the industrial consumer will allow the supplier to more flexibly build up the pricing policy, which subsequently creates the necessary conditions for the development of the gas-engine infrastructure and the creation of bunkering zones.

LNG consumption is approximately 1.2 times less than that of diesel fuel, due to the greater amount of energy given, and it is also almost 2 times cheaper. Tightening environmental requirements necessitate the introduction of scrubbers and other cleaning systems for petroleum fuels. These changes are evaluated by experts as a favorable scenario for the development of LNG prices in relation to other types of fuels (fig. 2).

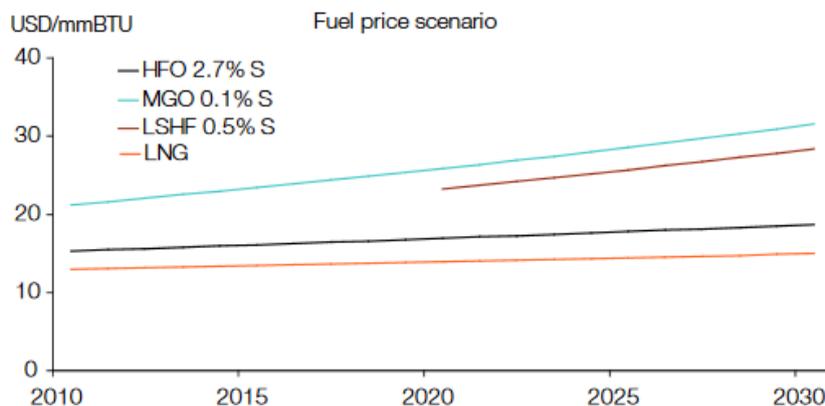


Fig. 2. Price forecast for the main types of shipping fuels [5]

Summarizing the above information, we can draw the following conclusion: the use of LNG as a ship fuel for river tankers is advantageous from various points of view. Dual-fuel engines are much safer for the environment, which not only favorably affects the ecology of Russia, but also adapts the industry in a timely manner to international trends in rationing emissions from ships, which will help avoid fines. Technical solutions of power plants are not only not inferior, but even surpass traditional diesel counterparts. Problems with fuel logistics are being addressed by the further development of LNG infrastructure, especially in regions with a weak gas transmission system. The combination of these factors allows us to conclude that this direction is profitable and promising.

References

1. Аметистова Л.Е., Книжников А.Ю. Экологические аспекты СПГ-проектов в арктических условиях. – М.: Всемирный фонд дикой природы, 2016. – 48 с.
2. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI (пересмотренное) к Конвенции «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов». Поправки от 1.09.2017.
3. Каталог продукции Wärtsilä 20DF Product Guide, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/product-guide-o-e-w20df.pdf?sfvrsn=4> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.281\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.281(70).pdf) (дата обращения: 03.03.2019).
5. Costs and Benefits of LNG as Ship Fuel for Container Vessels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/costs-and-benefits-of-lng3739431d863f4f5695c4c81f03ac752c.pdf?sfvrsn=3> (дата обращения: 03.03.2019).

Кушен Эдуард Витальевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41271Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

e-mail: k.eduard129@gmail.com

Мурашов Игорь Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41271Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

e-mail: igor.b13@mail.ru

Прилуцкий Алексей Андреевич

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, к.т.н., доцент

e-mail: 9100202@mail.ru

УДК 621.513

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ
МАТЕРИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ САМОДЕЙСТВУЮЩИХ КЛАПАНОВ****Кушен Э.В., Мурашов И.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Прилуцкий А.А.**

Поршневые компрессоры широко используются во множестве отраслей для сжатия и подачи воздуха или газа под давлением. Во множестве случаев рабочим телом компрессора выступают газы, которые являются агрессивной средой для рабочих узлов. Задачей исследования являлся выбор материала для изготовления самодействующих клапанов поршневых компрессоров, основываясь на сравнении коррозионной стойкости металлических материалов в различных газовых средах.

Ключевые слова: самодействующие клапана, поршневой компрессор, конструкционные стали, газовые среды, коррозионная стойкость.

Самодействующие клапана представляют собой наиболее ответственные узлы компрессорных установок и являются наиболее изнашивающимися деталями, так как работают в жестких условиях при одновременном воздействии агрессивной среды, высокой температуры и давления. Они служат для управления процессом всасывания и нагнетания, и состоят из пластины, седла, ограничителя подъема и пружины, расположенной в седле клапана, а также деталей крепежа. Клапана открываются при небольшом избытке давления газа и закрываются с помощью пружин. Усилие пружины, в свою очередь, должно обеспечивать закрытие клапанов при выравнивании давления перед клапаном и после него, и не должно вызывать заметных потерь давления в открытом клапане.

Учитывая все разнообразие условий эксплуатации клапанов компрессорных установок, их надежность в значительной степени определяется правильностью выбора материала.

Рассмотрим влияние легируемых компонентов на характеристики стали:

- высокое содержание хрома (Cr) от 17 до 19% обеспечивает способность металла к пассивации и обуславливает коррозионную стойкость стали;
- никель (Ni) в количестве от 9 до 11% при содержании Cr около 18% обеспечивает получение аустенитной структуры. Такая структура обеспечивает получение

высокого комплекса физико-химико-механических свойств, позволяя сочетать технологичность нержавеющей стали с расширенным комплексом эксплуатационных характеристик. Такие стали хорошо прокатываются в холодном и горячем состоянии, обладают повышенной, по сравнению с ферритными сталями, коррозионной стойкостью в агрессивных средах, в том числе серной кислоте.

Для того чтобы определиться с материальным исполнением самодействующих клапанов поршневого компрессора, рассмотрим влияние газовых сред на следующие марки конструкционных сталей:

- сталь углеродистая;
- сталь хромистая 12X13, 12X17 и т.п.;
- сталь хромомолибденовая Х5М и т.п.;
- сталь хромоникелевая 12X18Н10Т, 10X17Н13М2Т;
- экономнолегированная сталь 08X22Н6Т.

Рассматриваемые рабочие газовые среды по составу газа разделены на три группы:

1. первая группа компрессорных установок работает на углекислом газе 80–100% с возможной примесью сероводорода до 0,8% при 100% влажности, температуре до 160°C и давлении до 250 кгс/см²;
2. вторая группа компрессорных установок работает на окиси углерода 65–99% при температуре до 170°C и давлении до 320 кгс/см²;
3. третья группа компрессорных установок работает на водороде и водородсодержащих газах 70–100%, в которых возможно присутствие примеси сероводорода по 0,2% при температуре по 120–130°C и давлении до 320 кгс/см².

Приведенные газовые среды, в частности серная, во влажной среде могут образовывать кислоты, вызывающие сильное агрессивное воздействие на материалы оборудования. Кроме того при повышенных температурах и давлении, окиси углерода контактируют непосредственно с железом с образованием карбониллов. При карбонильной коррозии образуется рыхлый слой продуктов коррозии, что приводит к образованию глубоких язв на поверхности углеродистой стали, сильнее всего это действие проявляется в интервале температур 150–200°C при давлении 300 кгс/см².

Воздействие сероводорода на металл в присутствии воды приводит к образованию сульфида железа и атомарного водорода, часть которого проникает в материал конструкций, в результате чего ухудшает его механические свойства и образуя флокены, которые могут приводить к появлению трещин и последующему разрушению.

Рассмотрим коррозионное воздействие каждого газа при заданных параметрах на конструкционные материалы.

Таблица 1. Коррозионная стойкость металлических материалов во влажном углекислом газе [1, 2]

Марка материала	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год
Сталь углеродистая	100	≥0,5
	100–120	1,0–5,0
Сталь хромистая 12X13, 12X17 и т.п.	100	<1,0
Сталь хромомолибденовая Х5М и т.п.	100	0,1–1,0
Сталь хромоникелевая 12X18Н10Т, 10X17Н13М2Т	110–120	<0,01
Экономнолегированная сталь 08X22Н6Т	110–120	до 0,005

Таблица 2. Коррозионная стойкость металлических материалов во влажном сероводороде [1, 2]

Марка материала	Температура, °С	Скорость коррозии мм/год
Сталь углеродистая	100	>10
Сталь хромистая 12Х13, 12Х17 и т.п.	100	0,1–1,0
Сталь хромомолибденовая Х5М и т.п.	100	>2,0
Сталь хромоникелевая 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т	100	0,002
Экономнолегированная сталь 08Х22Н6Т	100	0,001
	200	>10

Из приведенных данных табл. 1 и 2 видно, что углеродистые стали имеют низкую коррозионную стойкость, не соответствующую требованиям конструкционного материала, используемого для изготовления деталей клапанов. Пружины из углеродистой стали подвержены разрушению от одновременного действия растягивающих напряжений и коррозионной среды, содержащей сероводород при 100% относительной влажности.

Хромистые и хромомолибденовые стали имеют невысокую коррозионную стойкость, скорость коррозии в агрессивных средах достигает 2,0 мм/год. Их применение для деталей компрессоров ограничено.

Наибольшую сопротивляемость коррозионному растрескиванию имеют стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и 08Х22Н6Т на всех рассмотренных средах они корродируют со скоростью не более 0,01 мм/год, что позволяет сохранять геометрию сопрягаемых элементов конструкции клапанов с достаточной степенью точности.

Также показано, что в сравнении с аустенитными экономнолегированная сталь 08Х22Н6Т показала меньшую устойчивость к коррозионному растрескиванию в сероводородосодержащих средах. Однако, учитывая, что содержание сероводорода в рабочей среде невелико (до 0,8%), применение стали 08Х22Н6Т может быть оправдано для первой группы компрессорных установок.

Для деталей клапанов второй группы компрессорных установок возможно применение хромоникелевых и экономнолегированных сталей.

В деформированной аустенитной стали растворимость водорода повышается из-за большого количества дефектов структуры, приводя к снижению работоспособности материала. Следовательно, применение высокопрочной проволоки из стали 12Х18Н10Т для пружин, работающих в водородной и сероводородной среде, неэффективно для третьей группы компрессорных установок [3–5].

Заключение. Таким образом, на основании проведенного анализа данных, для деталей клапанов компрессорных установок, работающих в агрессивных средах, целесообразно рекомендовать:

1. для корпусных деталей клапанов стали марок 12Х18Н10Т и 08Х22Н6Т;
2. для цилиндрических винтовых пружин клапанов компрессоров, работающих в среде углекислого газа и окиси углерода, высокопрочную нагартованную проволоку из стали 12Х18Н10Т;
3. для пружин, работающих в среде водородосодержащих газов, проволоку из стали марки 10Х17Н13М2Т.

Литература

1. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов. Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 278 с.

2. Дятлова В.Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. Справочник. – М.: Машиностроение, 1964. – 281 с.
3. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1969. – 656 с.
4. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. – М.-Л.: Химия, 1966. – С. 33–39.
5. Арчаков Ю.И., Гребешкова И.Д. О природе водородного охрупчивания стали // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1985. – № 8.1. – С. 2–7.

Макарова Елена Сергеевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: makarova_helena_2011@mail.ru

Каблукова Наталья Сергеевна

Год рождения: 1984

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
НИИ физики, инженер-исследователь;Университет промышленных технологий и дизайна, кафедра физики,
ст. преподаватель

e-mail: kablukova.natali@yandex.ru

Кадыров Алиджон Шарифович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41301сНаправление подготовки: 16.04.03 – Термоэлектричество

e-mail: shaih.95@mail.ru

Новотельнова Анна Владимировна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
к.т.н., доцент

e-mail: novotelnova@yandex.ru

УДК 536.2; 538.93**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ТОНКИХ ПЛЕНОК ВИСМУТА****Макарова Е.С.** (Университет ИТМО), **Каблукова Н.С.** (РГПУ им. А.И. Герцена,
Университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург),**Кадыров А.Ш.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – к.т.н., доцент Новотельнова А.В.** (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617028 «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии углеводородной энергетики и низкотемпературных систем».

Проведено исследование структуры тонких пленок висмута в зависимости от способа получения и режимов напыления. Выявлено существенное различие гальваномагнитных свойств тонких пленок от структуры и типа подложки. Рассмотрены возможности применения 3-ω метода, а также стандартного и модифицированного методов лазерной вспышки для измерения теплофизических свойств тонких пленок.

Ключевые слова: гальваномагнитные свойства, удельное сопротивление, магнетосопротивление, коэффициент Холла, теплопроводность, температуропроводность, метод лазерной вспышки, 3-ω метод.

Введение. В настоящее время все больше внимания привлекают термоэлектрические материалы. Эффективность термоэлектрических генераторов определяется безразмерным коэффициентом термоэлектрической добротности ZT , который выражается формулой:

$$ZT = \frac{\sigma \alpha^2}{\kappa} T,$$

где α – коэффициент Зеебека; σ – электропроводность; κ – коэффициент теплопроводности материала.

Чтобы обеспечить эффективную работу термоэлектрических преобразователей энергии, термоэлектрические материалы должны обладать высокими значениями коэффициентов Зеебека и электропроводности, а также низкими значениями коэффициента теплопроводности.

В связи с развитием микроэлектроники интерес для исследования вызывают низкоразмерные структуры, например, пленки. Из-за малости толщины в тонких пленках возникают размерные эффекты, которые могут способствовать увеличению коэффициента термоэлектрической добротности. Также наличие в них большого количества границ раздела кристаллитов могут служить дополнительными центрами эффективного рассеивания фононов, что возможно, позволит улучшить термоэлектрические характеристики материала.

Пленки висмута и его твердые растворы с сурьмой являются одними из перспективных термоэлектрических материалов в области низких температур. Эти материалы имеют небольшое перекрытие энергетических зон, что объясняет высокую чувствительность физических свойств к механическим воздействиям [1]. Также наблюдается изменение свойств пленок от полуметаллических до полупроводниковых в зависимости от соотношения компонентов в растворах висмута и сурьмы [2].

Эксперимент. Для изучения термоэлектрических свойств тонких пленок висмута и твердых растворов висмут-сурьмы необходимо исследовать зависимость гальваномагнитных свойств и теплопроводности от режимов напыления, структуры и типа подложки.

Улучшение термоэлектрических свойств пленочного термоэлектрического материала возможно при использовании периодической слоистой структуры, для этого необходимо рассчитать толщину слоев и их периодичность. В работе [3] был проведен анализ влияния подслоя сурьмы на гальваномагнитные свойства тонких пленок висмута.

– Исследование структуры. Во время эксперимента были получены пленки методом термического напыления в вакууме 10^{-5} торр. Затем для исследования структуры, полученных пленок, поверхность тонких пленок висмута была подвергнута химическому травлению, чтобы выявить границы кристаллитов и определить ориентацию кристаллитов по дислокационным ямкам травления. Изучение структуры тонких пленок висмута выявило, что на кристаллическую структуру тонких пленок влияет отжиг: при получении пленок на холодной подложке без дальнейшего отжига, получается тонкая пленка, имеющая мелкозернистую структуру (рис. 1, а), у пленок, подвергнутых отжигу, размер кристаллитов превышает несколько десятков микронметров (рис. 1, б).

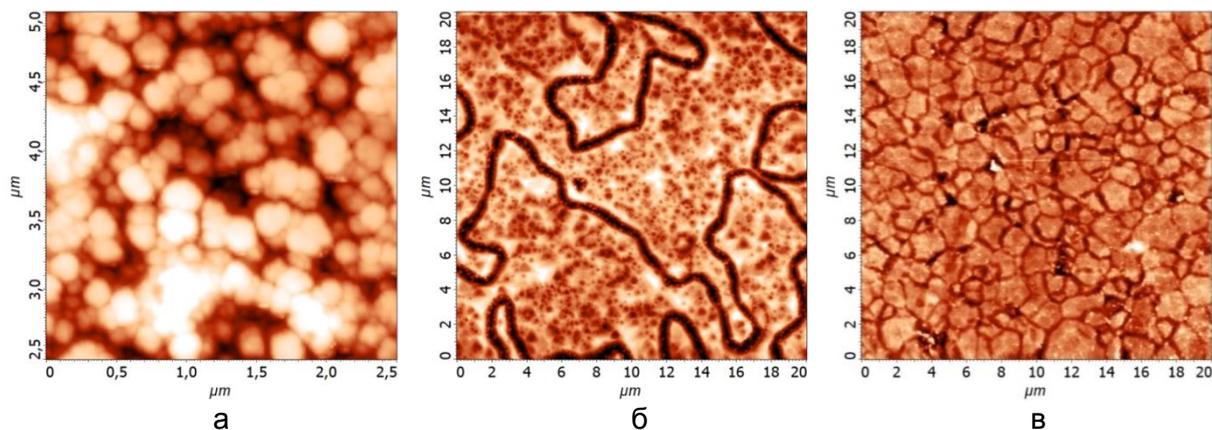


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности пленок висмута после химического травления. Пленки были получены без отжига (а); с отжигом на слюде (б) и полиимиде (в)

На структуру пленок влияет также вид подложки. Подложка задает ориентацию кристаллитов, а также их размер. Размер кристаллитов тонких пленок висмута, полученных на слюде, достигает 50–100 мкм (рис. 1, б), кристаллиты, полученные на полиимиде, имеют размер, не превышающий 15 мкм (рис. 1, в).

– Исследование гальваномагнитных свойств. Дальнейший анализ выявил сильную зависимость гальваномагнитных свойств тонких пленок висмута от структуры пленок. Наименьшее удельное сопротивление наблюдается у монокристаллических пленок, и наибольшее удельное сопротивление наблюдается у пленок, имеющих мелкозернистую структуру (рис. 2, а). С магнетосопротивлением наоборот, наибольшее магнетосопротивление наблюдается у монокристаллических пленок, и наименьшее магнетосопротивление у пленок, имеющих мелкозернистую структуру (рис. 2, б). Положительный коэффициент Холла наблюдается у монокристаллических пленок на всем измеряемом интервале температур (рис. 2, в).

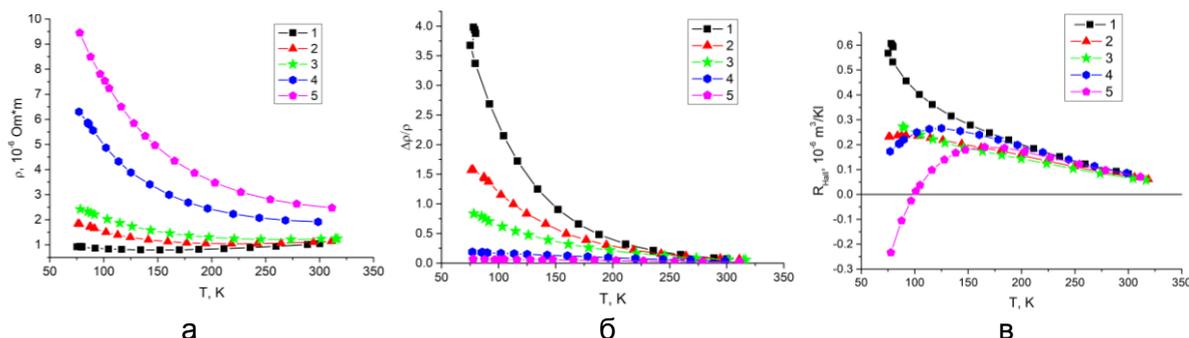


Рис. 2. Температурная зависимость удельного сопротивления (а), относительного магнетосопротивления (б) и коэффициента Холла (в) пленок висмута на слюде:

1 – монокристаллическая пленка; 2 и 3 – пленки с отжигом, полученные непрерывным и дискретным методом напыления соответственно; 4 и 5 – пленки без отжига, полученные непрерывным и дискретным методом напыления соответственно

– Исследование теплофизических свойств. Теплофизические свойства пленок висмута в настоящее время мало изучены. Основная проблема заключается в измерении теплопроводности тонких пленок. Известные методы, используемые для измерения теплопроводности массивных образцов, могут оказаться неприменимыми для изучения тонких пленок висмута. Из-за анизотропии свойств тонких пленок висмута и твердых растворов висмута и сурьмы, необходимо исследовать теплофизические свойства тонких пленок в поперечном и радиальном направлениях.

В настоящее время существует несколько методов по исследованию теплопроводности тонких пленок. Данные методы применялись ранее для изучения однослойных металлических образцов толщиной более 5–10 мкм. В нашем случае пленка висмута находится на диэлектрической подложке. Толщина пленки не превышает 1 мкм, что по сравнению с толщиной подложки является очень малой величиной.

Сейчас стали разрабатываться новые методы измерения теплопроводности для тонких пленок [4]. Одним из методов измерения теплопроводности тонких пленок висмута является 3-ω метод. Данным методом можно измерять теплопроводность пленок толщиной несколько десятков нанометров, при этом толщина подложки может быть сотни микрометров. Однако предварительные эксперименты, проведенные в Университете Монпелье (Франция), показывают ограниченность данного метода, заключающуюся в невозможности исследования тонких слоев висмута на диэлектрической подложке (полиимид, слюда, стекла). Исследования могут быть проведены, если использовать в качестве подложки кремний.

Проведенные исследования показали, что подложка задает кристаллическую структуру и оказывает влияние на гальваномагнитные свойства.

Предполагается использовать стандартный [5] и модифицированные методы лазерной вспышки [6, 7], ранее использованные для исследования тонких металлических слоев. Условия проведения эксперимента подобраны с помощью моделирования в программной среде Comsol Multiphysics для процесса измерения тонких пленок висмута на различных подложках. Исследуется возможность исследования теплопроводности тонких пленок на основе метода лазерной вспышки с использованием систем щелей. Данные методы измерения ограничиваются соотношением толщины пленки к подложке.

Выводы. Проведенные эксперименты показали, что структура тонких пленок зависит от режимов и способов получения. Дополнительно на кристаллическую структуру пленки влияет подложка, на которую наносится пленка. Монокристаллические пленки висмута имеют наибольшую электропроводность из полученных пленок на всем измеряемом интервале температур.

Рассмотрена проблема исследования теплофизических свойств тонких термоэлектрических пленок. 3- ω метод можно использовать для измерения теплопроводности тонких пленок, если в качестве подложки использовать кремний и не использовать диэлектрические подложки.

При использовании стандартного и модифицированного методов лазерной вспышки для измерения температуропроводности тонких термоэлектрических пленок необходимо соблюдать толщины пленки и подложки 1:10. При использовании стандартного метода лазерной вспышки из-за малости толщины пленки и подложки возможно наложение длительности импульсного нагрева и температурного отклика, что приведет к искажению кривой температурного отклика и снижению точности измерения коэффициента температуропроводности.

Литература

1. Tolutis R. Transverse magnetoresistance of uniaxially deformed thin polycrystalline n-Bi films // *Lithuanian Journal of Physics*. – 2009. – V. 49. – № 2. – P. 189–195.
2. Грабов В.М., Комаров В.А., Демидов Е.В. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления в тонких пленках висмута и сплавов висмут-сурьма: монография. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011. – 124 с.
3. Каблукова Н.С., Комаров В.А., Сканченко Д.О., Макарова Е.С., Демидов Е.В. Гальваномагнитные свойства пленок висмута, имеющих тонкое покрытие или подслои из сурьмы // *ФТП*. – 2017. – Т. 51. – Вып. 7. – С. 917–920.
4. Linseis V., Völklein F., Reith H., Woias P., Nielsch K. Analytical Investigation of the Limits for the In-Plane Thermal Conductivity Measurement Using a Suspended Membrane Setup // *Journal of Electronic Materials*. – 2018. – V. 47. – № 6. – P. 3203–3209.
5. Parker W.J., Jenkins R.J., Butler C.P., Abbott G.L., A Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity // *Journal of Applied Physics*. – 1961. – V. 32(9). – P. 1679–1684.
6. Ohta H., Shibata H., Waseda Y. New attempt for measuring thermal diffusivity of thin films by means of a laser flash method // *Review of Scientific Instruments*. – 1989. – V. 60. – P. 317–321.
7. Нищев К.Н., Новопольцев М.И., Беглов В.И., Окин М.А., Лютова Е.Н. Измерение температуропроводности тонких металлических слоев методом лазерной вспышки // *Изв. вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки*. – 2015. – № 4(36). – С. 101–110.

Позднякова Виктория Владимировна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, аспирант

Направление подготовки: 05.06.01 – Науки о земле

e-mail: viktoriya.17@mail.ru

Кустикова Марина Александровна

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики, к.т.н.

e-mail: marinakustikova@mail.ru

УДК 556.043

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА ОБЩЕГО НА УЧАСТКЕ
Р. НЕВЫ (Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)****Позднякова В.В.****Научный руководитель – к.т.н. Кустикова М.А.**

В представленной работе был проведен анализ изменения концентрации железа общего на участке реки Невы. Для того чтобы понять, как со временем изменится концентрация железа и сделать прогнозируемый сценарий, была разработана концептуальная модель с использованием модельного подхода.

Ключевые слова: концептуальная модель, математическое моделирование, качество воды, концентрация железа общего, прогноз, мониторинг качества воды.

Санкт-Петербург относится к числу наиболее обводненных городов мира. Водотоки занимают 1,6% территории города, а площадь водоемов составляет 31 км². Общая протяженность водотоков 555,5 км, из которых 217,5 км расположено в городской черте [1]. Для контроля качества воды наблюдаются многие параметры, такие как биологическое, а также химическое загрязнения. Для того чтобы понять, как со временем изменится качество водных объектов, и провести дальнейший прогноз, может быть использован модельный подход.

Целью данной работы являлось построение концептуальной модели изменения концентрации железа общего участка реки Невы.

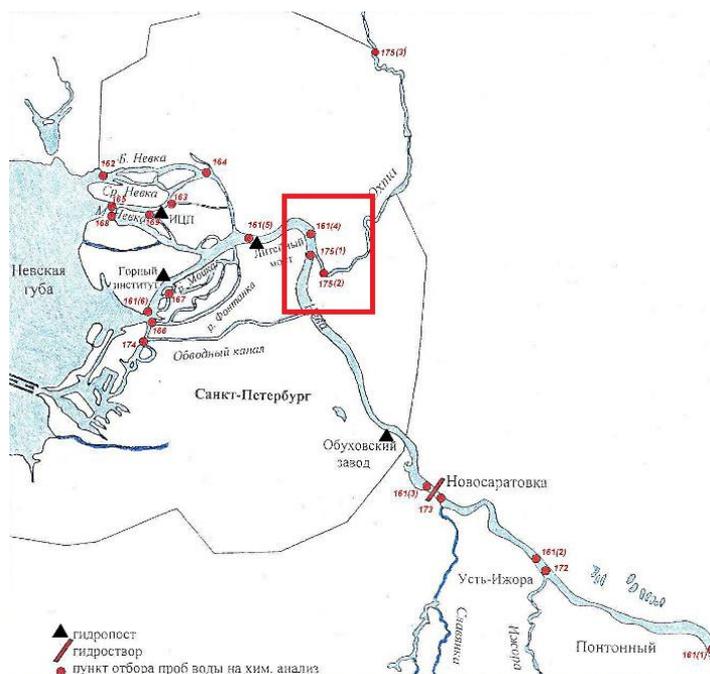


Рис. 1. Расположение исследуемой территории

Основное внимание в работе было уделено концентрации железа общего в р. Неве на участке впадения реки Охты. Нева – самая большая река в городе, поэтому на ней установлено больше всего пунктов мониторинга качества воды, а именно шесть (рис. 1). В результате изучения качества воды в водотоке было выяснено, что в пункте 161(4) (0,5 км ниже впадения р. Охты) качество воды характеризуется как очень загрязненное, в то время как в 175(1) (0,05 км выше устья р. Охты) – загрязненное [2, 3]. Основным источником загрязнения может быть сама река Охта, которая течет между этими двумя точками отбора проб и характеризуется как грязная, а в некоторых – как очень грязная. Самыми отличающимися показателями были концентрации железа общего [1].

Математические модели поверхностных вод все шире применяются в управлении водными ресурсами. Существует несколько типов числовых моделей, доступных для моделирования различных систем и источников выбросов. Независимо от сложности, модель должна обеспечивать разумное математическое приближение к физико-химическим изменениям, происходящим в речной системе [4].

Концептуальная модель представляет собой комбинацию детерминированного и стохастического подходов, так что структура модели и параметризация основаны на предварительных знаниях о системе, а параметры могут быть непосредственно физически интерпретированы. Такой метод позволяет сочетать информацию, основанную на физических знаниях, с информацией о любых имеющихся данных. Таким образом, он выводится из дедуктивного и индуктивного подходов [4].

Для каждого типа математического моделирования действительна общая структура, представленная на рис. 2.

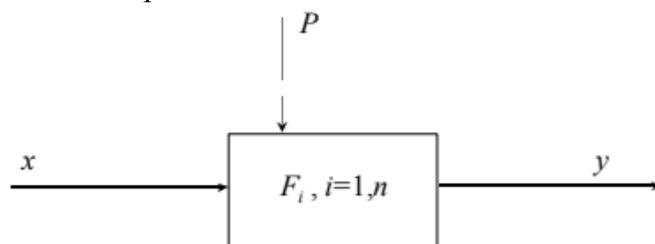


Рис. 2. Общая структура математической модели: x – входные переменные модели, P – параметры модели, y – выходные данные, F_i – ряд математических отношений

В качестве входных переменных x использовались данные о концентрации железа общего в пункте 175(1) и течение реки, P – концентрации железа общего впадающей реки Охты; y – концентрации 161(4). На рис. 3 результаты моделирования представлены серой кривой.

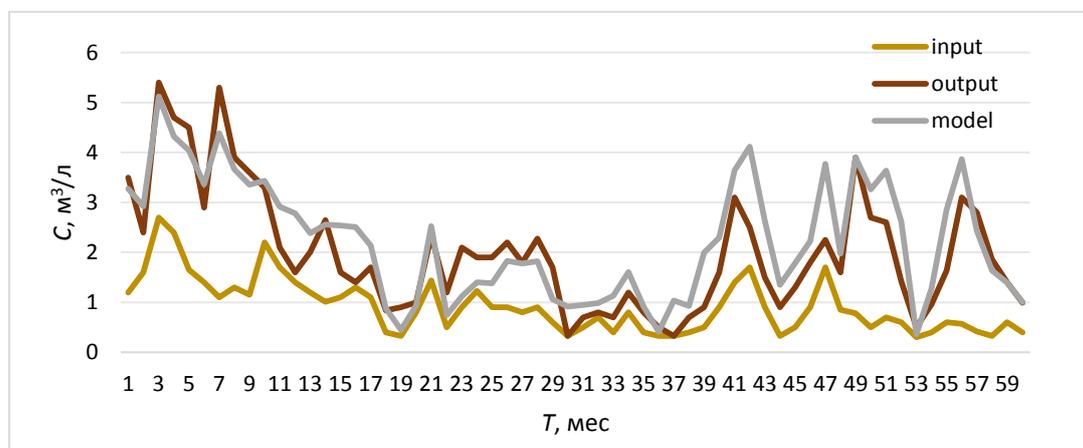


Рис. 3. Изменение концентрации железа общего во времени на разных пунктах с результатами моделирования

Для оценки модели были использованы статистические методы, где основная идея состояла в том, чтобы сравнить пики на рис. 3 наблюдаемых данных и кривые модели [5]. Результаты представлены на рис. 4.

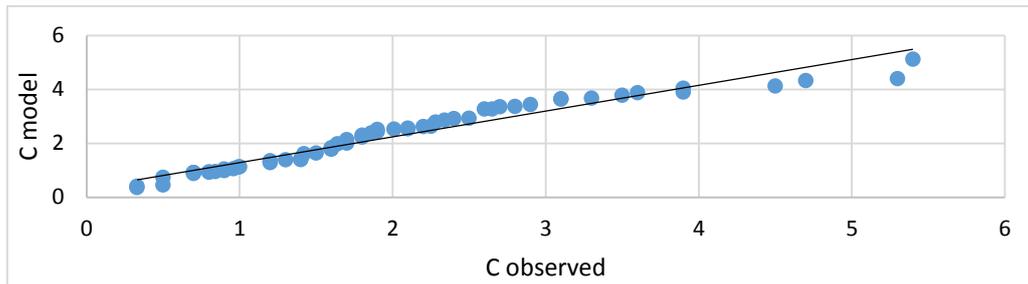


Рис. 4. Оценка модели

Следующим шагом была статистическая постобработка результатов моделирования, для того чтобы определить, как концентрация железа общего может измениться в будущем. Для этого был применен метода экстраполяции. На рис. 5 представлены изменения концентрации железа общего во временных рядах.

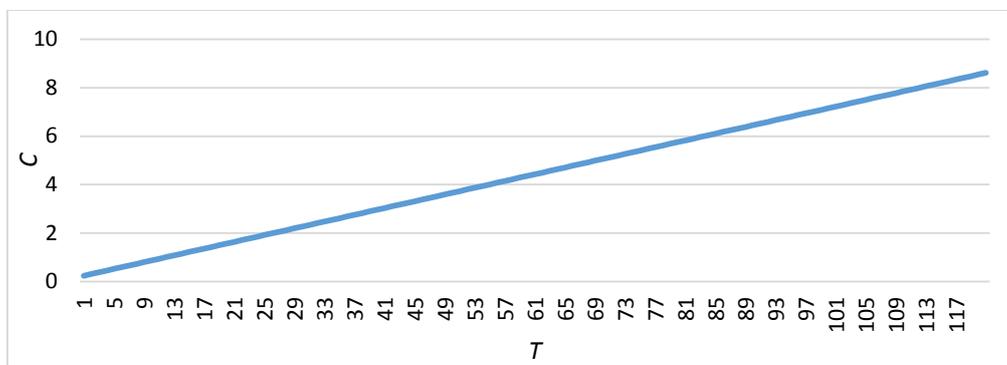


Рис. 5. Изменения концентрации железа во времени с использованием метода экстраполяции

При этом на рис.6 показана частота продолжительности концентрации, объясняющая максимально возможную концентрацию железа в разных временных рядах. Поскольку исходными данными были средние месячные значения, график представляет максимальные сезонные и годовые концентрации железа. Для этого были рассчитаны амплитудно-частотные зависимости для непрерывного временного ряда результатов модели после проведения анализа экстремальных значений для различных уровней агрегации.

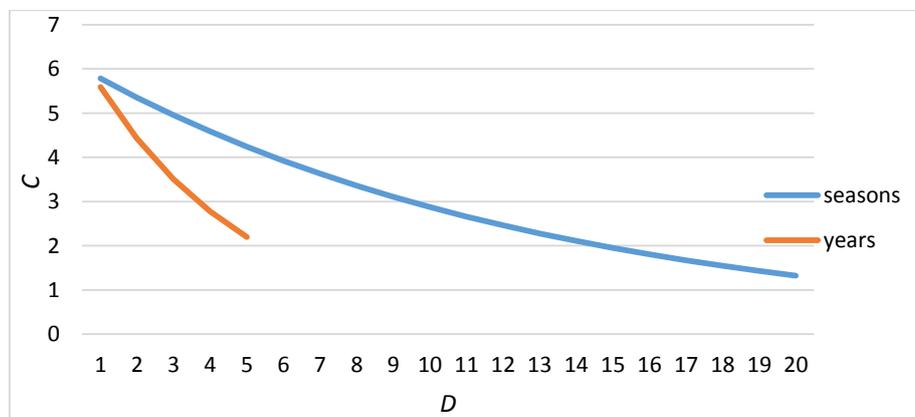


Рис. 6. Зависимость концентрации от частоты повторяемости

Таким образом, в ходе работы, была построена концептуальная модель изменения концентрации железа общего в двух пунктах отбора. Затем произведена ее оценка и осуществлена постобработка данных.

Результаты таких моделей используются для поддержки принятия решений и прогнозирования, а также полезны для оптимизации системы управления водными ресурсами.

Литература

1. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infoeco.ru/> (дата обращения: 16.01.2019).
2. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году / Под ред. И.А. Григорьева, И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-принт», 2017. – 158 с.
3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2017 году / Под ред. И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-принт», 2018. – 158 с.
4. Becker A., Soncini-Sessa R., Castelletti A., Hattermann F., Willems P., Stålnacke P., Laurans Y., de Lange W. Framework for model supported participatory planning of measures in implementing the water framework directive // Water Framework Directive: Model supported Implementation A Water Manager's Guide. – 2009. – P. 11–54.
5. Jakeman A.J., Letcher R.A., Norton J.P. Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models // Environmental Modelling & Software. – 2006. – V. 21. – P. 602–614.

Цветков Вадим Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W41271Направление подготовки: 16.04.03 – Проектирование теплообменного
оборудования

e-mail: wadimsvetkov@mail.ru

Молодова Юлия Игоревна

Год рождения: 1969

Университет ИТМО, факультет низкотемпературной энергетики,
к.т.н., доцент

e-mail: julia_molodova@mail.ru

УДК 621.513

**УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРШНЕВОГО
УПЛОТНЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ МАССООБМЕНА****Цветков В.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодова Ю.И.**

В работе рассмотрены схема течения газа через уплотнительное кольцо ступени поршневого компрессора и адекватность применения существующей методики расчета кольцевой щели с приведенным радиальным зазором δ_r^* . Приведена схема к расчету деформации неметаллического поршневого уплотнения под действием газовых сил и последовательность ее определения. Рассмотрено неметаллическое поршневое уплотнение ступени поршневого компрессора с тронковым поршнем с учетом внесенных уточнений в методику расчета.

Ключевые слова: поршневой компрессор, неметаллические уплотнения, газовые силы, массообмен, деформация.

Поршневые компрессоры (ПК) широко применяются для сжатия газов в различных технологических процессах. Эффективность работы данных машин напрямую зависит от совершенства комплектующих узлов, в том числе уплотнительных. Особое внимание следует уделить массообмену между рабочей камерой компрессора и поршневым уплотнением: пропуск газа через зазоры в уплотнении поршня влечет за собой снижение производительности компрессора.

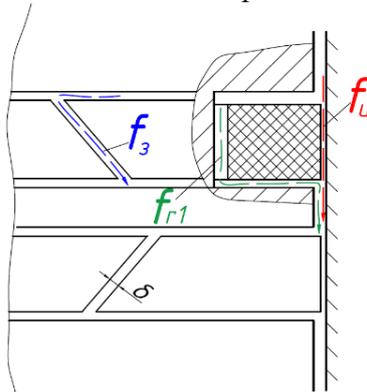


Рис. 1. Схема течения газа через кольцевое уплотнение

Для герметизации ПК часто применяются уплотнительные узлы, состоящие из n -го числа разрезных колец. Разгерметизация уплотнений в данном случае вызвана перекладкой колец [1]. При исследовании течения газа в уплотнительных узлах ступени компрессора поршневыми кольцами с диаметром цилиндра D_c (рис. 1) в расчет принимается некоторая условная площадь, через которую и происходит процесс

утечки. Принятая площадь (щель) $f_{щ}$ фактически состоит из площадей сечений трех каналов: $f_{ц}$ – сечение кольцевого канала между поршневым кольцом и внутренней поверхностью цилиндра; f_{r1} – сечение радиальной щели с торцевым зазором между поршневым кольцом и боковой поверхностью поршневой канавки; f_3 – сечение канала, образованного зазором в замке кольца. В методике расчета, рассматриваемой в данной работе, указанные щели заменяются одной – кольцевой с приведенным радиальным зазором δ_r^* при выполнении условия:

$$f_{щ} = \pi D_{ц} \delta_r^* = f_{ц} + f_{r1} + f_3. \quad (1)$$

Современное состояние химической, газовой, пищевой и других отраслей промышленности предъявляет повышенные требования к качеству производимых газов. Потребителю, с учетом технологических процессов и условий безопасности, необходимо получение газа, исключаящее наличие каких-либо посторонних примесей. Для производства чистых от масел технических газов очень важно не загрязнять их смазкой, так как системы очистки сложны, громоздки и весьма дорогостоящи [2]. К тому же расходы на смазку цилиндропоршневых групп (ЦПГ) не выгодны с экономической точки зрения. На сегодняшний день производство бессмазочных и реконструкция эксплуатируемых компрессоров, для работы без смазки ЦПГ, актуальны и активно практикуются отечественными производителями. Для таких машин характерны применение неметаллических поршневых колец в уплотнении поршня и несколько иной подход к проектированию данного узла: количество колец, их высота и радиальная толщина будут отличаться от уплотнений поршня металлическими кольцами со смазкой ЦПГ.

Рассмотрим адекватность применения выражения (1) для проектирования поршневого уплотнения с учетом течения газа через него. Данная формула справедлива для расчетов при компоновке уплотнительного узла из металлических колец. Величина модуля упругости при сжатии E , например, для чугуна марок СЧ30–СЧ35 составляет 14000–15500 кгс/мм² [3] (около $1,37 \times 10^5$ – $1,52 \times 10^5$ МПа). В случае исполнения кольца из неметаллических материалов, например, из самосмазывающейся фторолоновой композиции Графелон-10, значение E составит $0,34 \times 10^3$ МПа [4]. Таким образом, кольцо из Графелона-10, имея гораздо меньшее значение модуля упругости, под действием газовых сил, будет деформироваться. В соответствии со схемой, изображенной на рис. 2, деформация способствует изменению размеров сечения кольцевого канала $f_{ц}$, а именно, его уменьшению. Отсюда следует, что для анализа процессов массообмена в уплотнении поршня неметаллическими кольцами (из материалов с относительно низким значением модуля упругости на сжатие E) формула (1) в текущем виде не совсем корректна и нуждается в поправке.

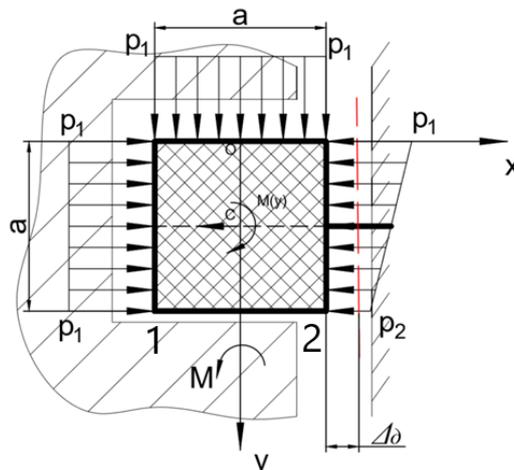


Рис. 2. Схема к расчету деформации поршневого кольца под действием газовых сил

Кольцевая щель в паре «поршневое кольцо-зеркало цилиндра» представляется в виде $f_{щ} = \pi D_{ц} \delta_r$. В предлагаемой расчетной схеме действия газовых сил на поршневое кольцо (рис. 2) давление газа на входе в щель $p_1 = \text{const}$ действует на верхнюю и левую (внутреннюю) грани уплотнения. При протекании газа через зазор δ_r давление p_1 падает и на выходе из щели принимает значение p_2 , поэтому характер распределения давления на правую (наружную) грань кольца является линейным. При такой комбинации распределения давлений по граням кольца, становится очевидным уменьшение зазора на некоторую величину Δ_d , которую необходимо учесть при анализе массообмена через уплотнение.

Для определения величины деформации Δ_d дадим пояснения к схеме рис. 2: в сечении 1–2 кольцо имеет жесткую заделку; при $y=a$ $x=a$; при $y=a$ $\frac{dx}{dy} = 0$.

Запишем уравнения статики:

$$\sum X = -X + p_1 a - p_2 a - \frac{p_1 - p_2}{2} a = 0; \quad (2)$$

$$\sum Y = -Y + p_1 a = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_O = M - Xa + p_1 \frac{a^2}{2} - p_2 \frac{a^2}{2} - \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{a^2}{3} = 0. \quad (4)$$

Определим опорные реакции, действующие в сечении 1–2 на единицу длины кольца:

$$X = \frac{p_1 - p_2}{2} a; \quad (5)$$

$$Y = p_1 a; \quad (6)$$

$$M = (p_1 - p_2) \frac{a^2}{6}. \quad (7)$$

Тогда, перерезывающая сила $Q(y)$:

$$Q(y) = \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{y^2}{a}. \quad (8)$$

Изгибающий момент $M(y)$:

$$M(y) = \frac{p_1 - p_2}{6} \frac{y^3}{a}. \quad (9)$$

Прогиб кольца определяется с помощью дифференциального уравнения изогнутой оси:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M. \quad (10)$$

После интегрирования (10) и преобразований, получим:

$$x(y) = \Delta_d = (p_1 - p_2) \frac{y^5 - 5a^4 \cdot y + 4a^5}{10Ea^4}. \quad (11)$$

Проведя расчет деформации кольца, можно ввести уточнение в формулу (1), в соответствии с которым щель в уплотнительном узле в данном случае принимает значение:

$$f_{щ} = \pi D_{ц} (\delta_r^* - \Delta_d), \quad (12)$$

где Δ_d – величина деформации (изменения зазора δ_r).

Внесенное уточнение в методику расчета позволяет наиболее точно анализировать процессы массообмена в межкольцевых пространствах уплотнительного узла ступени ПК при его проектировании. Применим формулу (12) рассчитывая газовые параметры при подборе неметаллического поршневого кольца на примере ступени с тронковым поршнем с параметрами, представленными в табл. 1.

Таблица 1. Параметры 1-й ступени компрессора

Параметр	Единица измерения	Значение
Давление всасывания	МПа	0,10
Давление нагнетания	МПа	0,38
Температура всасывания	К	290
Рабочий газ		Воздух

Параметр	Единица измерения	Значение
Ход поршня	мм	160
Частота вращения вала	об/мин	750
Диаметр цилиндра	мм	370
Мертвый объем	%	10

В данном случае количество поршневых колец $z=2$, с размерами граней $a=h \times h$, где $h=12$ мм в соответствии с рекомендациями, данными в [4]. Согласно выражению (12) необходимо определить дополнительные расчетные характеристики, для внесения в программу расчета, представим их значения в табл. 2.

Таблица 2. Уточненные параметры уплотнительного кольца

№ поршневого кольца	δ_r^* , мм	Δ_d , мкм	δ_r , мм
1	0,9724	197,05	0,7724
2	0,9724	338,19	0,6324

На рис. 3 представлены параметры газа в межкольцевом объеме уплотнения тронкового поршня 1-й ступени компрессора. Расчет произведен с учетом внесенных уточнений, т.е. с измененным размером радиального зазора.

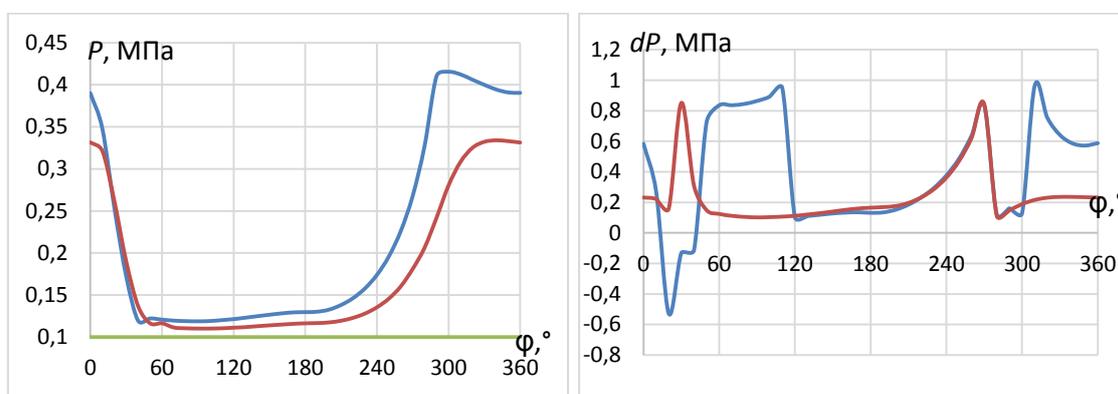


Рис. 3. Параметры газа в уплотнении P и dP .

— 1-е уплотнительное кольцо; — 2-е уплотнительное кольцо

Уточнение в методике расчета позволяет наиболее точно анализировать процессы массообмена в межкольцевых пространствах уплотнительного узла ступени ПК при его проектировании. Такой подход позволит вносить изменения в конструкцию уплотнительного узла для равномерного распределения перепадов давления по кольцам, что приведет к увеличению их срока службы.

Литература

1. Фотин Б.С., Пирумов И.Б., Прилуцкий И.К., Пластинин П.И. Поршневые компрессоры: учеб. пособие для студентов вузов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 372 с.
2. Захаренко В.П., Захаренко А.В. Производство чистых технических газов на установках разделения воздуха в поршневых компрессорах модернизированных ЗАО «БАРЕНС» для работы без цилиндрической смазки // Вестник МАХ. – 2012. – № 4. – С. 57–60.
3. Трухов А.П., Маляров А.И. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студентов вузов. – М.: Академия, 2004. – 336 с.
4. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Основы проектирования. Конструкции. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2008. – Т. 2. – 711 с.

**НАПРАВЛЕНИЕ
ПИЩЕВЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖЕНЕРИИ**

Аксенова Ольга Игоревна

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: oksii280491@yandex.ru

Алексеев Геннадий Валентинович

Год рождения: 1948

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.т.н., профессор

e-mail: gvalekseev@itmo.ru

УДК 664.2+664.8**ОБОСНОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОРОШКА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
ПЕРЕРАБОТКИ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ И ПИВНОЙ ДРОБИНЫ В РЕЦЕПТУРЕ
ЭКСТРУДИРОВАННЫХ СНЕКОВ****Аксенова О.И.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алексеев Г.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

В работе на основании расчета и экспериментальных исследований обоснован выбор и содержание компонентов рыборастворительной смеси для производства обогащенных расширенных экструдированных картофелепродуктов, состоящей на 80% из сушеного измельченного картофеля, на 10% – из сушеной пивной дробины и на 10% – из рыбного порошка, полученного из высушенных побочных продуктов переработки лосося (теши, приголовки, наросты). Экструдирование предлагаемой трехкомпонентной смеси позволило получить экструдаты с достаточно высокой биологической ценностью и низкой энергетической ценностью. Они могут быть рекомендованы для производства снеков, ориентированных на различные группы населения и являющихся альтернативной традиционным картофельным и кукурузным чипсам. При разработке смеси были учтены нарушения полноценного питания населения России, обусловленные недостаточным потреблением белков и пищевых волокон, а также проблема экономически невыгодной утилизации побочных продуктов переработки лосося для предприятий Северо-Западного и Дальневосточного регионов.

Ключевые слова: снеки, термопластическая экструзия, рециклинг пищевого сырья, побочные продукты рыбопереработки, солодовая дробина, картофельные экструдаты.

В настоящее время специалистами по вопросам питания отмечены: не сбалансированный состав снеков, повышенная калорийность и биологическая неполноценность рецептов, негативно влияющие на здоровье человека при регулярном потреблении снеков. Смещение питания в сторону таких продуктов, обусловленное ритмом жизни, приводит к дефициту белка в рационах. Так в среднем на одного человека приходится 55 г белка при суточной норме потребления 100 г и 14 г пищевых волокон при суточной норме потребления 30 г. Решить эту проблему позволит разработка и внедрение инновационных технологий обогащенных и функциональных продуктов питания, в которых рецептура современных снеков может быть доработана таким образом, чтобы снеки по-прежнему удовлетворяли требованиям высокой привлекательности для потребителя, однако содержали ингредиенты, делающие их более полноценными.

В основном снеки потребляются в качестве перекусов, закусок к слабоалкогольным и безалкогольным напиткам и добавок к основным блюдам.

Критериями, влияющими на принятие закусовых продуктов потребителями, являются органолептические свойства и удобство дозирования порции [1].

Основная доля потребления среди всех видов закусовых продуктов в нашей стране приходится на картофельные чипсы (более 30%) – около 0,8 кг на человека ежегодно [2].

Одним из самых технологичных и востребованных в последнее время комбинированных методов переработки сырья является экструзия. Экструдированные закусовые продукты как продукты нового поколения являются перспективным вариантом для улучшения их состава за счет побочных продуктов перерабатывающих производств [3, 4]. Перспективность обогащения продуктов питания, за счет побочных продуктов перерабатывающих и пищевых производств, подтверждена исследованиями [4–6], связана с комплексной переработкой сырья и развитием современных способов переработки, в результате которых получены пищевые продукты полноценного состава, обладающие повышенной пищевой ценностью.

Необходимо отметить, что в результате технологических процессов производства пищевой и перерабатывающей промышленности образуется широкий спектр побочных продуктов в количестве 138 тыс. т в год, однако более 70% объема образования вторичного сырья используется в животноводстве на кормовые цели. Такое нерациональное использование вторичных сырьевых ресурсов приводит к исключению из поля зрения производителей пищевых продуктов биологически ценного и дешевого сырья. Рециклинг таких отходов для нужд пищевой промышленности обеспечивает расширение сырьевой базы агропромышленного комплекса при снижении издержек производства [7].

Также необходимо понимать, что агропромышленный сектор представляет собой отходоёмкую отрасль. Так, на долю основного продукта в процессе производства приходится 15–35%, остальную часть составляют побочные продукты производства и отходы производства, при этом используемые отходы рассматриваются как вторичные сырьевые ресурсы. Рециклинг отходов обеспечивает расширение сырьевой базы агропромышленного комплекса при одновременной экономии затрат труда и снижении издержек производства.

Для увеличения биологической ценности закусовых продуктов из картофеля их целесообразно обогащать побочными продуктами пищевых перерабатывающих производств. Сочетание вкусов картофеля с рыбой и зерновыми культурами являются традиционными и хорошо зарекомендовавшими себя во всем мире, поэтому целесообразно обогащать картофельные экструдаты побочными продуктами рыбо- и зерноперерабатывающих производств.

Целесообразно обогащать снеки из картофеля белками за счет рыбного сырья, поскольку с одной стороны сочетание вкусов рыбы и картофеля является традиционным, а с другой – белки рыбы обладают наибольшей степенью усвояемости в желудочно-кишечном тракте человека. Основная доля потребления рыбы приходится на продукты рыбопереработки, в результате производства которых в отрасли в большом количестве образуются побочные продукты – 40–60% от массы перерабатываемой рыбы, которые по своему химическому составу не уступают рыбному сырию. При этом более 70% объема вторичного сырья рыбопереработки используется на кормовые цели, что, в свою очередь, приводит к исключению из поля зрения производителей пищевых продуктов биологически ценного и дешевого сырья.

Как следует из рис. 1, обогащение экструдированных снеков на основе картофеля белками из побочных продуктов переработки лососевых рыб является целесообразным и экономически выгодным направлением для Северо-Западного и Дальневосточного регионов. С одной стороны они обладают высокой биологической ценностью (БЦ), а с другой – высокая жирность данных продуктов усложняет их дальнейшую переработку

и хранение [8–10]. Семга считается одной из самых ценных пород лосося. Калорийность семги – от 140 до 220 ккал на 100 г. Содержание жира – от 6 до 24%, также семга обладает идеальным соотношением Омега-3 и Омега-6 жирных кислот, белка – примерно 20%.

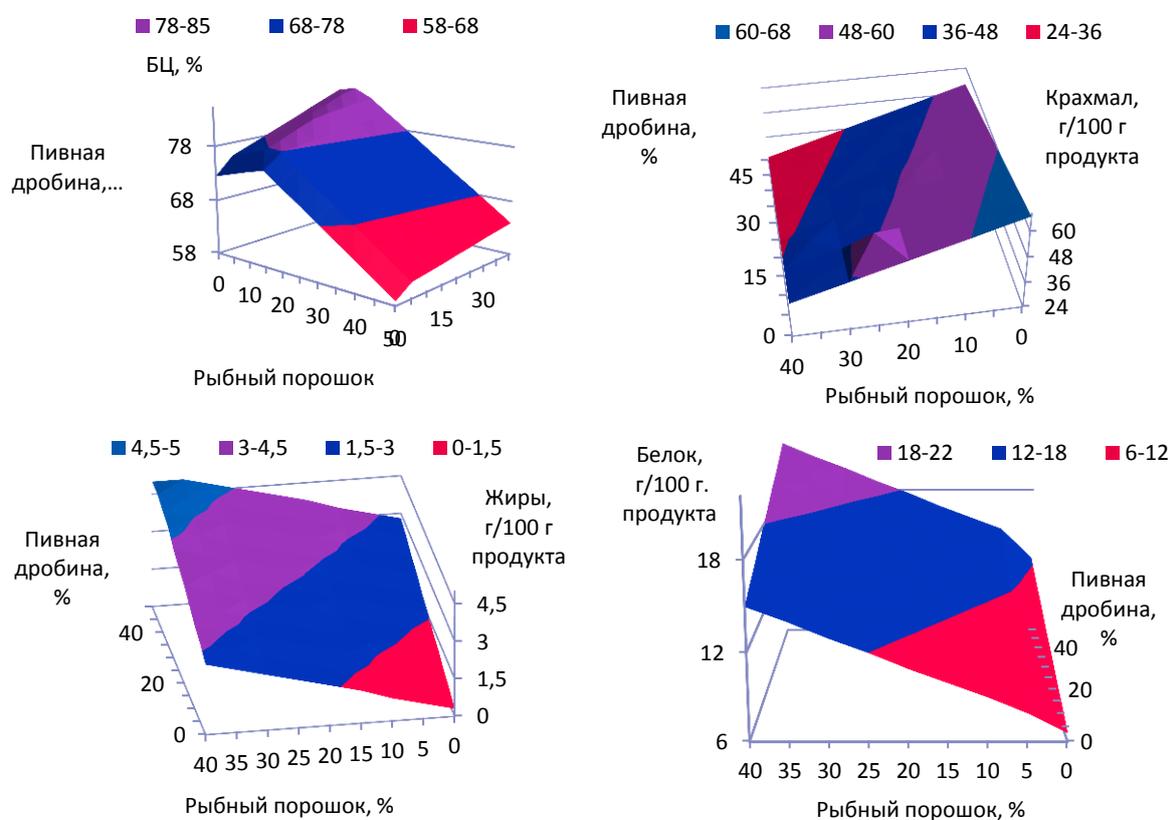


Рис. 1. Расчетные области построения

При этом при переработке семги на филе образуется от 26 до 42% отходов, в том числе обрезки и приголовки, которые предлагаются при использовании для обогащения продуктов белками и жирными кислотами.

Анализ рынка пива показал, что в 2017 году впервые с 2010 года по данным Росстата отмечен рост выпуска пива, и, несмотря на неоднозначную ситуацию вследствие нестабильности основных показателей, Российский рынок пива занимает пятое место в мире. При этом прогнозы аналитиков в данных отраслях пищевой промышленности на 2020–2022 гг. свидетельствуют о смещении объемов производства вследствие изменения культуры потребления алкогольных продуктов в стране: предполагают рост потребления слабоалкогольных напитков и пива и снижение спроса на крепкий алкоголь. Таким образом, ежегодно возрастает выход отходов пивоваренного производства, основным отходом которого является пивная дробина.

Солодовая пивная дробина образуется в процессе затирания и фильтрации затора, как остаток после отделения жидкой фазы пивного сула, но не находит широкого применения в пищевой промышленности [10]. Состав дробины зависит от качества солода, количества несоложенного сырья, а также сорта изготавливаемого пива. Усредненно при переработке 100 кг зерна образуется 120 кг сырой дробины с содержанием сухих веществ 20–25%.

При этом необходимо отметить, что в настоящее время избытки отходов рыбоперерабатывающих и пищевых производств, в большом количестве образуемые на предприятиях и не востребованные на кормовые нужды, напрямую утилизируются на полигонах с прямым экономическим и экологическим ущербом.

Актуальность работы состояла в создании новых экструдированных картофельных снеков, которые бы позволили снизить уровень дефицита белка и пищевых волокон в рационах питания населения мегаполисов, а также расширить ассортимент выпускаемой продукции; снижении себестоимости закусочных продуктов за счет использования побочных продуктов рыбоперерабатывающих и пивоваренных производств.

Цель работы – научное обоснование выбора рецептурного состава смеси для производства обогащенных, расширенных, экструдированных картофелепродуктов.

При проектировании рецептуры рыборастворительной смеси учитывали технологические особенности проведения процесса экструзии: содержание углеводов, крахмала, белков и жиров в рецептурной смеси, влажность смеси. Содержание крахмала и белков в рецептурной смеси должно быть выбрано заранее в зависимости от желаемых органолептических свойств готового продукта, поскольку основная роль этих ингредиентов состоит в обеспечении требуемых структуры, текстуры и плотности. Так, при содержании крахмала менее 60% продукт обладает волокнистой структурой, определяемой преобразованием глобулярной структуры белка в фибриллярную, которая свойственна белковым продуктам. При содержании крахмала более 60% – развитой пористой (альвиолярной) структурой, определяемой степенью разрыва крахмальных зерен, свойственной, в том числе экструдированным снекам. Таким образом, для производства расширенных снеков с развитой пористой структурой содержание картофельных хлопьев как основного крахмалосодержащего компонента смеси должно быть не менее 60% от массы смеси. При этом необходимо отметить, что при 60–80% содержании крахмала в рецептурной смеси наблюдается инверсия фаз в расплаве биополимеров, что приводит к неоднородности структуры получаемого экструдата и, как следствие, ухудшению органолептических характеристик снека [4].

Содержание жиров в рецептурной смеси не должно превышать 5%, так как в противном случае снижается коэффициент расширения экструдата, продукт имеет плотную не развитую или малоразвитую пористую структуру. При более высоком содержании жиров в рецептурной смеси также уменьшается срок хранения экструдатов, что мало приемлемо для такой категории продуктов как снеки.

Для получения воздушной структуры экструдатов вследствие глубоких изменений качественных свойств исходного сырья влажность рецептурной смеси при горячей экструзии должна находиться в диапазоне 10–20%.

Таким образом, в качестве критериев при выборе рецептурных компонентов смеси учитывались следующие критерии:

- биологическая ценность экструдатов, которая должна стремиться к максимальному значению;
- соотношение белки-углеводы, которое по формуле А.А. Покровского для сбалансированного питания должно быть приближено к 1/4;
- содержание крахмала (по сухому веществу) $\geq 50\%$;
- содержание жира должно стремиться к минимальному значению и не превышать 5%;
- максимальная распространенность в регионе;
- минимальная стоимость рецептурных ингредиентов.

После анализа пищевого, широко распространенного крахмального сырья и побочных продуктов пищевых перерабатывающих производств были выбраны три составляющие рецептурной смеси: картофельные хлопья [11–13], теши, наросты и приголовки лосося [14] и сухая пивная дробина [15].

Основным крахмалосодержащим компонентом рецептурной смеси являются картофельные хлопья – содержание крахмала 66%, поскольку удовлетворяют требованиям процесса экструзии к свойствам сырья без применения предварительных

технологических операций, производятся из широко возделываемого в нашей стране сырья. Однако объем проведенных исследований экструзии картофеля во много раз меньше объема исследований экструзии зерновых и бобовых культур, таким образом, необходимо продолжение исследований в данном направлении для расширения базы знаний о параметрах процесса нового поколения, фокус которых смещен в сторону функциональных продуктов питания. Использование картофельных хлопьев как единственного компонента рецептурной смеси позволяет при правильно подобранных технологических режимах получать закусочные продукты с хорошими органолептическими характеристиками: коэффициент расширения 400%, золотистый цвет экстудатов, пористая текстура, хрусткость, вкус, соответствующий жареному картофелю; однако биологическая ценность таких закусочных продуктов достаточно мала [8].

Белок рыбного порошка из побочных продуктов переработки лосося (наростов, приголовков и тешей) по содержанию некоторых незаменимых аминокислот превышает эталонный белок ФАО/ВОЗ и при этом практически не имеет лимитирующих аминокислот. Минимальный аминокислотный скор составляет 87%. Рыбный порошок содержит около 15 макро- и микроэлементов, при этом преобладающими макроэлементами являются фосфор, калий и магний, микроэлементами – кобальт, медь, селен, хром, цинк. Так как технологические особенности проведения процесса горячей экструзии накладывают ограничения на влажность рецептурной смеси, рыбное сырье перерабатывали в порошок с влажностью 10–12%, что также увеличивало длительность хранения рыбного сырья.

Третьим компонентом смеси была выбрана пивная дробина, которая является ценным пищевым сырьем, поскольку отличается высокими показателями основных пищевых веществ: белок 17,9 г, усвояемые углеводы до 77,3%, питательные вещества 23,7%, основные микро- и макроэлементы (Ca, P, Mn, Zn, Fe, Cu), жирные кислоты, витамины группы В, витамины Е и РР, и отвечает требованиям безопасности, предъявляемым к пищевому сырью. При этом аминокислотный состав белка пивной дробины содержит практически все незаменимые аминокислоты. При этом сушка пивной дробины значительно повышает ее питательную ценность и позволяет значительно повысить стойкость дробины при хранении, и повысить ее транспортабельность. Сухая пивная дробина содержит в 1,7 раза больше белка и в 11,4 раза больше клетчатки, чем пшеничная мука 1 сорта, и в 1,3 и в 4,6 раза соответственно больше, чем панировочные сухари из хлеба, что делает ее ценным компонентом для кондитерских, хлебопекарных, мясо- и рыбоперерабатывающих производств. При этом образцы чистой дробины при влажности 12% практически не расширяются, а при увеличении влажности коэффициент расширения незначительно увеличивается, но выпрессовывание происходит неравномерно и теряется форма получаемого продукта. Это обусловлено недостаточностью крахмала в дробине для обеспечения требуемой степени расширения продукта. Поэтому получение качественных пищевых продуктов из дробины в чистом виде невозможно.

Содержание рыбного сырья и пивной дробины в рецептурной смеси определяли по стандартной методике на основании необходимости максимального обогащения экструдированного снека белками и пищевыми волокнами с целью достижения лечебно-профилактической или физиологической дозы и достижения приятного рыбного вкуса и аромата, не изменяющих традиционные органолептические характеристики картофельных снеков. Представленная методика оптимизации рецептурного состава многокомпонентной смеси хорошо зарекомендовала себя при проектировании зерновых смесей из компонентов с различными лимитирующими аминокислотами. Она позволяет сформировать научно-обоснованные подходы к выбору исходных компонентов и рассчитать их процентное содержание в смеси при

производстве экструдированных зерновых продуктов с учетом критериев оптимизации.

Обработка данных производилась с помощью прикладной программы Microsoft Excel. Результаты расчетов были представлены в виде сводных таблиц. В дальнейшем полученные данные были обработаны, и на их основании определены графические зависимости, показанные на рис. 1, определяющие изменение искомого параметра в зависимости от процентного содержания компонентов.

Анализируя полученные графические зависимости можно сказать, максимальная биологическая ценность (БЦ) рецептурной смеси достигается при содержании рыбного порошка 25–40%, пивной дробины 0–15%. Равномерная пористая структура экструдата достигается при содержании крахмала в смеси более 60%, т.е. при содержании рыбного порошка 0–10%, пивной дробины 0–20%. Содержание жира в экструдированной смеси для достижения максимального коэффициента расширения должно быть не более 3% – рыбного порошка 0–40%, пивной дробины 0–15%. Таким образом, из-за ограничений по содержанию жира: содержание пивной дробины в рецептурной смеси ограничивается порогом в 15%; а из-за ограничения в содержании крахмала – содержание рыбного порошка ограничено верхней границей до 10%. Что в итоге приводит к перемещению точки оптимума на графике БЦ в зону ниже. Максимальная БЦ достигается при содержании рыбного порошка и пивной дробины 10%.

Описанная методика оптимизации рецептурного состава поликомпонентной смеси позволяет сформировать научно-обоснованные подходы к выбору исходных компонентов и рассчитать их процентное содержание в смеси при производстве экструдированных снеков на основе картофеля с учетом критериев оптимизации.

Результаты расчета проверяли экспериментально. В серии экспериментов использовали рыбный порошок из приголовков, наростов и тешей лосося в количестве 5–15% к массе картофельных хлопьев и пивную дробину в количестве 0–20%. Верхняя граница дозировки определялась органолептическими и физико-химическими показателями, а также экономической целесообразностью получения нового экструдированного продукта.

Подготовку рецептурной смеси осуществляли следующим образом. Дефростированные тешы, наросты и приголовки лосося измельчали на куттере в фарш с размером частиц 2–5 мм. Затем фарш тонким равномерным слоем (около 5 мм) выкладывали на противни сушильного конвекционного шкафа и сушили при постоянной температуре, равной 60°C до конечной влажности 10–12%. Влажность высушенного рыбного порошка измеряли экспресс-методом на приборе Чижовой. После чего картофельные хлопья и рыбный порошок в рассчитанном соотношении смешивали в течение 20 мин в миксере до однородности. Экструзию проводили на одношнековом экструдере КЭШ-2 при одинаковых технологических режимах.

Результаты эксперимента приведены в таблице, полученные экструдаты показаны на рис. 2.

Таблица. Результаты эксперимента

Содержание компонента	Органолептические показатели		Физико-химические показатели экструдата		
	Цвет	Вкус и аромат	Массовая доля влаги, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Коэфф. расширения S, %
Пивной дробины, % к массе смеси					
0	светло-желтый	свойственный экструдату из картофеля с ароматом жареного картофеля	5,9	338	170

Содержание компонента	Органолептические показатели		Физико-химические показатели экструдата		
	Цвет	Вкус и аромат	Массовая доля влаги, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Коэфф. расширения S, %
5	светло-желтый	свойственный экструдату из картофеля со слабовыраженным вкусом солода и ароматом жареного картофеля	5,9	343	185
10	желтый с коричневым оттенком	свойственный экструдату из картофеля со слабовыраженным вкусом солода и ароматом жареного картофеля и солода	6,3	344	183
15	коричневый	свойственный экструдату из картофеля с явно выраженным вкусом и ароматом солода	6,5	348	189
20	коричневый	свойственный экструдату из картофеля с явно выраженным вкусом и ароматом солода, стойкое послевкусие солода	6,9	349	164
Рыбного порошка, % к массе смеси					
5	светло-желтый	свойственный экструдату из картофеля со слабовыраженным рыбным вкусом и ароматом жареного картофеля	5,9	342	178
10	желтый с коричневым оттенком	свойственный экструдату из картофеля с рыбным вкусом и ароматом жареного картофеля и рыбы	6,1	345	250
15	желтый с серым оттенком	свойственный экструдату из картофеля с явно выраженным рыбным вкусом и ароматом рыбы	6,4	347	170

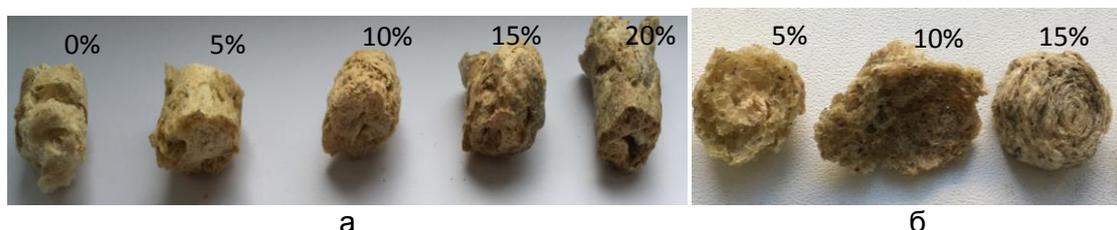


Рис. 2. Полученные экструдаты при разном содержании в рецептурной смеси: пивной дробины (а); рыбного порошка (б)

Из анализа таблицы и рис. 2 следует, что увеличение доли рыбного порошка до 10% оказывает умеренное влияние на органолептические характеристики экструдата, при этом достигается достаточно высокий коэффициент расширения и отсутствует

переход «взорванная-волокнистая» структура, который не позволяет достичь стабильного протекания процесса экструзии.

Таким образом, в результате расчета по использованной методике [1] и серии экспериментов определено, что по органолептическим и физико-химическим показателям полученного экструдата целесообразно внесение не более 10% порошка из тешей, наростов и приголовков лосося и 10% дробины к массе картофельных хлопьев. Увеличение содержания рыбного порошка и дробины свыше 10% приводит к ухудшению физико-химических показателей во всех пробах в результате перехода «взорванная-волокнистая» структура, наблюдаемом при содержании крахмала в рецептурной смеси в диапазоне 80–60%, а также ухудшении органолептических характеристик из-за явно выраженного рыбного или солодового вкуса и аромата.

В результате эксперимента получен продукт в виде прямых или изогнутых коротких палочек округлого поперечного сечения, с шероховатой поверхностью и развитой пористостью; по цвету (желтый с коричневым оттенком), вкусу и аромату (соответствующему исходному виду сырья) экструдат имеет удовлетворительные потребительские данные, характерные для такой группы пищевых продуктов как «снеки».

Экструдат (картофельные хлопья – 75%, рыбный порошок – 10%, пивная дробина 15%) обладает высокой пищевой ценностью: биологическая ценность 65%, энергетическая ценность 309 ккал/100 г продукта, соотношение углеводы/белки равно 4. При употреблении 100 г экструдированного картофелепродукта удовлетворяется 18% суточной потребности в белке и 39% суточной потребности в пищевых волокнах. При этом энергетическая ценность данного снека ниже энергетической ценности чипсов (514 ккал/100 г продукта), что позволяет не перегружать ежедневный рацион каллоражом.

Таким образом, в результате исследования научно обоснован выбор картофельных хлопьев и побочных продуктов переработки лососевых рыб и пивоваренных производств в качестве рецептурных ингредиентов экструдированных снеков с учетом специфики перерабатывающих отраслей и сельскохозяйственной деятельности Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Обоснован выбор и содержание компонентов рыборастворительной смеси для производства обогащенных, расширенных экструдированных картофелепродуктов, состоящей на 80% из сушеного измельченного картофеля, на 10% – из сушеной пивной дробины и на 10% – из рыбного порошка, полученного из высушенных побочных продуктов переработки лосося (теши, приголовки, наросты). Указанный состав ингредиентов наилучшим образом влияет на повышение пищевой и биологической ценности продукта за счет сохранения большинства полезных веществ рыбы и пивной дробины. Улучшаются вкусовые качества, характерные для закусочного продукта: более выраженный вкус и запах, хрустящая и пористая текстура; уменьшается себестоимость продукта, за счет использования отходов рыбо- и пивоваренных производств; улучшаются санитарно-гигиенические условия использования рыбы.

Экструдирование предлагаемой трехкомпонентной смеси позволило получить экструдаты с достаточно высокой биологической и низкой энергетической ценностью, которые могут быть рекомендованы для производства снеков, ориентированных на различные группы населения, и являющихся альтернативой традиционным картофельным и кукурузным чипсам. При разработке смесей были учтены нарушения полноценного питания населения России, обусловленные недостаточным потреблением белков и пищевых волокон.

Недостатком данных экструдированных продуктов является нерациональное соотношение углеводов/белков, равное 6. Однако при повышении доли белка в экструдате значительно уменьшается коэффициент расширения, начинается

переходный режим, при котором невозможно получить экструдат стабильного качества. Решением данной проблемы может быть использование начинок различного состава, при производстве коэкструдатов, корпус которых изготовлен по предложенной рецептуре, или напыление белковых концентратов в совокупности с жировитаминными добавками на готовый продукт.

Добавление в рецептуру экструдированных снеков на основе картофеля побочных продуктов переработки лососевых рыб и пивной дробины позволит с одной стороны производить снеки с высокой биологической ценностью и низкой себестоимостью, что отчасти снизит дефицит белка и пищевых волокон в рационах питания населения мегаполисов. С другой – решит проблему экономически невыгодной утилизации побочных продуктов переработки лососевых рыб для предприятий Северо-Западного и Дальневосточного регионов.

Использование побочных продуктов перерабатывающих производств в совокупности с малоотходной технологией экструзии ведет к максимальному сбережению производственных ресурсов.

Литература

1. Василенко В.Н. Разработка и научное обоснование способа получения экструдированных гороховых палочек с белковой добавкой: дисс. канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 189 с.
2. Куликова М.Г., Сырокоренский И.С., Аксенова О.И. Технология производства экструдированного снека, обогащенного белками за счет побочных продуктов рыбопереработки // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук. Сборник научных статей по итогам работы третьего международного круглого стола. – 2018. – С. 47–49.
3. Верболоз Е.И., Алексеев Г.В., Аксенова О.И. Влияние тепловой обработки на функциональные свойства рыбных фаршей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 107–112.
4. Alam M.S., Kaur J., Khaira H. Extrusion and Extruded Products: Changes in quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. – P. 445–473.
5. Аксенова О.И., Куликова М.Г. Обоснование технологических решений при производстве продуктов питания повышенной биологической ценности // Агропромышленная экономика. – 2017. – № 6. – С. 40–48.
6. Bruin S., Jongen T.R.G. Food process engineering: The last 25 years and challenges ahead // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2003. – V. 2. – P. 42–81.
7. Moore G. Snack food extrusion // The Technology of Extrusion Cooking. – 1994. – P. 110–143.
8. Остриков А.Н., Василенко В.Н., Татаренков Е.А., Копылов М.В. Экструдированные белковые текстуранты из зернобобовых культур // Мясная индустрия. – 2009. – № 10. – С. 31–33.
9. Stojceska V., Paul A., Andrew P., Senol I. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology // Journal of Cereal Scientist. – 2008. – № 47. – P. 469–479.
10. Абрамов О.В. Экструдированные хрустящие палочки с различными добавками // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – № 1. – С. 66–68.
11. Вашин В.В., Вашина Е.А., Еркаев А.В. Побочные продукты пищевых производств как источник сырья для производства экструдированных продуктов // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – Т. 7. – № 3. – С. 137–144.

12. Степанов В.И., Иванов В.В., Шариков А.Ю., Поливановская Д.В., Амелякина М.В. Одностадийный экструзионный способ переработки смесей растительного сырья и высоковлажных овощных сырьевых ресурсов // Вопросы питания. – 2018. – № 5. – С. 239–240.
13. ТУ 9166-003-14362161-2012. Картофельные хлопья. – Введен 01.06.2012.
14. ГОСТ 814-96. Рыба охлажденная. Технические условия. – Введен 01.07.1997. – М.: Стандартиформ, 2010. – 6 с.
15. ОСТ 10-1-86. Дробина пивная. Технические условия. – Введен 01.07.1986. – 5 с.

Ахметгариева Дарья Николаевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41061Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: dasha210396@yandex.ru**Бараненко Денис Александрович**

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, международный научный центр «Биотехнологии третьего
тысячелетия», к.т.н., доцент

e-mail: denis.baranenko@niuitmo.ru

УДК 57.044**НЕПРОТЕИНОГЕННАЯ НЕЙРОТОКСИЧНАЯ АМИНОКИСЛОТА ВМАА
В ПИЩЕВОМ СЫРЬЕ****Ахметгариева Д.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Бараненко Д.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

ВМАА – непотеиногенная аминокислота, нейротоксин. Синтезируется цианобактериями и способна передаваться по пищевым цепям. Попадая с пищей в организм человека и животных, может вызывать тяжелые нейродегенеративные заболевания, которые на сегодняшний момент неизлечимы. Поэтому важно идентифицировать ее содержание в пищевых продуктах. Общепринятым методом определения является метод жидкостной хроматографии и tandemной масс-спектрометрии.

Ключевые слова: аминокислота, нейротоксин, цианобактерии, нейродегенеративные заболевания, гидробионты, пищевые продукты, нейротрансмиттеры.

Нейродегенеративные заболевания на сегодняшний день являются одной из актуальных проблем человечества. Их широкая распространенность связана с увеличением продолжительности жизни вследствие повышения уровня медицины во многих развитых странах. Общим признаком для таких заболеваний является прогрессирующая гибель нервных клеток. Особое внимание на себя обращают заболевания, такие как болезнь Альцгеймера, Паркинсона, боковой амиотрофический склероз и другие. На данный момент они неизлечимы, и все ведут к необратимым изменениям и летальному исходу. Считалось, что такие заболевания развиваются медленно и характерны для людей преклонного возраста. Однако с развитием науки и усложнением инструментальных методов ученые по сей день ищут, и находят новые пути развития нейродегенеративных заболеваний. Открытия говорят нам о том, что нейродегенеративным заболеваниям подвержены и молодые люди. А одной из причин возникновения заболеваний оказались пищевые продукты, потребляемые животными и человеком, а именно, содержащийся в них нейротоксин. Его определение в пищевых продуктах является важной задачей для науки о жизни и здоровье человека.

Еще в 60-х годах XX века ученые заметили связь между потреблением определенных продуктов питания и увеличением частоты возникновения нейродегенеративных заболеваний у Чаморро – коренных жителей острова Гуам, употребляющих в пищу растения семейства Саговниковые. Также в их традиционный рацион входит мясо летучих лисиц, которые питаются саговником. Позднее удалось

непосредственно через iGluR и опосредованно через mGluR. Увеличение Ca^{2+} способствует ER-стрессу, запускающему апоптоз нервных клеток. Аминокислота ВМАА может быть ошибочно принята клеточным механизмом за L-серин во время трансляции и ошибочно интегрирована в белки. Это приводит к неправильному сворачиванию белка, агрегации и последующему апоптозу нейронов. Ошибочное встраивание ВМАА в белок приводит к серьезным последствиям для нервной системы. Воздействие ВМАА приводит к гиперфосфорилированному белку tau за счет снижения активности протеинфосфатазы 2А (PP2А), посредством активации рецептора mGluR5 и последующей диссоциации каталитической субъединицы PP2Ac. Снижение активности PP2А приводит к значительному увеличению гиперфосфорилированного tau, что приводит к образованию фибриллярного клубка и повреждению клеток. Описанные выше механизмы говорят о чрезвычайно высокой нейротоксичности аминокислоты ВМАА, и о разных путях ее воздействия на нервную систему животных и человека [2].

Таким образом, спектр действия аминокислоты довольно обширен. ВМАА не является причиной конкретного заболевания. Часто она является весомым дополнением ко многим другим факторам, вызывающим деменцию. Например, ВМАА является визитной карточкой патогистологических особенностей болезни Альцгеймера, включающих бета-амилоидные бляшки.

Животные также, как и человек, подвержены нейродегенеративным заболеваниям. Было показано, что ВМАА накапливается в долгоживущих хищниках, таких как акулы, а также во всей морской пищевой сети Южной Флориды [3]. Совсем недавно было обнаружено, что дельфины, выбрасывающиеся на берег, страдали от нейродегенеративных заболеваний. В их мозге была обнаружена ВМАА в высоких концентрациях. Ранее же полагали, что самоубийства дельфинов происходят из-за многочисленных подводных акустических систем военных кораблей. Дельфины являются ценными биоиндикаторами здоровья морской среды и предоставляют информацию о потенциальных экологических рисках для человека. Вредные цветения водорослей становятся все более частыми в пресноводных озерах и море. Вероятно, из-за потепления климата и увеличения выбросов фосфора и азота. Обогащение цианобактериальными удобрениями сельскохозяйственных земель и орошение водой, густонаселенной цианобактериями, может также привести к загрязнению почвы ВМАА и дальнейшему ее переносу и биоаккумуляции в основных культурах, тем самым угрожая здоровью человека. Было доказано, что ВМАА может переноситься из почвы в корень, стебель и лист растений. Вследствие широкого спектра эксайтотоксичности и распространенности продуцентов нейротоксичной аминокислоты, важно проводить идентификацию ВМАА в пищевых продуктах. Авторы в своих дальнейших исследованиях ставят перед собой задачу идентификации цианотоксина ВМАА в употребляемой рыбе, распространение информации о возможном нахождении его в пищевых продуктах, а также поиску путей предотвращения и уменьшения действия ВМАА [4].

Любой анализ ВМАА должен основываться на надежном аналитическом методе, который доступен широкому научному сообществу. До недавнего времени методы идентификации веществ были настолько разнообразны, что результаты попросту не совпадали друг с другом. Отсутствовало широкое признание стандартизированных методов подготовки проб и стандартных аналитических методов для ВМАА в сложных физиологических матрицах, таких как цианобактерии, морепродукты, неврологические ткани человека. Например, токсин может быть обнаружен с помощью таких лабораторных методов, как жидкостная хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрия, аминокислотный анализ, капиллярный электрофорез и спектроскопия ядерного магнитного резонанса. Некоторые исследователи не смогли обнаружить ВМАА с использованием новых

методов, таких как HPLC (хроматография гидрофильного взаимодействия) с tandemной масс-спектрометрией, и утверждали, что все предыдущие исследователи должны ошибаться при обнаружении ВМАО. Поэтому критическая переоценка используемой методологии стала обязательным условием [5].

В качестве наиболее распространенного современного метода количественного определения аминокислоты ВМАО используют метод высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии (LCMS). Данный метод основан на лизисе образца ткани с дальнейшим получением экстракта аминокислот, который после дериватизации анализируется с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии. При этом могут возникать трудности с обнаружением аминокислоты ВМАО из-за наличия ее изомеров. Поэтому необходимо корректировать параметры жидкостной хроматографии для поиска лучшего метода идентификации искомой аминокислоты при повторении опыта. В качестве объекта исследования на зараженность нейротоксином подойдет донная рыба Балтийского моря – территориально наиболее близкого и интересного для изучения. Донными семействами рыб являются тресковые и камбаловые.

Основные этапы идентификации ВМАО в выбранном сырье:

- лизис клеток;
- кислотный гидролиз белков;
- дериватизация с использованием 6-аминохинолил-N-гидроксисукцинимидилкарбамата (AQC);
- жидкостное хроматографическое (ЖХ) разделение;
- tandemное масс-спектрометрическое (МС/МС) детектирование аналитов.

Ход работы. Для проведения исследования необходимо было отобрать выбранное количество образцов мышечной ткани донной рыбы. Исследуемые образцы мышечной ткани следовало хранить при температуре не выше минус 20°C. Первую стадию гомогенизации проводили в блендере. Образцы ткани (1,0 г) экстрагировали с небольшим количеством трихлоруксусной (ТХУ) кислоты и гомогенизировали в течение 4 мин с использованием гомогенизатора. Каждый образец экстрагировали три раза, используя 3 мл 0,1 М ТХУ. Далее проводили центрифугирование при 6 577g в течение 10 мин. Отобранный супернатант доводился до 10 мл с использованием 0,1 НСl, т.е. коэффициент экстракции составлял 10:1 (мл/г). Затем образцы выдерживались 18 ч при 110°C в запаянных колбах, чтобы получить растворимо-связанную форму ВМАО. Далее следовало провести центрифугирование при 12 000 g в течение 5 мин, НСl выпарить при слабом потоке воздуха при 55°C до полного высыхания. Высушенный экстракт суспендировать в 0,1 м ТХУ; для удаления липидов добавить хлороформ.

Растворимые экстракты ВМАО можно хранить при –20°C. 20 мкл экстракта, 60 мкл буфера АQC и 20 мкл реагента АQC смешивать по порядку. Смесь герметично закрыть и перемешивать в течение 1 мин, затем ее нагревать в течение 10 мин при 55°C. Дериватизированный образец снова встряхивали после охлаждения до комнатной температуры перед анализом. Все реагенты берутся из набора. Все образцы проанализированы с помощью LC-MS/MS анализа с предварительной АQC-дериватизацией. Производное АQC обычно используется для дериватизации аминокислот благодаря его количественной реакции, как с первичными, так и с вторичными аминами, что приводит к стабильным флуоресцентным производным. Стандарты растворы ВМАО используются для подготовки серии разведений, чтобы получить калибровочные кривые, используемые для полуколичественного определения. Другие параметры, такие как разрешение, мощность пика и ширина пика, рассчитываются в соответствии с надлежащими рекомендациями.

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии широко используется в идентификации веществ. Данный метод прошел критическую переоценку, и на данное время является общепризнанным. Результаты идентификации ВМАА, полученные с помощью данного хроматографического метода, являются максимально достоверными. Этот метод подходит для массового детектирования нейротоксина в пищевых продуктах.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о необходимости проверки пищевых продуктов на наличие цианотоксинов, развитие данного направления в России, создание обязательных систематических проверок продукции на основе гидробионтов. Такие исследования привлекут внимание к проблеме очистки воды, проблеме заражения животных, и самое главное – к проблеме людей, страдающих нейродегенеративными заболеваниями.

Новизна дальнейших исследований будет состоять в том, чтобы не просто проводить детекцию, но и искать пути предотвращения и уменьшения действия ВМАА на организм человека, ведь на сегодняшний день нейродегенеративные заболевания пока еще не излечимы.

Литература

1. Bell E.A. The discovery of ВМАА, and examples of biomagnification and protein incorporation involving other non-protein amino acids // *Amyotroph. LateralScler.* – 2009. – P. 21–25.
2. Masseret E. Dietary ВМАА exposure in an amyotrophic lateral sclerosis cluster from Southern France // *PLoS ONE.* – 2013. – V. 42. – P. 53–56.
3. Mondo K. Cyanobacterial Neurotoxin b-N-Methylamino-L-alanine (ВМАА) in Shark Fins // *Marine Drugs.* – 2012. – P. 509–520.
4. Davis D.A., Mondo K., Stern E. Cyanobacterial neurotoxin ВМАА and brain pathology in stranded dolphins // *PLoS ONE.* – 2019. – V. 154. – P. 3–7.
5. Wu X. Biomagnification characteristics and health risk assessment of the neurotoxin ВМАА in freshwater aquaculture products of Taihu Lake Basin, China // *Chemosphere.* – 2019. – V. 229. – P. 332–340.

Валишев Андрей Александрович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: andrey_valishev@mail.ru

Мурашев Сергей Викторович

Год рождения: 1965

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.т.н., доцент

e-mail: s.murashev@email.ru

УДК 637.056

**ВЛИЯНИЕ ГИНГЕРОЛА НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ВАРЕННЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ****Валишев А.А.****Научный руководитель – д.т.н., доцент Мурашев С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Микроорганизмы имеют различное влияние на мясо и мясные продукты. Они могут отрицательно влиять на вкус, цвет, аромат, консистенцию и внешний вид. Однако при производстве некоторых видов сырокопченых колбас используются стартовые культуры. Микроорганизмы, развивающиеся на мясе, могут вызвать появление нежелательных дефектов мясного сырья, такие как: гниение, свечение, ослизнение, плесневение, и др.

Ключевые слова: гингерол, бактерии группы кишечной палочки, КМАФАнМ, стафилококки, дрожжи, микробиологическая стабильность, вареные колбасные изделия.

Гингерол – химическое соединение растительного происхождения, которое содержится в корне растения имбиря (*Zingiber officinale*). Гингерол придает имбирю специфический мятно-горьковатый привкус. Гингерол имеет антибактериальное, антиканцерогенное, антисептическое, антиоксидантное свойства.

Эксперименты по влиянию гингерола на качественные показатели мясного сырья, полуфабрикатов и продуктов проводились в Пизанском университете [1], университете Махатмы Ганди [2], университете Лиссабона [3], Пекинском университете [4]. Также эфирное масло имбиря можно использовать в качестве наноэмульсионного покрытия куриного филе [5].

Цель работы – исследование влияния гингерола на микробиологические показатели вареных колбасных изделий.

Задачи:

1. изучение влияния гингерола на качество и сроки хранения мясных продуктов;
2. выявление возможности его использования в качестве регулятора микробиологической стабильности;
3. изучение воздействия гингерола на физико-химические показатели вареных колбас.

Объектами исследований являлись вареные колбасные изделия, изготовленные из куриного фарша, согласно ГОСТ Р 52196-2011. В качестве сырья использовали мясо цыплят-бройлеров. Авторы изготовили контрольный образец без гингерола и образцы с добавлением гингерола 1, 1,5 и 2% к массе фарша. Образцы оставили на хранение в холодильной камере на 14 дней при температуре 4°C. В качестве метода исследования

было использовано микробиологическое исследование с применением десятикратных разведений, посевом на микробиологические среды.

Для исследования сделали десятикратные разведения продукта до степени 1:10⁵.

Из разведений посеяли на селективные жидкие питательные среды. На среду Кеслер посеяли для выявления наличия бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и самой кишечной палочки, на солевой бульон посеяли для выявления наличия стафилококков, на селенитовый бульон – для выявления сальмонелл. Посевы делали на протяжении всей продолжительности хранения. Кроме того, посеяли на ГМРФ-агар для выявления количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и агар Сабуро – для выявления дрожжей. Все посева выдержали в термостате при 37°С 24 ч [6].

В течение всего времени хранения было проведено микробиологическое исследование, и выявили, какая концентрация гингерола проявляет наибольшую антимикробную активность. Затем на основе полученных данных построили графики зависимостей изменения колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов.

Микробиологическое исследование было проведено сразу после изготовления вареных колбасных изделий с целью проверки качества проведенной термической обработки. Термическая обработка была проведена на должном уровне. Дальнейшие результаты микробиологических исследований считаются достоверными.

На третьи сутки на жидких средах обнаружено незначительное помутнение и поэтому сделали пересевы на плотные среды.

На ГМРФ-агаре при пересеве всех образцов обнаружен рост исчерченных выпуклых матовых колоний с неровным краем.

На среде Эндо при пересеве с контроля выросли мелкие розинчатые, выпуклые колонии ярко-розового цвета. При пересеве образца с 1% гингерола выросли выпуклые, прозрачные, округлые, бледно-розовые колонии.

На среде Плоскирева, агаре Байард–Паркера и агаре Сабуро не было обнаружено признаков роста.

На седьмые сутки хранения сделали разведения аналогичным способом. На жидких средах обнаружено значительное изменение сред и сделали пересевы на плотные среды.

На ГМРФ-агаре при посеве контрольного образца выросли выпуклые блестящие колонии молочно-белого цвета и матовые исчерченные колонии с изрезанными краями. При посеве образца с содержанием 1% гингерола выросли блестящие, выпуклые, молочно-белые колонии. При посеве образца с 1,5% гингерола обнаружен рост матовых изрезанных и исчерченных колоний. На образце с 2% гингерола выросли матовые, выпуклые, молочно-белые колонии.

На среде Плоскирева в контроле выросли выпуклые, блестящие колонии светло-розового цвета, характерные для лактозоположительных энтеробактерий. В образцах с 1 и 1,5% не обнаружено признаков роста.

На среде Эндо при пересеве со среды Кеслера с контрольного образца выросли ярко-розовые колонии непонятной формы, которые окружены слизистым ареалом. При пересеве с образца с содержанием с 1% гингерола – розовые выпуклые колонии, при пересеве с образца с содержанием с 1,5% гингерола выросли светло-розовые, блестящие выпуклые колонии. При пересеве с образца с содержанием 2% гингерола выросли выпуклые, блестящие ярко-розовые и светло-розовые колонии. Это признак роста БГКП.

На агаре Байард–Паркера и агаре Сабуро не было обнаружено признаков роста.

На четырнадцатые сутки хранения были обнаружены резкие изменения на жидких средах.

На ГМРФ-агаре выросли матовые молочно-белые колонии, исчерченные, светло-желтые, выпуклые колонии с изрезанным краем, а также блестящие выпуклые, светло-желтые колонии.

На среде Плоскирева выросли блестящие бесцветные прозрачные колонии. Что свидетельствует о наличии бактерий рода *Salmonella*, это подтвердили биохимические тесты со средами Гисса агаром Клиггера, на среде Эндо выросли ярко-розовые колонии с зеленоватым металлическим блеском. Эти колонии являются подтверждением наличия *Echerichia coli*.

На агаре Сабуро при посеве всех образцов выросли блестящие, выпуклые, прозрачные; мелкие, блестящие, росинчатые и светло-желтые мелкие колонии. Это выявляет наличие в образцах дрожжей рода *Sachromices* и *Candida*.

На агаре Байрда–Паркера на всех образцах при пересеве с солевого бульона выросли мелкие черные, выпуклые колонии. Данный тип колоний характерен для бактерий рода *Staphylococcus*.

Количество колоний микроорганизмов измеряли прямым подсчетом. Результаты представлены в табл. 1–5.

Таблица 1. Изменение количества КМАФАнМ (КОЕ) в вареных колбасных изделиях в зависимости от концентрации гингерола и длительности хранения

Продолжительность хранения, сут.	Содержание гингерола, %			
	Контроль	1%	1,5%	2%
0	0	0	0	0
3	10	7	4	0
7	110	10	9	7
14	Сплошной рост	$2 \cdot 10^3$	10^3	42

Таблица 2. Изменение количества БГКП (КОЕ) в вареных колбасных изделиях в зависимости от концентрации гингерола и длительности хранения

Продолжительность хранения, сут.	Содержание гингерола, %			
	Контроль	1%	1,5%	2%
0	0	0	0	0
3	100	40	0	0
7	10^3	100	70	50
14	$5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	1000	500

Таблица 3. Изменение количества бактерий рода *Salmonella* (КОЕ) в вареных колбасных изделиях в зависимости от концентрации гингерола и длительности хранения

Продолжительность хранения, сут.	Содержание гингерола, %			
	Контроль	1%	1,5%	2%
0	0	0	0	0
3	0	0	0	0
7	10^3	10	0	0
14	10^4	10^3	300	100

Таблица 4. Изменение количества стафилококков (КОЕ) в вареных колбасных изделиях в зависимости от концентрации гингерола и длительности хранения

Продолжительность хранения, сут.	Содержание гингерола, %			
	Контроль	1%	1,5%	2%
0	0	0	0	0
3	0	0	0	0
7	0	0	0	0
14	1000	100	75	50

Таблица 5. Изменение количества дрожжей (КОЕ) в вареных колбасных изделиях в зависимости от концентрации гингерола и длительности хранения

Продолжительность хранения, сут.	Содержание гингерола, %			
	Контроль	1%	1,5%	2%
0	0	0	0	0
3	0	0	0	0
7	0	0	0	0
14	1600	1300	200	100

На основе полученных экспериментальных данных были построены графики изменения количества колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов в зависимости от содержания гингерола и от времени хранения, показанные на рис. 1–3.

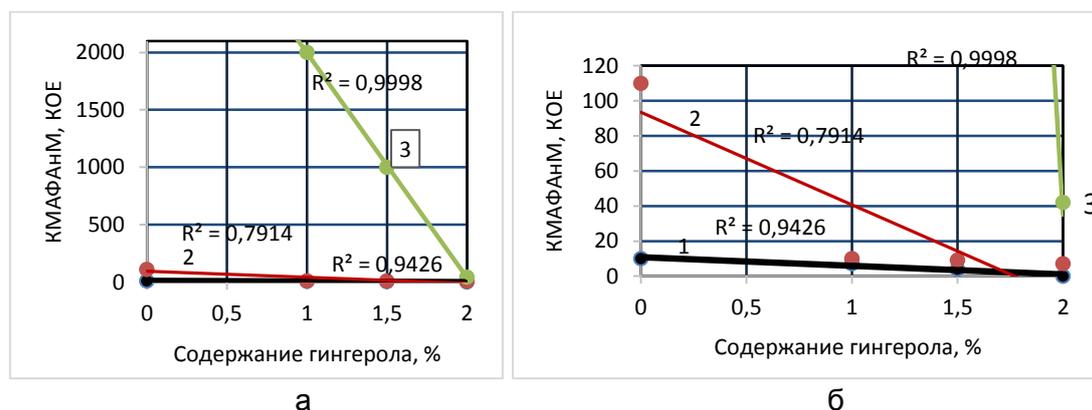


Рис. 1. Зависимость изменения КМАФАМ от содержания гингерола и от длительности хранения: 1 – 3 суток; 2 – 7 суток; 3 – 14 суток. Графики изменения на 7 и 14 сутки (а) графики изменения на 3 и 7 сутки (б)

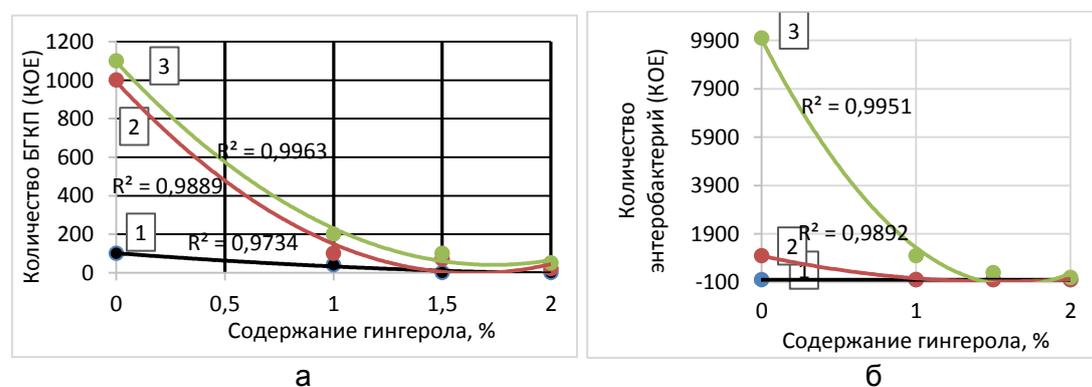


Рис. 2. Зависимость изменения количества БГКП (а) и энтеробактерий, в том числе рода *Salmonella* (б) от содержания гингерола и длительности хранения: 1 – 3 суток; 2 – 7 суток; 3 – 14 суток

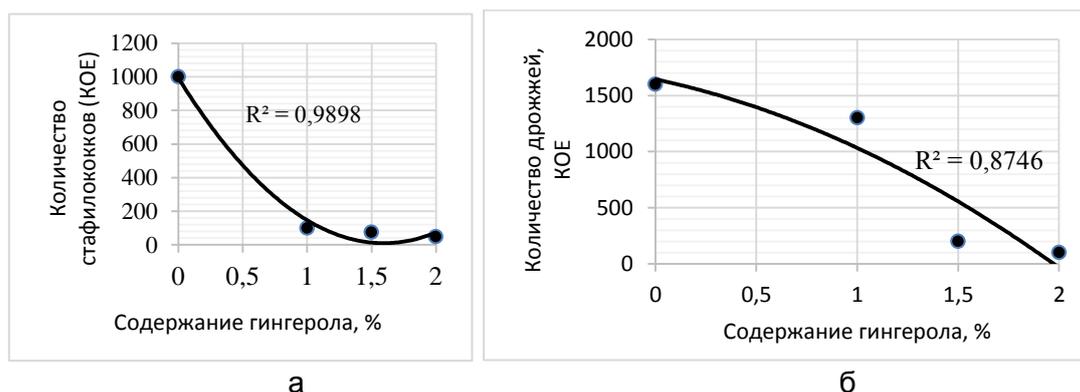


Рис. 3. Зависимость изменения количества стафилококков (а) и дрожжей (б) от содержания гингерола на 14 сутки

Как видно из данных таблиц и графиков число КОЕ всех исследованных микроорганизмов уменьшается при увеличении содержания гингерола в образцах вареных колбасных изделий.

Проведенные исследования позволяют выявить следующее:

1. гингерол оказывает благоприятное воздействие на микробиологическую стабильность вареных колбасных изделий;
2. гингерол позволяет увеличить сроки хранения вареных колбасных изделий до 7–10 суток в зависимости от концентрации;
3. образец с содержанием 2% гингерола обладает наилучшим антимикробным действием в отношении дрожжей, стафилококков, сальмонелл и БГКП;
4. гингерол можно использовать в качестве функциональной добавки для улучшения микробиологических и физико-химических показателей вареных колбасных изделий и продления их срока годности.

Литература

1. Mancini S., Paci G., Fratini F. and others. Improving pork burgers quality using Zingiber officinale Roscoe powder (ginger) // *Meat Science*. – 2017. – V. 129. – P. 161–168.
2. Mathew S., Snigdha S., Mathew J., Radhakrishnan E.K. Biodegradable and active nanocomposite pouches reinforced with silver nanoparticles for improved packaging of chicken sausages // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2019. – V. 19. – P. 155–166.
3. Pires J.R.A., de Souza V.G.L., Fernando A.L. Chitosan/montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary and ginger essential oil as packaging for fresh poultry meat // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2018. – V. 17. – P. 142–149.
4. Cao Y., Gu W., Zhang J., Chu Y., Ye X., Hu Y., Chen J. Effects of chitosan, aqueous extract of ginger, onion and garlic on quality and shelf life of stewed-pork during refrigerated storage // *Food Chemistry*. – 2013. – V. 141. – № 3. – P. 1655–1660.
5. Noori S., Zeynali F., Almasi H. Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets // *Food Control*. – 2018. – V. 84. – P. 312–320.
6. Госманов Р.Г., Колычев Н.М., Кабиров Г.Ф. и др. Санитарная микробиология пищевых продуктов: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.

Верболоз Елена Игоревна

Год рождения: 1962

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор

e-mail: elenaverboloz@mail.ru

Евона Никита Константинович

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант
Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: n412@mail.ru

Иванова Марина Александровна

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н.

e-mail: mtomz85@mail.ru

УДК 663**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ СУШКИ ЗЕЛЕНИ
ПРЯНЫХ ТРАВ В УЛЬТРАЗВУКЕ****Верболоз Е.И., Евона Н.К.****Научный руководитель – к.т.н. Иванова М.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Проведены эксперименты по ультразвуковой сушке капиллярно пористых материалов, в частности зелени пряных трав, обладающих повышенными качественными характеристиками при достаточной эффективности созданной установки на базе пароконвектомата. Показано, что процесс оптимизации сушки предварительно может быть рассчитан, используя теоретическую модель ультразвукового воздействия совместно с подачей нагретого сушильного агента до температуры значительно ниже принятых в промышленности (не более 50–55°C). При этом сокращается время сушки в 2 раза и более, как и снижаются энергозатраты (минимум на 30%).

Ключевые слова: экономия энергии, ультразвук, оптимизация параметров, сушильная камера, сушка специй, повышенное качество.

Известно, что процессы сушки в пищевой промышленности являются достаточно энергоемким процессом. Эти процессы характеризуются различной интенсивностью удаления влаги из материала (влагопроводность) и дальнейшим ее испарением с поверхности (влагообмен). При организации сушильного процесса главная трудность заключается в удалении влаги из центра изделий. Важно уметь оперативно и эффективно управлять процессом сушки, поддерживать режимные параметры на уровне, заданном теоретически. Эти проблемы решаются методом математического моделирования, базирующегося на стратегии системного анализа. Причем процесс представляют как сложную взаимодействующую иерархическую систему с дальнейшим качественным анализом ее структуры, разработкой математического описания и оценкой неизвестных параметров. Таким образом, метод математического моделирования позволяет предсказывать результаты их протекания в реальных условиях, а модель – это объект, отличающийся от оригинала теми признаками, которые нужно изучить.

Применяя технологию ультразвуковой сушки, мы снижаем расход энергии на проведение процесса и сохраняем биологически активные вещества, в то же время увеличивая скорость процесса и длительность хранения при сниженной стоимости высушиваемого продукта. Кстати, традиционные сушильные установки (барабанные, распылительные, с виброкипящим слоем, тоннельные, и др.) легко дооборудуются ультразвуковыми устройствами, существенно повышая их производительность. Ультразвуковую сушку можно применять при производстве сухого молока, солода, сушеных овощей, вяленых помидор, специй и т.д. Интенсификация процесса обезвоживания стимулирует переход к установкам непрерывного действия. Особенно они подходят для сушки термолабильных (легко окисляемых и термочувствительных) продуктов. В ряде случаев мощный ультразвук применяется также для снижения общей обсемененности готовых пищевых продуктов. Одним из результативных методов поиска путей повышения эффективности процесса влагоудаления является математическое моделирование [1]. Данная проблема актуальна, так как для современной науки и техники нужен точный прогноз процессов тепло- и массопереноса, экспериментальные исследования которых очень дорогостоящие и сложные, а иногда и попросту неосуществимы. С помощью математического моделирования без привлечения экспериментов возможно повысить точность расчета и реализовать потенциал энергосбережения при сохранении качества высушенного изделия [2].

Цель работы: теоретическое исследование влияния теплофизических свойств материалов растительного происхождения на процесс сушки и анализ процесса тепло-массопереноса при сушке зелени пряных трав различного типа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. анализ современных литературных источников по теме работы;
2. формулировка математической модели процесса сушки зелени пряных трав различного типа;
3. осуществление численного расчета в системе MATLAB и оценка достоверности теоретических результатов, сверка их с экспериментальными данными;
4. анализ результатов.

Практическая значимость результатов работы представлена в виде разработки физической теории и математической базы, позволяющих моделировать процессы тепло- и массопереноса при сушке зелени пряных трав при конвективно-радиационном обогреве, интенсифицированном ультразвуком достаточной мощности (130–140 дБ). Такие расчеты дают возможность применения сформулированной математической модели для выбора эффективных режимов сушки пряных трав и ингредиентов.

Авторами проведено исследование влагопереноса и тепловых свойств нескольких видов пряной зелени при наложении ультразвука. Несмотря на то, что наиболее дешевый и простой способ сушки – атмосферный, так как он не требует таких капитальных затрат, по сравнению с камерной, он имеет массу недостатков: для данного способа сушки необходимы большие площади при большом запасе материала; процесс является неуправляемым, а именно, в регионах с повышенной влажностью воздуха возрастает вероятность поражения изделий грибами, а в районах, где сильная жара – сильное меланоидино-образование, выгорание цвета и потеря ароматических веществ. При сушке вначале испаряется влага снаружи и свободная влага – это влага, которая содержится в сосудах и трахеидах в виде лимфы, и которая проходит во все части листа, питая его.

Количество свободной влаги всегда достаточно высокое (свыше 600%), и она представляет собой большую часть влаги растений. Удаляется свободная влага легко и быстро [2, 3].

Связанная влага – это влага, удерживаемая внутри стенок клеток. Она начинает испаряться только после полного удаления свободной воды. Процесс удаления связанной воды является более трудным и продолжительным, и одновременно сильно влияющим на качественные свойства пряных трав. Здесь воздействие кавитации и других свойств ультразвука существенно изменяют качественные характеристики сушеных трав, усиливают их аромат.

Именно в достижении интенсивного движения влаги внутри материала (из центральной зоны к его поверхности) скрываются возможности получения высоких технико-экономических показателей сушки биомассы.

В статье [3] изложена информация о методах сушки и описана физика этих методов. В [2] представлен выбор режима сушки. Описаны мягкий, нормальный и форсированный режимы сушки. Также приведены рекомендации для выбора режима сушки, исходя из таких факторов как: порода, толщина и назначение материала.

В [2] описаны дефекты сушки, их причины и предупреждения. Преимущество предлагаемой авторами искусственной сушки с применением ультразвука состоит в возможности создания внутри камеры полностью контролируемого климата, который при этом не зависит от условий внешней среды. Климатические условия изменяются постепенно таким образом, чтобы вызвать удаление влаги из трав с наименьшей потерей ароматических веществ, и это происходит в значительно более короткий промежуток времени по сравнению с естественной сушкой. Причем за счет снижения трения в ультразвуке влагопроводность – распределение влаги по объему материала – становится более равномерной. Но в то же время вызывает ускоренное ее перемещение в сторону пониженной влажности (наружу), а термовлагопроводность – явление движения влаги за счет различной температуры в центре и на поверхности материала – приводит к ускоренному движению влаги в направлении низкой температуры (испарение в ультразвуке на поверхности травы идет весьма интенсивно). Таким образом, устраняется в ультразвуке главная трудность в осуществлении комплексного сушильного процесса, т.е. перемещение ее к поверхности. Автором предложена экспериментальная оригинальная установка на базе пароконвектомата для сушки листовой зелени, и приведены результаты экспериментальных исследований по ультразвуково-конвективной сушке сырья, опубликованные в работе [4].

Автором отмечено, что построение математических моделей и проведение численных расчетов необходимо осуществлять на основе переменных Лагранжа. Модель разработана и представлена ниже. Для исследования процесса сушки в данной работе используется математическое моделирование. Чаще всего при расчете конвективных сушилок движущую силу процесса выражают как разность температур воздуха и поверхности материала, используя значение эффективного коэффициента теплоотдачи от воздуха к материалу, определенное по опытным данным [2]. Тепловой баланс процесса конвективной сушки записывается в виде соотношений:

$$c_B G_B \frac{dt_B}{dl} - \alpha F_M (t_B - t_n) = \chi r G_c \frac{dD}{dl}, \quad (1)$$

где G_B – расход воздуха, кг/с; c_B – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C); dt_B/dl – скорость изменения температуры воздуха по длине сушилки, °C/м; α – эффективный коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²·с·°C); F_M – поверхность теплоотдачи материала на единице длины сушилки, м; t_B – температура воздуха, °C; t_n – температура поверхности материала, °C; G_c – расход абсолютно сухого материала, кг/с; r – теплота испарения чистой жидкости, Дж/кг; D – влагосодержание материала, кг/кг; l – координата по длине сушилки, м; L – длина сушилки в агрегате хлорвиниловых покрытий, м; $\chi = H_{исп}/r$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода теплоты на испарение влаги из высушиваемого материала по сравнению с чистой жидкостью.

Для первого периода сушки $\chi=1$ и $t_{\text{п}}$ – величина постоянная, тогда из (1) следует:

$$\frac{d(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})}{t_{\text{в}} - t_{\text{п}}} = -\frac{\alpha F_{\text{м}}}{c_{\text{в}} G_{\text{в}}} dl; \quad dD = \frac{c_{\text{в}} G_{\text{в}}}{r G_{\text{с}}} d(t_{\text{в}} - t_{\text{п}}). \quad (2)$$

Интегрирование уравнений (2) дает:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{п}} + (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{н}} e^{-al};$$

$$D_{\text{н}} - D = b[(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{н}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})] = b(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{н}} [1 - e^{-al}],$$

где $D_{\text{н}}$ – влагосодержание материала в начале первой зоны сушки, кг/кг; $t_{\text{в}}$ – разность температуры воздуха и температуры поверхности материала в начале первой зоны сушки, °С:

$$a = \frac{\alpha F_{\text{м}}}{c_{\text{в}} L}; \quad b = \frac{c_{\text{в}} L}{r G_{\text{с}}}. \quad (3)$$

Во втором периоде сушки скорость процесса снижается вследствие уменьшения разности температур и увеличения расхода теплоты на нагрев материала и испарения влаги. Если принять, что два последних фактора учитываются коэффициентом χ , то для второго периода сушки можно использовать уравнение (2). Тогда с учетом (3) получаются уравнения:

$$-\frac{dU}{U^n} \frac{1}{(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{кр}} - \frac{\chi}{h}(1-U)} = adl.$$

С использованием разработанной математической модели были проведены имитационные исследования, построены статические характеристики процесса сушки, представленные на рисунке.

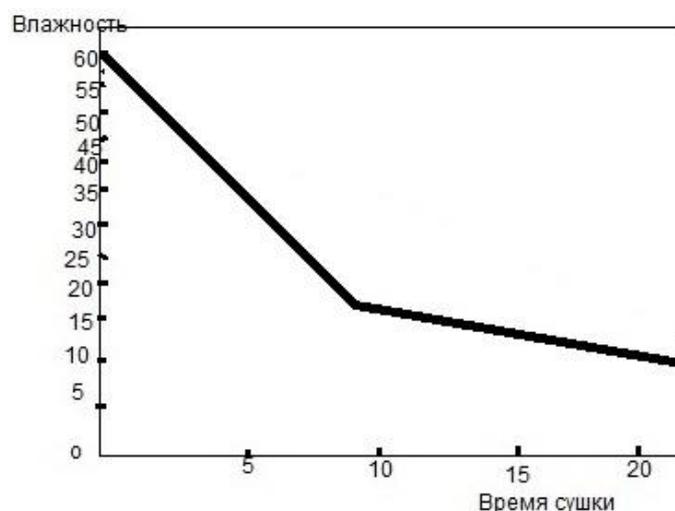


Рисунок. Зависимость влажности (%) зелени пряных трав (тимьян) от времени сушки (минут) в ультразвуке при температуре воздушного потока в камере пароконвектомата 50°C. Эксперимент

Процесс акустического воздействия на первой стадии сушки начинается с некоторого порогового значения звукового давления (130–140 дБ), зависит от конфигурации тела, типа акустических потоков на поверхности материала и в окружающей среде. Идет быстрое уменьшение массы продукта и отсутствует резкое уменьшение размеров листьев, сохраняется их высокая пористость. Вторая стадия сушки характеризуется в виде нисходящей скорости, медленным снижением влажности материала. Влияние акустических колебаний сводится к увеличению коэффициента диффузии жидкости в результате ее нагрева при поглощении ультразвука в макрокапиллярах и порах. Однако нагрев воды в звуковом поле незначителен и

увеличение коэффициента диффузии не превышает 150–180%, т.е. существенного ускорения сушки на этой стадии не наблюдается.

Однако принципиальная особенность способа заключается в том, что ускорение (в 2–6 раз) процесса сушки продуктов происходит практически без повышения их температуры. Реализуется так называемый принцип холодной сушки, что исключает термическое воздействие на зелень, лишнее удаление ароматических веществ и окисление жиров, а следовательно, исключает привкусы и посторонние запахи.

Таким образом, к достоинствам метода сушки в акустических полях высокой интенсивности относятся:

- высокая интенсивность процесса сушки (при сушке зелени пряных трав, например, она возросла в 5 раз);
- появилась возможность качественной и эффективной сушки при низких температурах и практически без повышения температуры (что исключает разрушение витаминов и быстрое удаление эфирных масел);
- меньше энергозатраты; эксперименты позволяют утверждать, что энергозатраты можно уменьшить в 1,3–2 раза, а скорость сушки в 2–6 раз;
- возможность сушки практически всех материалов без существенного изменения конструкции сушилки;
- высокая экологичность технологии благодаря отсутствию продуктов горения топлива и низким температурам сушки.

Представленная математическая модель процесса сушки в ультразвуке при атмосферном давлении позволяет адекватно описывать процессы тепло- и массообмена в условиях комбинированного энергоподвода, вносить изменения температуры и влажности продукта, рассчитывать время сушки при заданных условиях и управлять процессом сушки специй из зелени без применения предварительного дорогостоящего эксперимента. Результаты проведенных экспериментов показывают перспективность и целесообразность создания комбинированных сушильных установок (ультразвуковые – конвекционные) с оптимальным соотношением доли тепловой и акустической энергии [5, 6].

Литература

1. De la Fuente-Blanco S., Riera-Franco de Sarabia E., Acosta-Aparicio V. M., Blanco-Blanco A., Gallego-Juarez J.A. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics // Elsevier USA*. – 2006. – V. 44. – P. 523–527.
2. Глазнев В.Н. Устройство для сушки капиллярно-пористых сыпучих материалов. Патент РФ № 2095707.
3. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н. Исследование эффективности ультразвуковой сушки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/issledovanie-effektivnosti-ultrazvukovoy-sushki> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Леонтьева А.И. Кинетика. Технология и комплексное аппаратурно-технологическое совершенствование заключительных стадий производства полупродуктов органических красителей (выделение, фильтрование, удаление примесей, сушка): дис. д-ра техн. наук: 05.17.04. – Тамбов, 2005. – 413 с.
5. Кафаров В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974. – 344 с.
6. Фрэнкс Р. Математическое моделирование в химической технологии / Пер. с англ. Д.К. Бейлина, Э.Ф. Ишмаева. – М.: Химия, 1971. – 272 с.

Вихрова Маргарита Александровна

Год рождения: 1999

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
институт сельского хозяйства и природных ресурсов, отделение естественных наук
и природных ресурсов, студент группы № 7141

Направление подготовки: 06.03.01 – Биология

e-mail: cool.selena45@gmail.com

Иванова Дарья Игоревна

Год рождения: 1998

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
институт сельского хозяйства и природных ресурсов, отделение естественных наук
и природных ресурсов, студент группы № 7141

Направление подготовки: 06.03.01 – Биология

e-mail: geijr0611@yandex.ru

Севостьянова Наталья Николаевна

Год рождения: 1979

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
институт сельского хозяйства и природных ресурсов, отделение естественных наук
и природных ресурсов, д.биол.н., доцент

e-mail: snn79@yandex.ru

УДК 664.665**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБА ДЛЯ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ**

Вихрова М.А. (Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого), **Иванова Д.И.** (Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого)

Научный руководитель – д.биол.н., доцент Севостьянова Н.Н.
(Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого)

В работе затрагивается тема безглютенового диетического питания, в частности разработка рецептуры безглютенового хлеба для лечебно-профилактической диеты. В ходе исследований были разработаны две технологии безглютенового бездрожжевого хлеба, которые были проанализированы на основные показатели качества. Главное достоинство приготовленных образцов – сбалансированное содержание макронутриентов по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: глютен, хлеб, диетическое питание, профилактическое питание, функциональное питание.

Целиакия – хроническое аутоиммунное заболевание, при котором развивается непереносимость глютена – белка злаковых культур, частота заболевания в России может составлять 1:250–100. При целиакии возрастает процент аутоиммунных заболеваний: сахарный диабет 1 типа на 7,4; аутоиммунный гипотиреоз на 5,4; первичный цирроз печени на 3,0; аутоиммунный гепатит на 1,1 [1]. 4,5 млн человек страдают сахарным диабетом в Российской Федерации (на 31.12.2017 г.). Болезнь занимает третье место после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. 48% людей склонны к непереносимости лактозы (по данным медико-генетического центра Genotek).

В связи с растущим трендом на здоровое питание у обычных потребителей, а также у людей с целиакией и чувствительностью к глютену, безглютеновые продукты получают широкое распространение. 55% мирового рынка безглютеновой продукции составляют хлебобулочные изделия [2]. На российском рынке в основном

представлены хлеба импортного происхождения, которые широко не распространены в России, особенно в маленьких городах.

Целью данного исследования являлась разработка рецептуры аглютенowego хлеба для людей, придерживающихся аглютеновой диеты, который получит широкое распространение среди населения и будет оптимален по составу и стоимости. В связи с выделенной целью были поставлены следующие задачи:

1. разработать рецептуру безглютенowego хлеба;
2. определить содержание белков, жиров, углеводов в готовом продукте;
3. провести анализ безглютенowego хлеба по органолептическим и физико-химическим свойствам (кислотность, пористость, влажность).

Глютен – белковая фракция злаковых: пшеницы, ячменя, ржи и овса. Глютен является причинным фактором воздействия отрицательной фракции организма у людей с непереносимостью глютена. Существуют глютенассоциированные заболевания, их делят на 3 категории: аутоиммунные, аллергические и чувствительность к глютену. В патогенезе, генетической и иммунологической основе между ними имеются различия. Однако при этих состояниях люди должны находиться на безглютеновой диете.

В ходе разработки рецептуры авторы выбрали две технологии, основанные на различных сортах муки. Рецепт 1 на основе льняной муки, также содержащий: овсяное молоко, яйца, сахарозаменитель (эритрит и стевия), растительное масло, сода, яблочный уксус, соль. Рецепт 2 на основе гречневой и рисовой муки, также содержащий: овсяное молоко, яйца, сахарозаменитель (эритрит и стевия), сода, яблочный уксус, соль. Исходя из содержания ингредиентов, обе технологии не содержат глютен, лактозу и дрожжи.

После того, как была проработана рецептура, авторы сами приготовили образцы хлеба, а затем проанализировали их на основные показатели качества хлеба: органолептические (табл. 1) и физико-химические свойства, среди которых влажность, пористость и кислотность (табл. 2) [3, 4].

Таблица 1. Сравнительная характеристика образцов хлеба по органолептическим свойствам

Показатели	Результаты оценки хлеба по сортам	
	Гречнево-рисовый	Льняной
Форма	Овальная	Круглая
Характеристика корки	Овальная	Круглая
Эластичность мякиша	Цвет: светло-коричневая Поверхность: неровная с трещинами и подрывами	Цвет: светло-коричневая Поверхность: гладкая
Структура пористости	Неэластичный	Эластичный
Цвет мякиша	Мелкопористый	Среднепористый
Вкус	Серо-светло-коричневый	Серо-коричневый
Запах	Нормальный, привкус гречки	Нормальный

Для сопоставления полученных данных, была проведена сравнительная характеристика полученных образцов хлеба с безглютенowym покупным хлебом (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительная характеристика показателей качества хлеба [2, 3]

Показатель качества	Полученный льняной	Полученный гречнево-рисовый	Безглютенowym покупной
Влажность, % /пористость, % /кислотность, град	28,0/56,0/1	42,6/33,0/0,67	37,0/80,5/2,67

Показатель качества	Полученный льняной	Полученный гречнево- рисовый	Безглютеновый покупной
Калории (на 100 г продукта), ккал	334,7	265,4	226
Белки, г /Жиры, г /Углеводы, г (на 100 г продукта)	23,3/23,7/6,21	8,8/5,5/44,8	3,8/2,4/44 (сахар 6,3)
Стоимость (на 100 г продукта), руб.	16,7 (только стоимость продуктов)	24,2 (только стоимость продуктов)	47,8

По результатам исследований, а также сравнения себестоимости и пищевой ценности, наиболее подходящим для диетического и аглютенового питания является приготовленный авторами льняной хлеб. По этим параметрам он выигрывает у гречнево-рисового хлеба. Помимо этого, льняной хлеб максимально хорош по соотношению белков/жиров/углеводов по сравнению с аналогами. В связи с низким количеством углеводов в рецептуре льняного хлеба, продукт подходит для кето-, палео-протокола питания, низкоуглеводных диет.

Следует отметить, что рецепт гречнево-рисового хлеба не является идеальным, потому что при выпекании данного хлеба хлеб не пропекается полностью. Улучшение рецептуры нужно делать опытным путем.

В рецептуре льняного хлеба авторы предполагают, что содержание растительного масла можно снизить или свести к нулю. Данное предположение также необходимо проверить опытным путем.

Обе рецептуры безглютенового хлеба являются рабочими, их можно совершенствовать, добавляя новые ингредиенты, придающие пышность и вкус. Рецептуру также можно адаптировать под вегетарианский вариант, заменив яйца растительными аналогами, например, на запаренную муку семян льна. Однако добавление новых ингредиентов, возможно, будет увеличивать себестоимость продукции, что негативно скажется на конечной цене продукта.

Литература

1. Бельмер С., Хавкин А. Непереносимость глютена и показания к безглютеновой диете [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/57133106-Neperenosimost-glyutena-i-pokazaniya-k-bezglyutenovoy-diete.html> (дата обращения: 03.03.2019).
2. Абуталыбова Д.Э. Рынок безглютеновой продукции в мире и в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stopgluten.info/spetsialistam/dlya_proizvoditelei/rynok_bezglutenovyh_produktoov/ (дата обращения: 03.03.2019).
3. Шевченко В.В., Выговтов А.А., Нилова Л.П., Карасева Е.Н. Измерительные методы контроля показателей качества и безопасности продуктов питания. В 2-х ч. Ч. 1: Продукты растительного происхождения. – СПб.: Троицкий мост, 2009. – 304 с.
4. Гудкова Т.И. Технология переработки продукции растениеводства. Учеб.-метод. пособие к лаб. занятиям. – НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006. – 39 с.

Горбунов Глеб Николаевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41503Направление подготовки: 18.04.02 – Промышленная экология и чистое производство
e-mail: gorbunovg@inbox.ru**Рахманов Юрий Алексеевич**

Год рождения: 1941

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент

e-mail: jarakhmanov@corp.ifmo.ru

УДК 621.311

**УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ СИСТЕМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ
ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****Горбунов Г.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Рахманов Ю.А.**

Работа выполнена в рамках НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

В работе рассмотрена возможность повышения эффективности и энергосбережения систем термоокислительного обезвреживания отходов с использованием воздушных газотурбинных технологий. Предложенная идея является перспективной как с точки зрения применения альтернативного источника энергии, так и с учетом получаемых экологических и экономических результатов.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, газотурбинные технологии, энергетическая установка, термоокислительное обезвреживание, тепловая энергия.

На сегодняшний день города-мегаполисы подвержены демографическому росту. К примеру, уже к 2020 году в Санкт-Петербурге и Ленинградской области ожидается образование порядка 2084 тыс. т твердых коммунальных отходов (ТКО) при ежегодном приросте 1,6% [1, 2]. Как следствие, специальные полигоны не справляются с таким приростом ТКО, и их отправляют на перезахоронение в другие регионы, или же они копятся, организуя несанкционированные свалки. Ознакомимся с ситуацией свалок, расположенных в районе Санкт-Петербурга и Ленинградской области (рис. 1) [3].

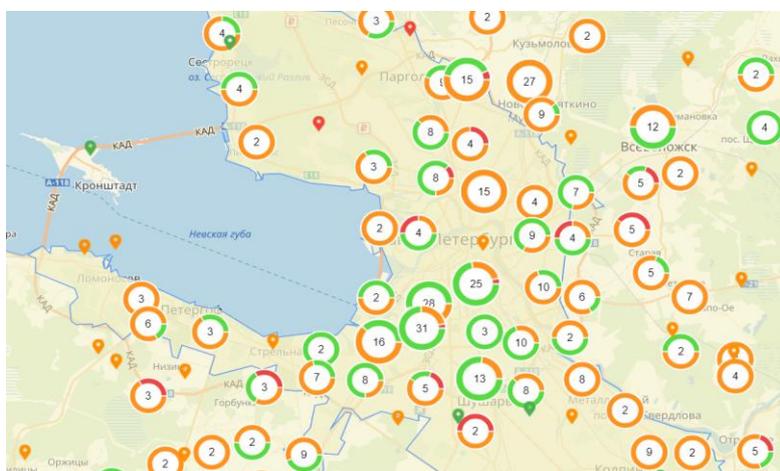


Рис. 1. Интерактивная карта свалок района Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Использование технологий термоокислительного обезвреживания отходов с применением газотурбинных технологий позволяет в 10 раз снизить объем для захоронения твердых бытовых отходов, а выделяющуюся в данном процессе тепловую энергию можно использовать как для выработки электрической энергии, так и для рекуперации самой системы термоокислительного обезвреживания. К примеру, в Швеции термически обрабатываются с получением электрической энергии 55% ТКО, во Франции – 80%, в Японии – 70% [4].

Описание схемы установки термоокислительного обезвреживания. Для достижения необходимого качества сжигания отходов в системе термоокислительного обезвреживания необходимо поддерживать температуру в диапазоне 900–1200°C [5]. В ходе термической реакции образуются дымовые газы, в состав которых входят твердые частицы уносимой золы, чья теплота не применяется в системе.

На сегодняшний день большой популярностью пользуются газотурбинные установки и технологии, чьим преимуществом является достаточно эффективное преобразование тепловой энергии в механическую или электрическую энергию, возможность находиться в рабочем состоянии при широком диапазоне нагрузок, относительно низкая стоимость эксплуатации, надежность, модульность и мобильность установки. Все это делает данные технологии пригодными для внедрения в системы термоокислительного обезвреживания. Но для работы газотурбинной установки, необходима предварительная очистка дымовых газов.

Для достижения необходимого уровня очистки используются фильтры, разработанные в НИИОГАЗе с импульсной регенерацией, содержащие керамические элементы конструкции Gerafil фирмы «Madisson Filtor», способные работать при температуре до 900°C.

В данной работе рассмотрена идея газотурбинных технологий утилизации теплоты уходящих дымовых газов с применением воздушной турбины (рис. 2) [6–10]. Рабочим телом для данной системы является воздух.

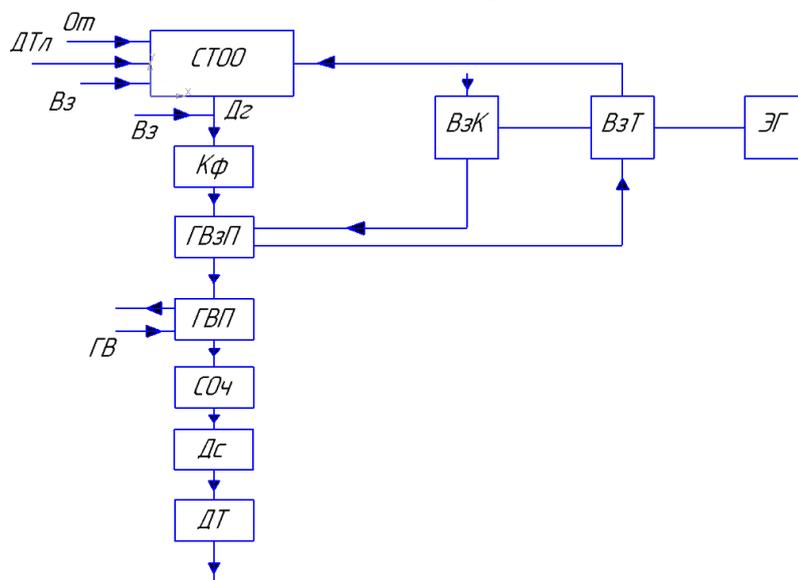


Рис. 2. Газотурбинные технологии утилизации теплоты уходящих дымовых газов систем термоокислительного обезвреживания – классическая «прямая схема» с применением воздушных турбинных установок: СТОО – система термоокислительного обезвреживания; От – отходы; Вз – чистый воздух; ДТл – дизельное топливо; Дг – дымовые газы; Кф – керамический фильтр; ГВзП – газовоздушный подогреватель; ГВП – газовойдяной подогреватель; СОч – система очистки; Дс – дымосос; ДТ – дымовая труба; ГВ – горячая вода; ВзТ – воздушная турбина; ВзК – воздушный компрессор; ЭГ – электрический генератор

Схема на рис. 2 [6–10] состоит из ВЗТ, рабочим телом для которой является ВЗ. Принцип работы: воздух из атмосферы ВЗ подается в ВЗК, которым под давлением и температурой попадает в ГВЗП, где подогревается за счет уходящими из СТОО, предварительно очищенными в КФ, ДГ под повышенным давлением от температуры воздуха на ВЗК до температуры, допустимой для ВЗТ.

В ВЗТ подогретый воздух расширяется до значения давления приближенного к атмосферному. В результате совершается работа, которая направлена на привод ВЗК и ЭГ. После турбины ВЗТ воздух ВЗ обладает высокой температурой и используется для рекуперации посредством переправления в СТОО для поддержания процесса термического окисления От. В данной схеме ДГ проходят очистку через высокотемпературный КФ, где происходит их очистка от уносимой золы до концентрации, приемлемой для ГВЗП.

В случае превышения температуры уходящих газов ДГ сверх допустимой для КФ, их можно охладить до желанной температуры, путем добавления атмосферного ВЗ перед КФ. Как правило, в ГВЗП ДГ охлаждаются до температуры работы СОч и газоудаления, включающей ДС и ДТ.

При избыточном тепловыделении со стороны дымовых газов относительно тепловосприятия со стороны нагреваемого воздуха после ГВЗП для более полного использования теплоты уходящих газов дымовых газов может быть установлен ГВП для подогрева воды системы водяного теплоснабжения [11, 12].

Заключение. Применение данной технологии рядом передовых европейских стран свидетельствует об актуальности их использования. Реальная ситуация прироста ТКО и существующее количество свалок на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области свидетельствуют о необходимости внедрения предложенных выше технологий по нейтрализации ТКО. Помимо термической обработки ТКО представленная система термоокислительного обезвреживания может вырабатывать электрическую энергию, которая может быть отправлена потребителю, а также применяться для собственных нужд. Все вышесказанное подтверждает целесообразность внедрения данной технологии в местах массового скопления ТКО.

Литература

1. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 29.05.2012 № 524.
2. Долгосрочная целевая программа обращения с твердыми бытовыми и промышленными отходами в Санкт-Петербурге на 2012–2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/toxics/recycle/LIP-part1.pdf> (дата обращения: 03.03.2019).
3. Интерактивная карта свалок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kartasvalok.ru/#> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Рябов Ю.В. Твердые бытовые отходы: захоронение, сжигание, переработка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rareearth.ru/ru/news/2016041/02476.html> (дата обращения: 03.03.2019).
5. Директива 1
6. Способ утилизации теплоты сгорания твердых бытовых отходов на мусоросжигательной установке и устройство для его реализации. Авторы патента Дыган М.М., Гонопольский А.М., Картавый А.Н. Косых В.А. Патент RU2515442 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.findpatent.ru/patent/251/2515442.html (дата обращения: 03.03.2019).
7. Универсальная воздушно-турбинная энергетическая установка. Авторы: Гуров В.И., Иванов В.Л., Шестаков К.Н. Патент РФ 2395703 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patents/2395703/> (дата обращения: 03.03.2019).

8. Иванов В.Л. Газотурбинный энергопреобразователь для установки утилизации твердых бытовых отходов методом газификации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – С. 134–144.
9. Осипов М.И., Моляков В.Д., Тумашев Р.З., Иванов В.Л., Красный Б.Л., Тарасовский В.П. Энергетическая газотурбинная установка, использующая теплоту газа литейного производства // Труды международной научно-практической конференции. – 2005. – С. 55–58.
10. Осипов М.И., Моляков В.Д., Тумашев Р.З., Иванов В.Л., Заживихина Т.А., Елисеев Ю.С., Третьяк С.А. Проблемы создания ГТУ для утилизации твердых бытовых отходов и низкотемпературного твердого топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.combienergy.ru/stat/986-Problemy-sozdaniya-GTU-dlya-utilizacii-tverdyh-bytovyh> (дата обращения: 03.03.2019).
11. Буракова А.В., Рахманов Ю.А. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/k-voprosu-ochistki-vysokotemperaturnyh-gazov-pechey-termoobrabotki-metallicheskih-izdeliy> (дата обращения: 03.03.2019).
12. Зиотин В.Е., Калинин Н.М. Эффективные рекуператоры тепла нового поколения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 03.03.2019).

Демидов Павел Игоревич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41062Направление подготовки: 19.04.02 – Качество и безопасность пищевых продуктов

e-mail: pademido@mail.ru

Мануйлов Андрей Николаевич

Год рождения: 1974

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
аспирантНаправление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: manu2@mail.ru

Болотова Ксения Владимировна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4111Направление подготовки: 19.03.03 – Продукты питания на белковой основе

e-mail: bolotova_ksu@inbox.ru

Куприна Елена Эдуардовна

Год рождения: 1956

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н.

e-mail: elkuprina@yandex.ru

УДК 636.084**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ПИТАНИЯ ДЛЯ СОБАК НА ОСНОВЕ РЫБНЫХ ОТХОДОВ****Демидов П.И., Мануйлов А.Н., Болотова К.В.****Научный руководитель – д.т.н. Куприна Е.Э.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Проанализированы требования к физико-химическому составу и допустимому внешнему виду полнорационных и дополнительных функциональных кормов для собак. Показана актуальность разработки функциональных кормов с минерал-обогащающими свойствами. Осуществлен расчет рецептуры функционального корма для собак массой 15 кг.

Ключевые слова: кормопроизводство, функциональные корма, собаки, минерал-обогащающие добавки, рецептура.

Недостаток или избыток питательных веществ, минеральных солей и воды ведет к тяжелым нарушениям обмена веществ в организме, что отражается на состоянии здоровья собаки. Правильное кормление собак является необходимым условием для их выращивания, наиболее полной реализации их генетических задатков и интенсивного использования. Под правильным кормлением подразумевается питание, которое осуществляется по физиологически обоснованным нормам потребности в питательных веществах, полноценными и сбалансированными рационами при соблюдении режима кормления. Неправильное же питание кобелей-производителей и сук маточного поголовья сказывается отрицательным образом на их оплодотворяемости, количестве и качестве половых клеток, на эмбриональном развитии и качестве приплода [1].

Основной задачей данного исследования являлся подбор состава и получение опытных образцов функционального корма по типу «лакомство» (лакомством называется не полнорационный корм, дающийся как подкормка для собак, а также дополняющий рацион животного минеральными и витаминными соединениями).

Второстепенной задачей является подобрать состав функционального корма с максимально возможным использованием отходов рыбного производства, для обеспечения его не только физиологической пользой, но и экономической рентабельностью.

Собаки являются плотоядными животными, однако, в результате длительного контакта с человеком, собаки приспособились к поеданию и усвоению питательных веществ из рационов, содержащих в своем составе зерновые и овощные корма. Соответственно, целесообразнее составлять рацион питания из комбинирования растительного и животного сырья, потому как комбинирование различных кормов повышает вкусовые качества, благоприятно влияет на желудочно-кишечный тракт и состояние организма собаки в целом, а также является наиболее сбалансированным по белкам, жирам и углеводам, макро- и микроэлементам.

В исследованиях [2] указывается, что при комбинировании компонентов рациона питания обязательно должно выдерживаться их обоснованное соотношение:

- группа растительных кормов должна занимать в рационе максимальный удельный вес и составлять для взрослых собак 60–70% от общей калорийности рациона;
- удельный вес продуктов животного происхождения в рационах взрослых собак должен занимать 30–40% от общей калорийности рациона.

По данным ГОСТ 55453-2013 на корма предъявляются требования, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические показатели полнорационных кормов для собак [3]

Наименование показателя	Для роста и размножения	Для поддержания организма взрослого животного
1	2	3
Массовая доля влаги корма, %: сухого влажного	не более 14 более 14	
Массовая доля сырого протеина, %, не менее	22	18
Массовая доля сырой клетчатки, %, не более	4,6	5,8
1	2	3
Массовая доля сырого жира, %, не менее	8	5
Массовая доля сырой золы, %, не более	11	
Массовая доля кальция, %, не менее	1,1	0,6
Массовая доля фосфора, %, не менее	0,9	0,5
Массовая доля натрия, %, не менее	0,3	0,06
Массовая доля хлоридов, %, не более	0,45	0,09
Массовая доля лизина, %, не менее	1,7	1,5
Массовая доля метионина и цистина (в сумме), %, не менее	0,8	0,7
Массовая доля триптофана, %, не менее	0,2	
Содержание витамина А, МЕ/кг, не менее	5000	
Содержание витамина Д, МЕ/кг, не менее	500	
Содержание витамина Е, МЕ/кг, не менее	50	

В настоящее время особенно актуально создание и разработка кормов для животных функционального назначения, которые позволяют наряду с удовлетворением энергетической и биологической ценности, решать проблемы борьбы с наиболее распространенными заболеваниями, такими как остеопороз, рахит и другие. Данную проблему можно решить путем создания кормов, обогащенных минералами и витаминами (Ca, Mg, P, витамины группы D и B).

В соответствии с ГОСТ Р 55985-2014 функциональные корма в зависимости от способа выработки подразделяют на несколько видов (табл. 2).

Таблица 2. Основные показатели и характеристики функциональных кормов для собак

Наименование показателя	Содержание характеристик
Внешний вид	
Гранулированные	Агломерированные частицы различных форм и размеров, с пористой структурой
Таблетированные	Твердая дозированная форма, получаемая прессованием порошков или гранул
Порошкообразные	Мелкодисперсный, хорошо сыпучий порошок, без комков
Жидкие	Однородная жидкость на водной или масляной основе с различной вязкостью, без нерастворимых включений. Для фитокармов допускается выпадение мягкого осадка, полностью разбиваемого при взбалтывании
Пастообразные	Однородная, мажущаяся паста, допускается небольшая мучнистость и мягкая крупинчатость
Брикетированные, формованные	Цельные, правильной формы брикеты, равномерные по толщине. Твердая дозированная форма, получаемая формованием специальных масс
Цвет	Соответствующий цвету входящих в рецепт компонентов и/или их смеси*
Запах	Свойственный набору входящих в рецепт компонентов*. Не допускается плесневый, гнилостный или другие посторонние запахи

В соответствии с представленными требованиями по качеству кормов авторами был осуществлен расчет рецептуры суточной нормы потребления нутриентов для собак. Расчет осуществлялся для собаки с усредненной массой 15 кг.

При разработке рецептуры учитывалась потребность собак массой 15 кг в энергии, которая составляет 4305 кДж [4, 5].

Рассчитанные суточные нормы потребления нутриентов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные суточные нормы потребления нутриентов для собак

Питательные вещества	Дневная норма на 15 кг массы	Дневная норма на 1 кг массы
Белок, г	67,50	4,5
Жиры, г	19,50	1,3
Углеводы, г	139,50	9,3
D, мг	0,03	0,002
E, мг	30,00	2
B ₂ , мг	0,60	0,04
B ₆ , мг	0,30	0,02
C, мг	15,00	1
Кальций, мг	3900,00	260

Питательные вещества	Дневная норма на 15 кг массы	Дневная норма на 1 кг массы
Фосфор, мг	3300,00	220
Магний, мг	165,00	11

Выводы. Таким образом, с учетом существующих литературных данных, а также сведений, представленных в нормативных документах, осуществлен расчет рецептуры функциональных кормов с Са, Mg, P – обогащающими свойствами для собак средней массы 15 кг.

Литература

1. Хохрин С.Н. Кормление собак и кошек: Справочник. – М.: КолосС, 2006. – 248 с.
2. Фаритов Т.А., Хазиахметов Ф.С., Платонов Е.А. 24 Практическое собаководство: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2012. – 448 с.
3. Авилов В.М. Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sbbjpriozersk.ru/files/vsnip-dlya-kormov.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Россельхознадзор / Нормативные документы. федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fsvps.ru/fsvps/laws> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Кожарских О.А. Новая кинология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zooportal.pro/forum/forum23/topic13138/> (дата обращения: 06.03.2019).

Дмитриева Ирина Александровна

Год рождения: 1997

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт сельского хозяйства и природных ресурсов, кафедра экологии и природопользования, студент группы № 5301

Направление подготовки: 05.03.06 – Экология и природопользование

e-mail: iradmyt@yandex.ru

Литвинов Владимир Федорович

Год рождения: 1948

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт сельского хозяйства и природных ресурсов, кафедра экологии и природопользования, к.хим.н., доцент

e-mail: Vladimir.litvinov@novsu.ru

УДК 504.064.47

ПРОБЛЕМА РЕАЛИЗАЦИИ СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ БАТАРЕЕК

Дмитриева И.А.

(Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого)

Научный руководитель – к.хим.н., доцент Литвинов В.Ф.

(Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого)

В работе изучено влияние тяжелых металлов в составе батареек на жизнедеятельность человека и окружающую среду; проанализирована схема утилизации батареек; сформулированы основные направления по решению экологической проблемы сбора батареек в Новгородской области. В результате был получен материал, анализ которого позволил заключить, что проблема переработки гальванических элементов достаточно распространена и представляет серьезную опасность как для человека, так и для окружающей его природы.

Ключевые слова: батарейка, утилизация гальванических элементов, пункты приема батареек, экотерминал, экопост.

Человеческое общество всегда стремится к развитию и совершенствованию условий своей жизни, своего существования и старается создавать наиболее удобные и оптимальные средства для дальнейшего будущего. Достаточно большая доля новой техники нуждается в самостоятельных источниках питания, таких как батарейки и аккумуляторы. Но, как и у многих предметов бытового назначения у батареек есть свой срок годности, по истечению которого их необходимо утилизировать. Проблема утилизации батареек остро стоит в России и в некоторых других странах мира, причинами являются отсутствие организованной схемы сбора, переработки и утилизации, а также экологическая неосведомленность населения о необходимости раздельного сбора. В Новгородской области батарейки от населения попадают на полигоны, так как отсутствует организованная система сбора и утилизации отработанных источников питания.

Актуальность данной работы обусловлена возрастающей популярностью и спросом на различные электроприборы, использующие гальванические элементы питания (батарейки), и недостаточным информированием о потребности переработки батареек и ущербе, наносимом природной среде.

Батарейка – это химический источник электрического тока, компоненты которого при взаимодействии между собой вступают в реакцию, а в результате происходит преобразование химической энергии в электрическую [1]. Батарейка, выброшенная в мусор, является источником серьезной угрозы для окружающей среды. Если батарейка попадет на свалку, ее оболочка быстро разложится, а все вредные вещества попадут в почву.

Батарейки могут быть опасными по следующим причинам:

- токсичность содержащихся внутри металлов;
- утечка опасных веществ при механическом повреждении элементов питания;
- при сжигании батарейки токсичные материалы, содержащиеся в ней, попадут в атмосферу [2].

Ртуть – одно из самых опасных ядовитых веществ для человека, действует бессимптомно. Оказывает отрицательное влияние на печень и почки, нервную систему и мозг, вызывая заболевания дыхательной системы, нервные расстройства, нарушения двигательного аппарата, ухудшение слуха и зрения. Свинец поражает почки, вызывает нервные расстройства и заболевания мозга, провоцирует суставные и мышечные боли. Кадмий – канцероген, провоцирующий рак. Он скапливается в щитовидной железе, костях, поражает почки, печень, поджелудочную железу. Кадмий блокирует работу важных для жизнедеятельности организма ферментов. Никель и цинк способны вызывать дерматит. Щелочи при соприкосновении с кожными покровами и слизистыми оболочками приводят к химическим ожогам.

Каждый из этих ядовитых элементов способен приводить к развитию канцерогенных факторов, а также к репродуктивным расстройствам. Пагубное воздействие может проявиться спустя некоторое время, так как тяжелые металлы влияют на организм человека после достижения определенной концентрации. Необратимые болезненные протекания возникают незримо.

Через некоторое время емкость составной части батарейки разрушается, что влечет за собой выброс отравляющих веществ в окружающую среду. Загрязнению подвергается почва и грунтовые воды, затем через урожай и водоснабжение вредные вещества могут поступать в организм человека.

Попадая на полигоны для твердых бытовых отходов, гальванические элементы могут проходить процедуру сжигания. Таким образом, в атмосферу выделяется дым, насыщенный диоксинами, обладающими значительным мутагенным, канцерогенным действием.

Открытие производства по переработке батареек в Великом Новгороде нецелесообразно в силу больших инвестиций в данный проект и отсутствия крупных предприятий металлургической отрасли. Однако в России существует самый крупный пункт приема – завод «Мегаполисресурс» в Челябинске, который приобрел лицензию на переработку использованных источников питания. В Российской Федерации «Мегаполисресурс» является единственной организацией, занимающейся переработкой гальванических элементов, и позволяющей вернуть в производственный цикл продуктивные источники сырья [3].

Первые батарейки «Мегаполисресурс» утилизировал в 2013 году. При участии больших торговых сетей, активистов и государственных органов за три года число полученных и переработанных элементов питания превысило значение 20 млн штук. Был установлен рекорд за счет увеличения коэффициента вторичного использования до 90%: из 50 т батареек и аккумуляторов получили 4 т графита, 17,5 т диоксида марганца, 6,7 т цинка, 10 т электролита и 9 т лома черных металлов. При обновившихся мощностях завод сможет получать из батареек цветные металлы, которые в разы легче реализовать на рынке, чем их соединения [4]. В свою очередь, производители зафиксировали, что коэффициент полезного действия их изобретения достигает в действительности предельных 80%, это один из наилучших показателей в Европе.

Утилизация батареек представляет собой одну из самых трудных проблем переработки вторичного сырья. В действительности почти во всех источниках питания находятся вредные токсичные вещества в виде многообразных металлов и химических соединений, которые при нарушении целостности корпусов батареек попадают в окружающую среду. Никелево-кадмиевые батарейки, которые нашли свое применение

в сотовых телефонах, – преимущественно более значимые источники кадмия; большую опасность представляют ртутные и литиевые батарейки как поставщики ртути и лития в окружающую среду; кроме того, литий может самопроизвольно вступать в реакции с кислородом воздуха и воспламеняться. Переработка источников питания является процессом по восстановлению и дальнейшему использованию компонентов, из которых были сделаны батарейки. В процессе рециклинга из батарей извлекаются металлы, которые затем повторно включаются в состав новых изделий. К слову, материал, который образуется по окончании рециклинга батареек (железо, графит, сульфаты цинка и марганца), можно использовать для изготовления новых элементов питания, и даже в других отраслях, например, в фармацевтике и косметологии. Задачей подобного процесса является сбережение электроэнергии и материалов.

Процесс переработки батареек включает в себя несколько определенных этапов. Для начала необходимо отсортировать гальванические элементы соответственно их типу. Далее контейнерная линия отправляет батарейки в дробилку, где они измельчаются. Полученное сырье спускают под магнитную ленту, которая разделяет большие элементы металлического корпуса. В итоге гидрометаллургических технологий сырье разделяется на отдельные компоненты и упаковывается.

Стоит заострить внимание на возможных вариантах для осуществления раздельного сбора батареек. Необходимыми пунктами приема можно считать:

1. экомобиль – подвижная точка приема. Одним из главных преимуществ данного пункта является тот факт, что все собранные отходы, во время стоянки экомобиля, утилизируются на предназначенном специализированном участке для переработки подобных отходов с соблюдением всех условий безопасности;
2. стационарные пункты приема опасных отходов (экопосты). В так называемые экопосты можно приносить электронные приборы, источники питания, и даже автомобильные аккумуляторы;
3. экотерминалы. «Экотерминал» представляет собой металлический ящик, оборудованный специальной системой приема энергосберегающих ламп и термометров.

К решению вопроса об отсутствии достаточных экологических знаний можно подойти с нескольких позиций. Прекрасным источником информации по данному вопросу могут быть информативные экологические буклеты, в которых содержится вся необходимая информация о влиянии использованных батареек на здоровье населения и окружающую среду. Благодаря средствам массовой информации можно получить значительное разъяснение экологических вопросов глобального и регионального значения, посредством анализа и распространения информации, касающейся текущих событий, проблем, связанных с окружающей средой, с которой постоянно взаимодействует человек.

В настоящий момент экологически чистой и рентабельной технологии, которая позволила бы переработать исчерпавшие свой срок аккумуляторные батареи, с получением продуктов надлежащего качества, не существует. Необходимо стараться предпринимать специальные меры и направлять усилия на возможное решение данного вопроса, для достижения наилучшей экологической обстановки в отдельно взятом городе, и на Земле в целом. Стоит стремиться к рациональному управлению и использованию тех благ, которые создает деятельность человека, ведь забота о природе, о сохранении ее природно-ресурсного потенциала и просто поддержание благоприятного состояния окружающей среды – вот одна из главных задач человеческого общества и каждого отдельного человека [5].

Литература

1. Роджерс К., Кларк Ф., Смит А., Хендерсон К. Изучаем физику. Свет. Звук. Электричество. – М.: Росмен-Пресс, 2002. – 64 с.
2. Кувыкин Н.А., Бубнов А.Г., Гриневиц В.И. Опасные промышленные отходы. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2004. – 148 с.
3. ГК «Мегаполисресурс»; переработчик батареек и электронного лома: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eco2eco.ru/> (дата обращения 19.12.2018).
4. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. – М.: Фаир-Пресс, 2002. – 336 с.
5. Материалы докладов студентов. Ч.1. XXV научная конференция преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ / Сост. Г.В. Волошина, Т.В. Прокофьева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.novsu.ru/file/1464072/> (дата обращения 10.03.2019).

Егорова Ольга Алексеевна

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: jeerol@list.ru

Егоров Алексей Николаевич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4245

Направление подготовки: 15.04.02 – Технологические машины и оборудование

e-mail: aleksii40000@ya.ru

Алексеев Геннадий Валентинович

Год рождения: 1948

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор

e-mail: gva2003@mail.ru

УДК 664.292**СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПЕКТИНА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ВЫСУШЕННОГО И ЗАМОРОЖЕННОГО
ЦИТРУСОВОГО СЫРЬЯ**

Егорова О.А., Егоров А.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Алексеев Г.В.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Пектин – широко применяемое высокоценное вещество, которое возможно получать при помощи переработки отходов пищевых производств. В работе рассмотрены различные виды сохранения пектиносодержащего сырья. Проанализировано влияние высушенного и замороженного различными способами сырья на выход получаемого пектина. Для исследования применяется экологичный метод получения пектина, основанный на замене сильных минеральных кислот органической кислотой при экстракции пектина.

Ключевые слова: высокоэтерифицированный пектин, выход пектина, экологичный метод, заморозка, конвективная сушка, лимонная кислота.

Среди всех видов фруктовых деревьев апельсин является одним из самых известных и широко изучаемых в мире [1]. Основным продуктом, получаемым из апельсинов, является сок. В то же время это производство ведет к образованию большого количества отходов. Это не только серьезная проблема для окружающей среды, но и огромные потери веществ, которые могли бы быть получены.

Субпродукты используются для различных целей, в том числе при производстве химических веществ и растворителей, ароматизаторов и отдушек, при производстве красок, в косметике, а также в качестве кормовой добавки для животных. Несмотря на все эти возможности, промышленные отходы в производствах апельсинового сока остаются в основном неиспользованными. Во время промышленного производства апельсинового сока 40–60% апельсина считается отходом [2]. Эти отходы могут быть сырьем для производства эфирных масел, флавоноидов, пектина и других важных продуктов.

Пектин – природный полисахарид, образованный остатками, главным образом, галактуроновой кислоты. Присутствует во всех высших наземных растениях, а также в некоторых видах водных растениях. Пектин – один из компонентов, который

содержится в значительном количестве в отходах соковой промышленности. В промышленных масштабах в 85% случаев для получения пектина используют цитрусы [3, 4]. Вопрос производства пектина особенно актуален в нашей стране. Россия – главный импортер пектина. В России этот продукт не производят.

Пектин находит широкое применение в различных областях: в пищевой промышленности, в косметической промышленности, в медицине, а также применяется в технических целях. Пектиносодержащие продукты рассматриваются как продукты здорового и функционального питания. В связи с этим активно разрабатываются новые виды продуктов. Продукты, содержащие пектин, вызывают появление быстрого чувства насыщения, что уменьшает объем потребления пищи, и тем самым вызывает интерес у диетологов, спортсменов и др.

При хранении пектиносодержащее сырье подвержено ферментативным, биохимическим и микробиологическим изменениям, которые приводят к быстрой их порче. Наиболее распространенными методами сохранения сырья являются: высушивание и заморозка.

В настоящее время намечается тенденция к внедрению при разработке новых технологий хранения и переработки различных видов сырья, основанная на инновационных подходах. Заморозка является перспективным направлением, в связи с максимальным сохранением витаминов и других лабильных веществ.

В Университете ИТМО проводятся работы, направленные на изучение и усовершенствование процессов получения пектина. Одной из задач наших исследований является, в том числе и вопрос выбора лучшего варианта хранения цитрусового сырья с минимальными потерями пектиновых веществ.

Пектины классифицируются по степени этерификации. Использование того или иного пектина зависит от вида продукта, уровня pH, содержания сухих веществ и особенностей производства. В своем исследовании авторы получили высокоэтерифицированный пектин.

В связи с большим количеством опасных отходов при производстве пектина, не каждое предприятие может позволить себе классическую технологию производства пектина. В последнее время в развитии технологии получения пектина можно выявить тенденцию к разработке экологически чистых методов производства. Такие методы способствуют появлению на мировом рынке новых предприятий, которые по экономическим или экологическим ограничениям не могли попасть на него [5].

Для уменьшения экологической нагрузки от производства пектина в данной работе была разработана технологическая схема без применения сильных минеральных кислот. Экстракцию проводили с использованием лимонной кислоты как более экологичного экстрагента при производстве пектина. Лимонная кислота хорошо растворяется в воде, не вызывает коррозии металлического оборудования и не приводит к образованию вредных газовых выбросов в окружающую среду. Литературный обзор и проведенные авторами исследования позволили подобрать оптимальные условия для гидролиза с использованием лимонной кислоты. Замена сильных минеральных кислот на органическую кислоту ведет к падению выхода конечного продукта, поэтому важно найти методы, устраняющие эту проблему [5].

Для данного исследования были использованы альbedo и флаведо апельсина сорта «Валенсия», который выведен специально для применения в соковом производстве и в значительной степени используется для получения пектина.

Были исследованы разные способы хранения используемого сырья и их влияние на качество и количество получаемого пектина.

Конвективная сушка проводилась в сушильном шкафу при температуре 50–70°C до содержания влаги – 9%. Замораживание производилось в воде и в кислом растворе в морозильной камере при температуре – 20°C.

Схема получения пектина представлена на рисунке. Пектин получали кислотным методом с использованием лимонной кислоты для достижения $\text{pH}=2,5-2,8$. Гидролиз проводился в течение 180 мин при нагревании. Осаждение – спиртовое. Полученный пектин высушивали конвективным способом в сушильном шкафу до содержания влаги – 10%.

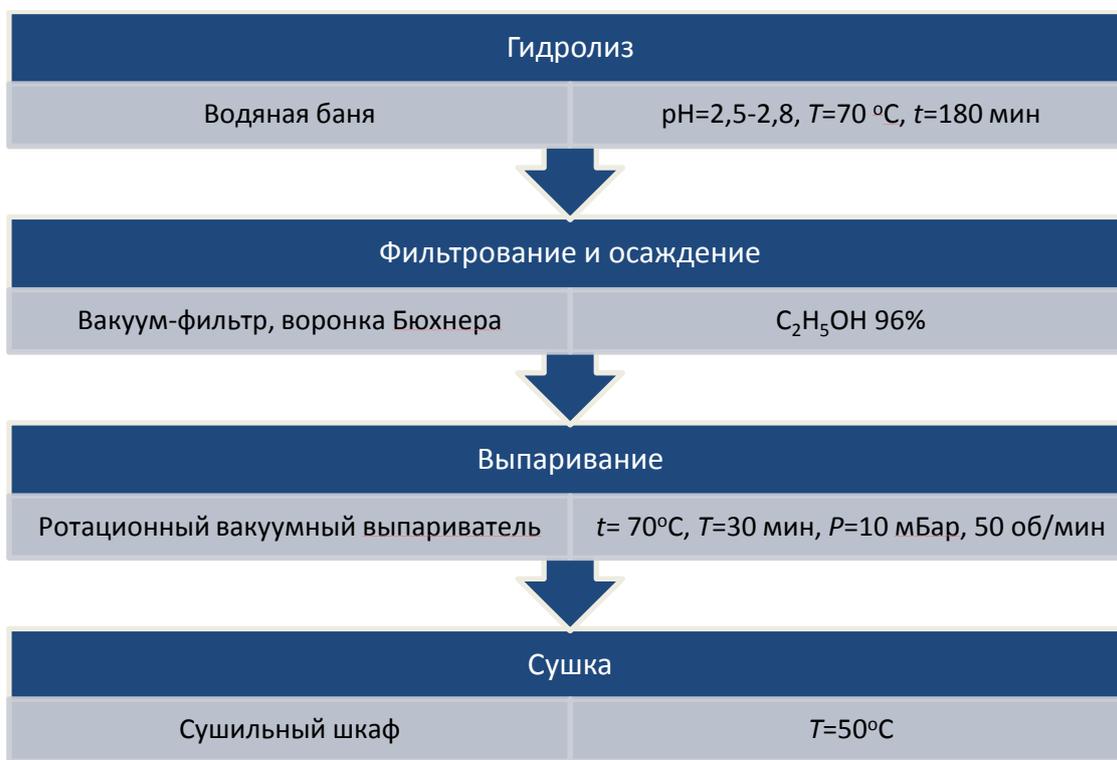


Рисунок. Технологическая схема получения цитрусового пектина

Метод определения степени этерификации основан на титриметрическом определении свободных и, после омыления, этерифицированных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты в очищенной от растворимых балластных примесей и катионов навеске препарата пектина. Анализы степени этерификации полученного пектина проводили титриметрическим методом по ГОСТ 29186-91 Пектин. Технические условия.

Для образования пектинового студня необходимо создание определенных условий (температура, концентрация сухих веществ и др.), а также присутствие студнеобразующего пектина в количестве около 1%, сахара в количестве 60–65%, кислоты в количестве около 1% [3]. Студнеобразование определяли органолептически. Для этого анализа студни готовили по ГОСТ 29186-91.

Можно предположить, что при замерзании воды начинается формирование кристаллов льда, пространственная форма которых обусловлена строением молекул воды. Острые кромки кристаллов льда и увеличивающийся объем воды повреждают внутреннюю структуру клеток сырья и их оболочки. Вытесненная из клеток влага расширяется при замерзании в межклеточном и межтканевом пространстве [6]. Таким образом, происходит дополнительное разрушение волокна по всему объему материала.

За счет нарушения сплошности клеточных мембран растительного материала, сырье приобретает развитую внутреннюю поверхность контакта фаз, что ускоряет массообменные процессы и одновременно обеспечивает равномерное прохождение гидролиза протопектиновых веществ, независимо от их локализации в клетке. В итоге процесс гидролиза протопектиновых веществ завершается быстрее, чем для сырья, полученного при конвективной сушке, а выход пектина значительно увеличивается.

Предварительные результаты опытов показали, что выход пектина для образцов, полученных после водной заморозки сырья, составил 105% от выхода пектина из образцов, полученных из высушенного сырья. Образцы, замороженные в кислом растворе, обеспечили выход пектина до 300%.

Дополнительные исследования показали снижение показателя этерификации в образцах пектина, выделенных из сырья после водной заморозки, до 58% и сохранения высокого уровня этерификации для образцов, замороженных в кислом растворе – 70%. Все образцы полученного пектина можно отнести к высокоэтерифицированным.

Анализируя результаты, полученные в эксперименте, следует отметить достоверность принятой модели и рекомендовать новые технологические приемы при подготовке исследованного сырья к экстракции.

Литература

1. Скорикова Ю.Г., Ротко А.Г. Субтропические и тропические плоды, используемые для консервирования. – Краснодар: КПИ, 1984. – 83 с.
2. Licandro G., Odio CE. Citrus by-products // Citrus: The Genus Citrus, ed. by Dugo G and Di Giacomo A. Taylor & Francis, London. – 2002. – P. 159–170.
3. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 275 с.
4. Богус А.М., Шаззо Р.И. Физические способы получения пектина. – Краснодар: Экоинвест, 2003. – 127 с.
5. Алексеев Г.В., Егоров А.Н., Сидорова А.И., Егорова О.А. Применение различных видов экстракции при получении пектина // Энергетика, информатика, инновации-2017: сборник трудов VII Международной научно-технической конференции. – 2017. – Т. 2. – С. 257–260.
6. Ильина И.А., Земскова З.Г., Беззаботов Ю.С. Исследование интенсификации гидролиза-экстрагирования пектина из предварительно замороженного сырья // Вестник РАСХН. – 2000. – № 3. – С. 83–85.

Коршунова Наталья Александровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т4217Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: korshun236@mail.ru**Баракова Надежда Васильевна**

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент

e-mail: n.barakova@mail.ru

УДК 543.421/424+663.253

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ В СРЕДНЕМ ИНФРАКРАСНОМ
ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ВИНОГРАДНЫХ
ВИНОМАТЕРИАЛОВ****Коршунова Н.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Баракова Н.В.**

Цель работы состояла в оценке возможности применения инфракрасной спектроскопии для выявления фальсификации виноградных вин. Было предложен показатель, позволяющий наглядно оценить подлинность виноматериала. Метод можно отнести к экспресс-методам идентификации, поскольку время анализа занимает менее одной минуты, и метод достаточно прост. Данный метод возможен для применения в работе органов системы контроля качества и сертификации виноградных вин.

Ключевые слова: инфракрасная спектроскопия, фальсификация, виноградные вина, показатели качества, средняя инфракрасная область.

Фальсификация виноградных вин и виноматериалов распространена в связи с высокой стоимостью продукта и возможной высокой прибылью от реализации поддельного вина для производителя фальсификата. Также ухудшает ситуацию на рынке вина недостаточно эффективная работа контролирующих органов, отчасти связанная с отсутствием достоверных критериев и экспресс-методов идентификации виноградных вин. В настоящее время как экспресс-метод для анализа качества продуктов рассматривается метод инфракрасной (ИК)-спектроскопии [1, 2].

Цель данной работы состояла в оценке возможности применения ИК-спектроскопии для выявления фальсификации виноградных вин.

Объектами исследования являлись сухие белые, красные и розовые виноматериалы, произведенные на территории Таманского полуострова. Физико-химические показатели образцов виноматериала представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические показатели качества образцов вина

Вино-материал	Объемная доля этилового спирта, % об.	Показатель рН, ед. рН	Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	Массовая концентрация летучих кислот, г/дм ³	Массовая концентрация свободного диоксида серы, г/дм ³	Массовая концентрация общего диоксида серы, г/дм ³
Белый 1	11,8	3,33	2,0	5,8	0,5	31	99
Белый 2	11,7	3,34	2,4	5,7	0,6	31	104

Вино-материал	Объемная доля этилового спирта, % об.	Показатель рН, ед. рН	Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	Массовая концентрация летучих кислот, г/дм ³	Массовая концентрация свободного диоксида серы, г/дм ³	Массовая концентрация общего диоксида серы, г/дм ³
Красный 1	13,4	3,55	2,5	5,2	0,6	42	66
Красный 2	12,9	3,49	1,8	5,4	0,5	36	79
Розовый	10,9	2,92	3,6	7,2	0,6	7	94

Для оценки возможности применения метода ИК-спектроскопии для выявления поддельного вина, проводили искусственную фальсификацию путем разбавления виноматериала. Разбавление вина осуществляли внесением в исследуемый виноматериал 30% воды от объема виноматериала, соответствующим требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Выбранная степень разбавления соответствует границе органолептического определения фальсифицированного разбавления вина [3]. Далее, для доведения показателя «титруемая кислотность» до значения, указанного в ГОСТ, вносили в разбавленные виноматериалы винную, или яблочную, или лимонную кислоту в соотношениях, указанных в табл. 2. Выбор кислот определялся экономической целесообразностью для производителя суррогатного вина.

Таблица 2. Вид и соотношение органических кислот, вносимых в разбавленный виноматериал

Номер образца разбавленного вина	Наименование органических кислот, вносимых в разбавленное вино	Соотношение вносимых органических кислот, соответственно
1	лимонная	1
2	винная	1
3	яблочная	1
4	лимонная и винная	1:1
5	лимонная и яблочная	1:1
6	винная и яблочная	1:1
7	лимонная, винная и яблочная	1:1:1

На ИК-Фурье спектрометре ALPHA II с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) сняли спектры приготовленных образцов виноматериала и исходных контрольных образцов виноматериала (рис. 1).

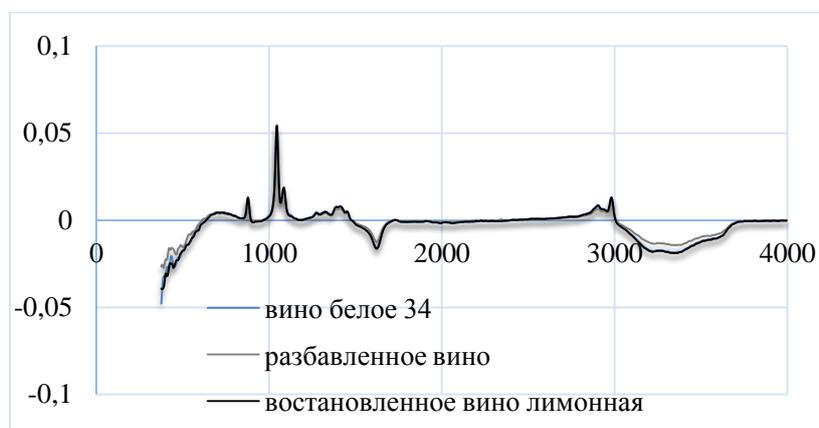


Рис. 1. Спектры образцов виноматериала

При качественной оценке полученных спектров была выявлена полоса поглощения, интенсивность которой при разбавлении значительно снижалась и при внесении органических кислот не возвращалась к первоначальному значению (рис. 2). Данная полоса поглощения лежит в диапазоне $1100\text{--}1300\text{ см}^{-1}$.

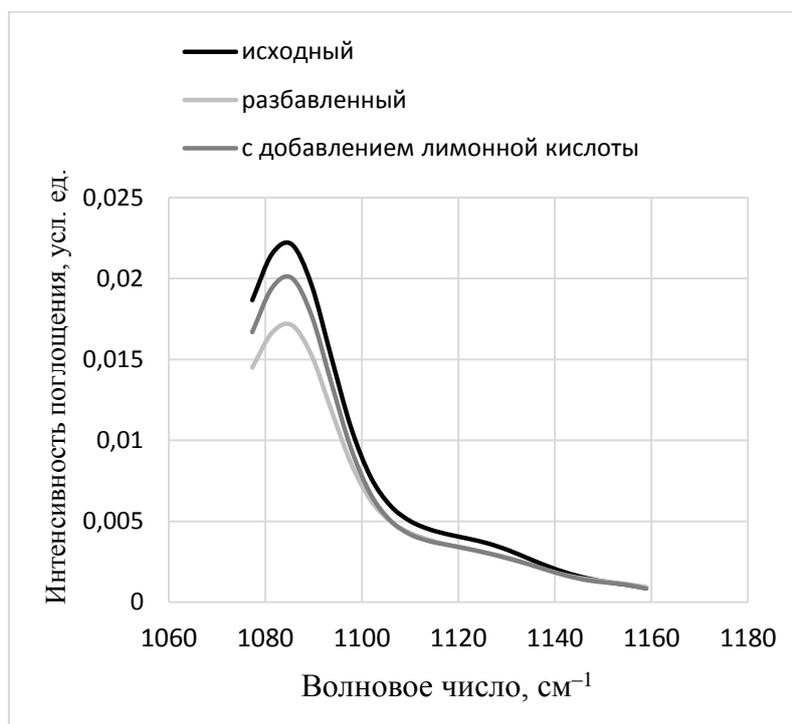


Рис. 2. Полоса поглощения для выявления фальсифицированного виноматериала

Было предложено количественно оценить изменение интенсивности поглощения в данной полосе, с целью введения нового показателя, позволяющего наглядно оценить подлинность виноматериала. Для этого находили по методу Симпсона определенный интеграл в диапазоне от $1100\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ от спектра, который представляет собой функцию интенсивности поглощения от волнового числа. Найденные значения интегралов для спектров разбавленных образцов и образцов с добавлением органических кислот делили на соответствующее значение интеграла для спектров исходных виноматериалов. При анализе полученных данных выявлено, что при величине найденного показателя, представляющего собой отношение интегралов по полосе поглощения $1100\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ фальсифицированного и исходного виноматериала, меньше 0,9 виноматериала гарантированно является разбавленным.

Таким образом, методом ИК-спектроскопии возможно выявление фальсифицированного виноматериала путем разбавления водой. Метод можно отнести к экспресс-методам идентификации, поскольку время анализа занимает менее одной минуты и метод достаточно прост. Данный метод возможен для применения в работе органов системы контроля качества и сертификации виноградных вин. Однако метод предполагает наличие у контролирующих органов контрольного спектра виноградного вина, который должен указываться в спецификации на вино наравне с его физико-химическими показателями.

В результате работы был предложен показатель, позволяющий наглядно оценить подлинность виноматериала. При величине найденного показателя меньше 0,9 виноматериал является разбавленным. Метод можно отнести к экспресс-методам идентификации для применения в работе органов системы контроля качества и сертификации виноградных вин.

Литература

1. Антоненко М.В., Гугучкина Т.И., Марковский М.Г. Преимущества метода инфракрасной спектроскопии для анализа химического состава винодельческой продукции // Виноградарство и виноделие. – 2011. – Т. 41. – № 2. – С. 67–68.
2. Ozaki Yukihiro, W. Fred McClure, Alfred A. Christy Near-infrared spectroscopy in food science and technology. – Hoboken: by John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 408 p.
3. Сергеевна Г.А. Проблемные аспекты правоприменения законодательного ограничения на продажу алкогольной продукции в ночное время // Философия социальных коммуникаций. – 2014. – № 2(27). – С. 17–27.

Круглова София Евгеньевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41151Направление подготовки: 19.04.02 – Биотехнология напитков, хлеба и кондитерских изделий**Смотраева Ирина Владимировна**

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент, преподавательe-mail: smotraeva@corp.ifmo.ru,
irinasmotraeva@yandex.ru**УДК 633****РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СИДРА С ПРИМЕНЕНИЕМ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****Круглова С.Е.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Смотряева И.В.**

В работе рассмотрена экспериментальная часть разработки инновационной технологии сидра с применением низкотемпературных технологий. Суть технологии заключается в том, что готовый сидр, который был приготовлен из сока прямого отжима из сезонных яблок, был помещен в морозильную камеру на 24 часа с целью вымораживания свободной воды. В эксперименте использовались два штамма дрожжей.

Ключевые слова: яблочный сидр, вымораживание, низкие температуры, технология, напитки.

Согласно ГОСТ 31820-2015, винодельческий продукт, у которого объемная доля этилового спирта составляет 1,5–6,0%, называется сидром. Яблочный сидр производят из яблочного сусла или восстановленного яблочного сока путем сбраживания. Его насыщают двуокисью углерода искусственно или в процессе брожения. Надо заметить, что давление двуокиси в бутылках обязательно должно превышать показатель 100 кПа при температуре 20°C [1].

При регулярном употреблении сидра в умеренных количествах наблюдается благотворное влияние на организм человека. При употреблении сидра во время еды улучшается работа желудка и кишечника. Фактически, сидр, благодаря содержащимся в нем ферментам, стимулирует работу кишечника и регулирует его рН. Напиток обладает мочегонным и послабляющим свойствами. Натуральный сидр богат полифенолами и антиоксидантными веществами, которые полезны для профилактики рака и сердечно-сосудистых заболеваний, а также для защиты клеток от свободных радикалов. Также сидр способен регулировать кровяное давление и снижать уровень холестерина [2].

Но надо заметить, что, несмотря на то, что в Англии и некоторых странах Европы производство сидра всегда было развито, популярность в России сидр стал приобретать сравнительно недавно. Только в последнее десятилетие сидр стал пользоваться спросом у потребителей. Эксперты прогнозируют и дальнейший рост интереса к яблочному напитку [3]. Так как потребители начали отдавать предпочтение слабоалкогольным напиткам и напиткам со средним содержанием спирта, в России развивается культура потребления алкоголя. Наблюдается тенденция появления крафтовых пивоварен и сидроделен, производитель стремится удивить потребителя высоким качеством продукции и новыми решениями. Растет спрос на необычные сорта пива и сидров. Поэтому тема разработки новых рецептов является очень актуальной.

Целью данной работы являлось исследование нового метода производства яблочного сидра с применением технологии вымораживания. Эта технология является

инновационной и интересной, потому что она влияет на качественные параметры и органолептику продукта, придает напитку интересный вкус.

Задачами работы были:

1. приготовление сидра из сока прямого отжима с применением сидровых и элевых дрожжей;
2. вымораживание готового сидра;
3. анализ полученного продукта.

Исследование было основано на натуральном сидре, который был приготовлен на соке прямого отжима. Для получения сока использовались сезонные яблоки. Из 2 кг яблок путем измельчения была получена яблочная мезга. После она проходила процесс отжима, было получено 1,2 л сока. Сок был разделен на две емкости, объем которых 0,6 л, далее в каждую емкость было добавлено по 70 мг дрожжей двух штаммов: сидровые дрожжи «Cider Yeast MO2» и элевые дрожжи «GV12-Ale yeast». Согласно описанию производителя дрожжи «Cider Yeast MO2» – дрожжи с высоким выделением эфира. Они придают изначальную глубину вкуса и открывают фруктовый потенциал сока. У сидров, полученных с использованием данного штамма, освежающий вкус и сильный аромат. Эти дрожжи являются сильными, имеют хорошую усвояемость фруктозы. Они способны ферментировать при различных температурах и в сложных условиях. Элевые дрожжи «GV12-Ale yeast» были использованы для изучения нестандартного использования пивных элевых дрожжей. Производитель пишет, что дрожжи являются традиционными английскими элевыми дрожжами верхового брожения, дают полный и мягкий вкус пива, особенно подходят для пива с фруктовыми нотками. Эти дрожжи были специально разработаны для быстрой и чистой ферментации. После добавления в яблочное сусло дрожжей исследуемые экземпляры были поставлены на брожение в течение 7 суток при комнатной температуре (+18°C). По прошествии этого времени экземпляры были сняты с осадка и поставлены на дображивание в холодильную камеру еще на 13 суток. Далее готовый сидр был поставлен на 1 сутки в морозильную камеру для вымораживания. После этого был произведен анализ полученного напитка. Анализ проходил на пивном анализаторе «Колос-1». Помимо содержания спирта, были измерены показатели:

- экстрактивность начального сусла (массовая доля сухих веществ в начальном сусле, выраженная в процентах);
- видимый экстракт (массовая доля экстракта, определяемая после удаления двуокиси углерода при наличии спирта);
- действительная степень сбраживания (показатель, определяемый отношением действительного экстракта к экстрактивности начального сусла, выраженный в процентах);
- видимая степень сбраживания (показатель, определяемый отношением видимого экстракта к экстрактивности начального сусла, выраженный в процентах) [4].

В табл. 1 представлены полученные результаты анализа сидра с использованием сидровых дрожжей «Cider Yeast MO2» до и после вымораживания напитка.

Таблица 1. Результаты качественного анализа полученного сидра до и после вымораживания. Сидровые дрожжи

Показатель	20 день брожения	После вымораживания
Содержание спирта, % масс.	4,49	10,29
Содержание спирта, % об.	5,71	13,13
Экстракт, %	3,54	6,4
Экстрактивность начального сусла, %	12,2	24,9
Видимый экстракт, %	1,69	2,47
Видимая степень сбраживания, %	86,2	90,1

Показатель	20 день брожения	После вымораживания
Действительная степень сбраживания, %	71,1	74,1

В табл. 2 представлены полученные результаты анализа сидра с использованием элевых дрожжей «GV12-Ale yeast» до и после вымораживания напитка.

Таблица 2. Результаты качественного анализа полученного сидра до и после вымораживания. Элевые дрожжи

Показатель	20 день брожения	После вымораживания
Содержание спирта, % масс.	4,19	10,30
Содержание спирта, % об.	5,33	13,14
Экстракт, %	3,52	6,44
Экстрактивность начального сусла, %	11,7	25,0
Видимый экстракт, %	1,8	2,5
Видимая степень сбраживания, %	84,6	90,0
Действительная степень сбраживания, %	69,8	74,2

Из полученных результатов видно, что после процесса вымораживания все показатели увеличились, это происходит за счет вымораживания свободной воды, т.е. напиток уменьшается в объеме, за счет чего концентрация веществ повышается. Установлено, что содержание спирта у экземпляров увеличилось более чем в 2 раза. Из этого можно сделать вывод, что после вымораживания получается напиток со средним содержанием спирта. Что касается органолептики, в табл. 3 приведены результаты органолептической оценки.

Таблица 3. Органолептическая оценка полученного напитка

Показатель	Максимальный балл	Сидровые дрожжи	Элевые дрожжи
Прозрачность	5	5	3
Цвет	5	5	4
Аромат	5	4	2
Вкус	5	4	3
Газация	5	5	5
Сумма баллов	25	21	18

Из таблицы видно, что оба образца имеют хорошие результаты. Однако сидровые дрожжи имеют лучшие прозрачность, цвет, вкус и лучшую ароматику. Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что вымороженный сидр является хорошей альтернативой знаменитого напитка, так как процесс вымораживания благотворно повлиял как на качественные, так и на органолептические показатели. Также необходимо заметить, что было открыто поле для дальнейших экспериментов по совершенствованию полученного продукта.

Литература

- ГОСТ 31820-2015. Сидры. Общие технические условия. – Введен 01.07.2013. – М.: Стандартинформ, 2017. – 2 с.
- Sorgente Natura [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sorgentenatura.it/speciali/sidro-di-mele-un-valido-sostituto-del-vino-e-dell-aceto> (дата обращения: 03.03.2019).
- Агро Инвест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/25607-proizvodstvo-sidra-stanovitsya-privlekatelnym-biznesom> (дата обращения: 03.03.2019).
- ГОСТ Р 53358-2009. Продукты пивоварения. Термины и определения. – Введен 01.07.2010. – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 3–4.

Курганова Екатерина Владимировна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
аспирантНаправление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии
e-mail: katia280693@yandex.ru**Арсеньева Тамара Павловна**Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор

e-mail: tamara-arseneva@mail.ru

УДК 663.674

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА КАЧЕСТВО
ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ШЕРБЕТА****Курганова Е.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Арсеньева Т.П.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Цель работы – изучение влияния процесса замораживания ферментированного десерта по типу шербет, с использованием фруктовых компонентов и заменителей сахара природного происхождения для здорового питания. Из поставленной цели выходят следующие задачи: разработать рецептуру замороженного шербета с наполнителем; произвести подбор ферментных препаратов; исследовать влияние ферментирующих препаратов на полуфабрикат (смесь) и готовый шербет; изучить основные операции замораживания; исследовать изменения, происходящие в процессе динамического замораживания; отработать режимы технологического процесса производства шербета; изучить физико-химические и органолептические показатели готового десерта. Исследовались кристаллическая и воздушная структуры шербета после замораживания. А также влияние состава шербета на процесс замораживания. Разработка состава шербета позволит расширить ассортимент замороженных десертов для диабетического питания и обеспечить рационализацию использования сырьевых источников пищевой промышленности за счет сырья вторичного происхождения.

Ключевые слова: замороженный кисломолочный десерт, шербет, динамическое замораживание.

В настоящее время остро стоит вопрос о решении проблем снижения риска развития у человека ожирения и диабета, а также борьбе с этими заболеваниями. Одним из путей решения данной проблемы может являться разработка продуктов питания с заданным составом и свойствами, отвечающими потребностям человека [1–3].

В начале работы был произведен анализ литературных и патентных источников. Он показал, что ассортимент кисломолочных замороженных десертов не широк. А замороженных десертов с низким содержанием жира и не содержащих сахара массового потребления практически нет. Сейчас на рынке продуктов питания немало важным является разработка таких продуктов, соответствующих здоровому образу жизни. Но продукты должны не только соответствовать данному направлению, но и быть вкусными и полезными. Одним из путей решения данной проблемы может являться разработка продуктов питания с заданным составом и свойствами, отвечающими всем потребностям.

Шербет фруктовый представляет собой пастеризованный продукт из фруктовых наполнителей, подсластителей, стабилизаторов и сухих веществ молока. На основании

маркетингового исследования было выяснено, что большая часть населения Российской Федерации в качестве наполнителя к молочным продуктам предпочитает разные фруктовые и ягодные наполнители. Учитывая данную информацию, было решено использовать натуральные фрукты и ягоды.

При разработке ферментированного шербета была подобрана сырьевая база (вид) и дозы компонентов, разработана рецептура. На начальном этапе по анализу литературных данных был определен состав ферментированного шербета. В состав входит: обезжиренное молоко, пахта, сывороточный белковый концентрат, закваска, стабилизатор-эмульгатор, заменители сахара. Количество компонентов определяли расчетным методом, основываясь на общем количестве сухих веществ по ГОСТу. Для повышения биологической ценности данного вида замороженного шербета проводили ферментацию.

При выборе ягод основывались на доступности и ценовой стоимости. Из ягод выбрали клубнику, вишню и бруснику, которые можно использовать в натуральном, так и в замороженном виде независимо от сезонности. Из фруктов выбрали банан и киви.

Из клубники, вишни и брусники готовили ягодный микс, из банана и киви – фруктовый микс. По органолептическим показателям установили соотношение между вишней, клубникой и брусникой – 1:2:2, фруктов – киви и банана – 1:2 в концентрациях внесения ягодного и фруктового миксов в молочную основу – 25 и 30% соответственно.

Шербет вырабатывался по традиционной технологии производства мороженого.

Важным этапом для любого замороженного продукта является процесс замораживания, поскольку от него зависит качество и выход готового продукта. В процессе замораживания происходит диспергирование воздушных пузырьков и перераспределение жировых шариков.

Замораживание проводится в два этапа:

1. динамичное замораживание (фризерование), при котором смесь быстро замораживается при перемешивании для включения воздуха и ограничения размера формирующихся кристаллов льда;
2. статическое замораживание (закалка), в котором частичное замороженный продукт закаливается без перемешивания в специальных низкотемпературных камерах в условиях быстрого отвода тепла.

Шербет производился на фризере периодического действия в процессе динамического замораживания. Смесь шербета поступает в цилиндр фризера, охлаждается жидким хладогентом, далее смесь взбивается с помощью взбивающего механизма – ножа, который снимает со стенок цилиндра намерзший слой. Небольшие кристаллы, находящиеся в этом слое, смешиваются в замораживающем цилиндре с остальной частью шербета, и происходит формирование кристаллов льда в форме дисков. Эти кристаллы обладают мелким размером менее 30 мкм и имеют гладкую поверхность. Исследование кристаллов шербета изображено на рис. 1.

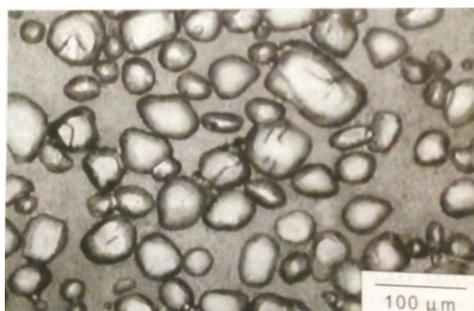


Рис. 1. Кристаллы льда в шербете

Жидкая смесь, поступающая в цилиндр, содержит жировые шарики во взвешенном состоянии, казеиновые мицеллы, а также растворенные углеводы, соли. На поверхности глобул жировых шариков происходит конкурентная адсорбция казеиновых мицелл, сферических, частично денатурированных сывороточных белков, β -казеина. После фризирования эта смесь превращается в вязкий многофазный продукт, содержащий диспергированные кристаллы льда и воздушные пузырьки, частично коалесцировавшие жировые шарики и коллоидные белки, которые удерживаются вместе раствором, обладающим высокой вязкостью и содержащим растворенные сахара, стабилизаторы, белки и соли.

Наиболее важные изменения, происходящие при фризировании, это формирование кристаллов льда, введение воздуха, формирование небольших воздушных пузырьков и дестабилизация (или частичная коалиценция) жировой эмульсии. Каждый из этих физических процессов принципиально важен для получения высококачественного мороженого с требуемыми физическими свойствами независимо от периодичности и непрерывности процесса.

В зависимости от состава шербета и температуры на выходе из аппарата во фризере кристаллизуется от 33 до 67% первоначального содержания воды в смеси, причем в процессе закаливания может замораживаться дополнительно 23–57% воды. Расчетным методом было исследовано проектное количество вымороженной воды при различных температурах шербета на выходе из фризера (табл. 1).

Таблица 1. Расчетное содержание вымороженной воды при различных температурах шербета на выходе из фризера

Температура, °С	Вымороженная вода, %
–3,0	10
–4,0	30
–5,0	42
–6,0	51
–7,0	56
–8,0	61
–9,0	64
–10,0	67

Формирование количества льда при замораживании недостаточно, чтобы гарантировать получение высококачественного шербета.

Средний размер и распределение размеров кристаллов льда существенно влияют на однородность и потребительские свойства шербета, целенаправленность в получении маленьких кристаллов. Типичное распределение кристаллов льда в шербете по размерам приведено на рис. 2.

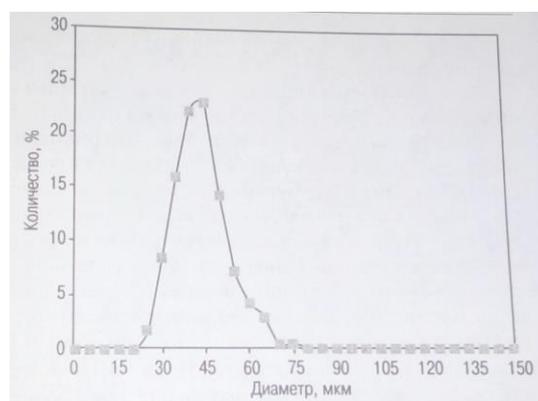


Рис. 2. Типичное распределение кристаллов льда в шербете по размерам

В основном средний размер кристаллов льда от 40–50 мкм. Количество кристаллов льда размером 40 мкм в форме куба, в 1 г составляет $7,8 \cdot 10^6$, полная площадь поверхности около $0,08 \text{ м}^2$.

На характеристики кристаллов льда влияет тип и количество ингредиентов в смеси шербета.

Ингредиенты смеси могут оказать влияние двумя основными способами: на понижение точки замерзания и на механизмы кристаллизации льда (зародышеобразование, рост и созревание).

На понижение температуры замерзания влияет содержание в смеси низкомолекулярных компонентов. Более высокие концентрации простых сахаров и солей ведут к понижению температуры замерзания и меньшему количеству льда, образуемому при заданной температуре. Смесь с низкой температурой замерзания дает мягкое мороженое из-за небольшого количества льда. Стабилизаторы уменьшают скорость образования зародышей льда и рост кристаллов. Для предотвращения перекристаллизации или постепенного роста кристаллов льда используют стабилизаторы, которые снижают точку кристаллизации. Исследования точки замерзания смеси шербета с различными стабилизаторами до сквашивания и после представлены в табл. 2.

Таблица 2. Исследования точки замерзания смеси шербета с различными стабилизаторами

Наименование образца	Температура замораживания, °С
Образец шербета без стабилизатора, не заквашенный	-0,58
Образец шербета без стабилизатора, заквашенный	-1,50
Образец шербета с гуаровой камедью, не заквашенный	-1,32
Образец шербета с гуаровой камедью, заквашенный	-1,55
Образец шербета с крахмалом, не заквашенный	-1,38
Образец шербета с крахмалом, заквашенный	-1,54
Образец шербета с комбинацией стабилизаторов в соотношении 1:2 заквашенный	-1,36
Образец шербета с хамульсионом заквашенный	-1,33

Из данных табл. 2 видно, что при заквашивании смеси температура замерзания резко возрастает, что может положительно сказаться на хранимоспособности десерта со стороны точки таяния. В качестве стабилизатора на данном этапе были выбраны смесь гуаровой камеди и крахмала и хамульсион. В дальнейшем планируется провести дополнительные исследования для сужения выбора.

На заключительном этапе проводилась оценка качества готового шербета в сравнении с образцами традиционных видов десерта. Результаты сравнительной оценки представлены в табл. 3.

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что разрабатываемый ферментированный шербет по реологическим и физико-химическим свойствам соответствует показателям ГОСТ.

Таблица 3. Сравнительная характеристика замороженных десертов

Мороженое	Массовая доля, %			Вязкость, с (сопло 4)	Взбитость, %	Кислотность, °Т
	Молочного жира	Сахарозы	Сухих веществ			
Кисломолочное мороженое с плодами и ягодами	2,8	16,0	не менее 30	19	30–110	не более 50
Шербет	3,0–4,0	21,0	не менее 30	13	30–110	не более 100
Разрабатываемый ферментированный шербет 1	0,5–1	0	29,5	18	57	80

Литература

1. ГОСТ 32929-2014. Мороженое кисломолочное. Технические условия. – Введен 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2015. – 18 с.
2. ГОСТ 32256-2013. Мороженое шербет и десерты замороженные с добавлением молока и молочных продуктов. Общие технические условия. – Введен 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 27 с.
3. Кожухова М.А., Теркун Е.П., Холошенко О.В. Влияние овощных добавок на криостабильность лакто- и бифидобактерий // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2012. – № 1. – С. 51–53.

Орипов Улугбек

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41503Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: bekoripov1212@gmail.com

Орипова Азиза Алишеровна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
аспирантНаправление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: aziza.oripova@gmail.com

Сергиенко Ольга ИвановнаУниверситет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент

e-mail: oisergienko@yandex.ru

УДК 330.3:504**ЭКОТЕХНОПАРК – РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ С ОТХОДАМИ****Орипов У., Орипова А.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

А работе рассмотрены актуальные вопросы формирования системы управления отходами на основе экотехнопарков. Рассмотрены примеры создания экотехнопарков, используемые в странах Евросоюза и в Российской Федерации. Отмечено, что экотехнопарки обеспечивают эффективный системный подход к процессам обработки, утилизации и обезвреживания отходов, и могут стать одним из механизмов восстановления научно-технического потенциала, развития научно-производственной деятельности в сфере обращения с отходами в нашей стране. Экотехнопарки позволяют снизить объемы захоронения отходов и увеличить уровень использования вторичного сырья.

Ключевые слова: экотехнопарк, промышленные и коммунальные отходы, управление отходами производства и потребления, инженерно-экологические комплексы, рециклинг.

Одна из наиболее серьезных экологических проблем современного мира – рост уровня отходов производства и потребления. Ежегодно создаваемые человечеством миллиарды тонн отходов становятся угрозой для окружающей среды, для здоровья и жизни человека. Ожидаемое увеличение продолжительности жизни в развитых странах, экономическое развитие и прирост населения в развивающихся приведет к экспоненциальному росту количества отходов при сохранении существующих тенденций в сфере обращения с ними.

Управление отходами в рамках экотехнопарка основано на максимальном использовании ресурсного потенциала отходов и приоритете переработки над захоронением. Учтены такие критерии, как повторное использование, сбор, сортировка, переработка, получение энергии и захоронение. Создание экотехнопарка позволяет полностью или с минимальным остатком использовать отходы в качестве ресурсов.

Целью настоящей работы являлось рассмотрение особенностей действующих экотехнопарков, реализованных за рубежом и в России, созданных с целью переработки отходов производства и потребления.

Экотехнопарк – это специальная территория как единая охраняемая промышленная зона, в пределах или за пределами городской черты населенного пункта, часто возле существующих городских очистных канализационных сооружений, на которой работают несколько различных технологических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, а также организации научно-исследовательской и образовательной деятельности [1].

Термин «экотехнопарк» сравнительно недавно вошел в употребление в качестве синонима комплексной системы по обработке, утилизации и размещению твердых коммунальных отходов. Само это понятие уже свидетельствует о качественно новом, современном подходе к решению проблемы обращения с отходами.

Задачей экотехнопарка является обеспечение до 99% переработки городских промышленных и бытовых отходов при помощи различных технологических решений и инженерно-экологических комплексов.

Отметим, что такой подход уже широко используется во многих странах мира, среди которых выделяется опыт Латвии. Современная политика комплексного управления отходами в Латвии основана на сочетании предотвращения и минимизации отходов, максимизации переработки использованных товаров, повторного использования отходов, сортировки и отдельного сбора отходов. Такая концепция автоматически приводит к уменьшению захоронения отходов, оставляя только окончательное количество твердых бытовых отходов для дальнейшей обработки.

Один из лучших multifunctional комплексов переработки отходов находится в столице Латвии, Риге. Экотехнопарк «GETLINI EKO» (рисунок) является совместным комплексом, созданным Ригой и Стопиньским краем, которое осуществляет хозяйственное обслуживание крупнейшего полигона твердых бытовых отходов в странах Балтии – «GETLINI» [2].



Рисунок. Экотехнопарк «GETLINI EKO»

Полигон является одним из самых современных в Европе, он формируется и развивается как современный центр переработки отходов.

После открытия 26 октября 2015 года на территории «GETLINI EKO» сортировочного завода биоразлагаемые отходы используются для производства биогаза, а пригодные к переработке материалы и изделия из металла доставляются на предприятия, которые занимаются их регенерацией и вторичной переработкой.

Не подлежащие переработке отходы размещаются на захоронение в безвредных для окружающей среды, закрытых биоразлагаемых ячейках, непроницаемых для воздуха и дождевой воды. Формирующийся в ячейках газ из биологических отходов отводится в энергоблок «GETLINI», где сжигается в шести двигателях внутреннего сгорания и преобразуется в электрическую и тепловую энергию в соотношении 40% электроэнергии и 46% тепловой энергии. «GETLINI ЕКО» ежегодно производит 35 ГВт·ч электроэнергии, и большую часть полученных ресурсов продает AS Latvenergo [3].

«GETLINI ЕКО» вырабатывает приблизительно 20 000 мВт·ч тепла ежегодно. Тепловая энергия в «GETLINI ЕКО» образуется при охлаждении двигателей внутреннего сгорания и дымовых газов, которые образуются при сжигании биогаза. Тепловая энергия используется для обеспечения хозяйственной деятельности предприятия: отопления теплиц, получения горячей воды, обогрева реактора водоочистных устройств, сбора инфильтрата и подогрева рециркуляционного бассейна.

В построенных современных теплицах общей площадью 11 412 м² и высотой 5,5 м на площади 10 512 м² выращивается тепличная овощная продукция и саженцы. За год производится около 500 т томатов. Теплицы оснащены устройствами контроля климата, которые обеспечивают среду, необходимую для выращивания растений. Культурные растения выращиваются в минеральной вате, подвешенными на грядках на расстоянии 70 см от поверхности земли. Растения не соприкасаются с землей, и для их питания используется автоматическая система смешивания и подачи удобрений, обеспечивающая растения необходимыми питательными веществами, и воды из скважины. Питательный раствор подводится к растениям системой капельного полива с точностью 1 мг на литр.

Деятельность «GETLINI ЕКО» осуществляется в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9001 и ISO 14001. Благодаря современным технологиям «GETLINI ЕКО» перерабатывает около 300 тыс. т отходов, вырабатывает 31 ГВт электроэнергии, 24 ГВт тепловой энергии и реализует 24 тыс. штук саженцев томата ежегодно. На экскурсии на предприятие приезжает более 6 тыс. посетителей в год.

В настоящее время в России назрела необходимость в формировании системы организованного рециклинга. Так как значительная часть отходов производства и потребления образуется в регионах с развитой добывающей промышленностью, именно на территориях этих регионов в основном идет создание структур, обеспечивающих переработку и обезвреживание отходов – территориальных производственных кластеров [4]. Однако данный способ не подходит для территорий, где нет добывающей промышленности.

В Российской Федерации успешно работают экотехнопарки АО «Управление отходами» в Волгоградской, Нижегородской, Саратовской областях, Чувашской Республике. Целесообразно отметить полигон «Новый Свет-ЭКО», который расположен на территории Ленинградской области в г. Гатчина, и является одним из действующих экотехнопарков.

Гатчинский экотехнопарк в Ленинградской области находится в 5 км к северу от п. Новый Свет Гатчинского района, в 500 м к востоку от автодороги Ивановка-Пижма. Экологическая экспертиза при неоднократных проверках подтвердила безопасность процесса переработки и утилизации отходов для окружающей среды.

Экотехнопарк «Новый Свет-ЭКО» располагает несколькими линиями для сортировки отходов. После взвешивания отходы доставляются мусоровозами на площадку приема и разгрузки участка подготовки. Участок обеспечивает подготовку отходов к дальнейшей утилизации. На участке осуществляется извлечение из отходов крупногабаритных отходов, не подлежащих утилизации, таких как холодильники, ванны, баллоны и прочее. Далее отходы загружаются в первичный измельчитель,

обеспечивающий функции разрывания пакетов, измельчения до необходимых для технологического процесса размеров, извлечения из сырья посредством магнитной сепарации лома черных металлов [5].

С участка подготовки отходы по системе конвейеров подаются на участок производства смеси сырьевой органоминеральной. Участок обеспечивает разделение потока механическим способом на две части.

Специальными оптическими сепараторами осуществляется переборка вторичного сырья. Из вторичных материалов на линиях отбирают стекло, бумагу, металлы, пластиковые бутылки и полимеры.

Органические отходы складываются в отдельном бункере, а затем перевозятся в цех закрытого компостирования для перегнивания в течение 21 дня. Смесь сырьевая органоминеральная предназначена для дальнейшего полевого компостирования или в биометрических барабанах, заполненные сырьем контейнеры вывозятся либо на площадку полевого компостирования, либо на заводы механизированной переработки бытовых отходов. Для учета количества производственного сырья контейнеры перед выездом с территории комплекса взвешивают на автомобильных весах.

В состав экотехнопарка «Новый Свет-ЭКО» входит станция активной дегазации, где получают электроэнергию из свалочного газа. Сооружения инженерной защиты окружающей среды включают комплекс очистных сооружений хозяйственно-бытовых, дождевых и производственных стоков.

В составе новых универсальных комплексов по утилизации отходов необходимо учитывать возможность построения тепличных хозяйств, работающих за счет полученной на собственном производстве тепловой и электрической энергии, для выращивания растительной продукции в зоне неблагоприятного земледелия, как это реализовано, например, в экотехнопарке «GETLINI EKO» в Латвии.

В мегаполисах, где нет добывающей промышленности, создание территориальных кластеров не целесообразно. На таких территориях при создании экотехнопарков можно взять за основу модель «GETLINI EKO», построенного вблизи полигона захоронения отходов, где промышленная рециркуляция отходов позволяет получать вторичные материалы и энергоресурсы. Эффективная промышленная рециркуляция дает возможность сохранить невозполнимые природные материалы и снизить объем отходов. Рециркуляция сокращает также объемы традиционного горнодобывающего производства и связанный с ним ущерб окружающей среде.

Можно отметить то, что сейчас на полигоне «Новый Свет-ЭКО» разрабатывается проект по созданию полимер-песчаного производства, где инвестиционные затраты на этот проект составляет примерно 2 млн руб., при сроке окупаемости не более 8 месяцев. Этот проект приведет к сокращению отходов, которые поступают на размещение в полигоне и сокращению платы за негативное воздействие окружающей среды. Тем самым увеличивает экономические показатели предприятия за счет продажи конечного продукта.

Таким образом, при создании экотехнопарков в российских регионах, целесообразно учитывать особенности территорий, соответствующие потребности в ресурсах и возможности обеспечения своевременной и эффективной переработки отходов производства и потребления. Отдельное внимание стоит уделить вопросам качества переработки вторичного сырья, которое в дальнейшем будет поступать на производство, а также оценке экологического воздействия новых комплексов.

Литература

1. Путинцева Н.А. Российский и зарубежный опыт формирования экотехнопарков (экоиндустриальных парков) // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 7(96). – С. 499–507.

2. Экотехнопарк GETLINI ЕКО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.getlini.lv/> (дата обращения: 03.03.2019).
3. Экотехнопарк GETLINI ЕКО/Energy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.getlini.lv/ru/энергия> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Земскова Е.С. Особенности реализации кластерной политики в интересах формирования организованного рециклинга // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2017. – № 4(31). – С. 125–134.
5. Эксплуатация полигона: технологический регламент / ООО «НОВЫЙ СВЕТ-ЭКО». – Гатчинский район, Ленинградская область, 2016. – 35 с.

Попова Ирина Сергеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии
студент группы № Т41503Направление подготовки: 18.04.02 – Промышленная экология и чистое производство
e-mail: irinka.2595@mail.ru**Молодкина Нелли Ринатовна**Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент, ст. преподаватель
e-mail: nrkh25@hotmail.com**УДК 663.15****ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ****Попова И.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.**

В работе представлена актуальность проблемы очистки сточных вод на примере сточных вод молочного производства. Методы биологической очистки рассмотрены на примере биодеструкции такого компонента сточных вод молочного производства как жиры. Выявлена эффективность и целесообразность применения методов биологической очистки, преимущественно с использованием жизнеспособных липидоокисляющих микроорганизмов с точки зрения экологических аспектов.

Ключевые слова: сточные воды молочной промышленности, липиды, липидоокисляющие микроорганизмы, биотрансформация, биодеградация.

Активное развитие пищевых предприятий в России увеличивает нагрузку на очистные сооружения промышленных и хозяйственно-бытовых стоков. Доля производственных сточных вод (СВ) молочной промышленности в общем объеме стоков составляет 55–60%, из которых около 45% содержат жировые загрязнения. Количество СВ, содержащих липиды, увеличивается с каждым годом вследствие урбанизации и развития пищевой промышленности [1].

Негативное воздействие липидов на водные экосистемы связано с их химической стойкостью и способностью покрывать водоемы пленкой. Жировая пленка, образовавшаяся на поверхности водоема, препятствует проникновению кислорода в водоем, тем самым являясь причиной возникновения анаэробных процессов, приводящих к накоплению токсичных для живых организмов веществ, появлению неприятного запаха и ухудшению других органолептических свойств воды [2].

Целью данной работы являлось изучение возможностей и условий применения липидоокисляющих микроорганизмов в процессе очистки СВ молочного производства.

Содержание жира в СВ молочного производства составляет 100–200 мг/л. Показатель рН составляет 6,0–8,0. Липиды молочных стоков представляют собой остатки жирных кислот и находятся в СВ в виде эмульсии, образованных жировыми шариками, которые имеют размер 2–6 мкм. Также на молочных предприятиях самые высокие (по сравнению с другими пищевыми отраслями) значения биохимического потребления кислорода (БПК), которые составляют от 1200 до 2400 мг/л. Показатели химического потребления кислорода (ХПК) равны 1500–3000 мг/л и выше (табл. 1). Такие данные говорят о том, что СВ содержат большие количества органических загрязнений, которые легко могут окисляться биологическим путем [2].

Таблица 1. Состав сточных вод молочного производства

Предприятие	Присутствие в стоках, мг/л							
	Жиры	Взвешенные вещества	ХПК	БПК полн.	Хлориды	Азот общий	Фосфор	pH
Городские молочные заводы	до 100	350	1400	1200	150	60	8	6,5–8,5
Заводы сгущенного и сухого молока	до 100	350	1200	1900	150	50	7	6,8–7,4
Сыродельные заводы	до 100	600	3000	2400	200	90	16	6,2–7

В настоящее время проблема очистки СВ от жиров и масел решается различными методами. Основой выбора метода является природа загрязнителей (природные жиры и масла, синтетические продукты), их концентрацией, температурой стока, необходимой степенью очистки и др. В схему очистки жиросодержащих СВ входит два этапа: этап механической (в жироловушках) и биологической (в биофильтрах и аэротенках) очистки.

Взвешенные липиды удаляются из СВ с помощью физических методов, но для удаления стабилизированных липидных эмульсий используются биологические процессы очистки [3, 4]. Биотрансформация липидов осуществляется за счет деятельности микроорганизмов [5]. Микроорганизмы осуществляют полную деструкцию липидов до газообразных продуктов и воды, тем самым препятствуя концентрации их в водных объектах.

Для реализации биологической очистки СВ используются следующие сооружения:

1. аэротенки: представляют собой резервуары, в которых сточная вода смешивается с активным илом и аэрируется с помощью различных систем аэрации. Аэрация обеспечивает эффективное смешение СВ с активным илом, подачу в иловую смесь кислорода и поддержание ила во взвешенном состоянии;
2. биофильтры – устройства состоят из небольшой емкости, в которую помещается загрузочный материал. В качестве активного материала используется специальная биопленка с бактериями и простейшими организмами;
3. биологические пруды – водоемы искусственного происхождения, предназначенные для естественной очистки воды. Для такого способа используются просторные пруды незначительной глубины (до 100 см). Небольшая глубина позволяет добиться максимального соприкосновения жидкости с естественным воздухом;
4. метантенки – устройства для анаэробного окисления жидких органических отходов с получением метана. Чаще применяется не для очистки самих СВ, а при переработке собранных в отстойниках и очистных резервуарах осадков и взвесей.

В табл. 2 представлены условия, при которых осуществима реализация методов биологической очистки [6, 7].

Таблица 2. Условия реализации метода биологической очистки

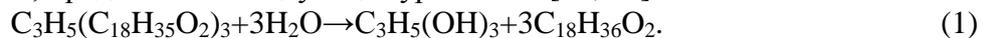
Условия	Аэротенк	Биофильтры	Биологические пруды	Метантенк
t	23°C	6–30°C	Выше 10°C	32–35°C (мезофильный режим); 52–55°C (термофильный)
pH	7,0–7,5	6,5–7,5	6,5	7,0–7,5
аэрация	+	–	–	–

Для биодegradации липидов в СВ используются два способа: использование ферментных препаратов (в первую очередь липазы) и использование жизнеспособных микроорганизмов. Применение ферментативных препаратов является менее привлекательным способом, поскольку он используется только для гидролиза липидов, например, жиров и масел, жирных кислот и глицерина [8]. Высвобождаемые жирные кислоты могут образовывать коллоидные частицы, которые агрегируют и выпадают в осадок из растворов, при изменении условий окружающей среды в системе обработки (изменение pH, температуры, концентрации соли и др.) [8, 9]. Таким образом, этот подход обеспечивает лишь частичное решение проблемы и является дорогостоящим. Использование жизнеспособных микроорганизмов является наиболее привлекательным способом, поскольку они гидролизуют липиды, разлагая их далее до двуокиси и воды [9].

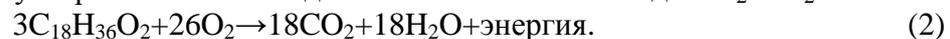
Одним из важных ферментов, продуцируемых микроорганизмами, являются липазы. Липаза – триглицеридгидролаза – фермент, катализирующий гидролиз жиров. Изучение липолитических свойств микроорганизмов представляет большой теоретический и практический интерес, так как они могут быть использованы при гидролизе разнообразных жировых субстратов [10, 11].

Способность разлагать жиры обнаружена у таких бактерий как *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Serratia*, *Micrococcus*. Механизм биодеструкции заключается в усвоении жира микроорганизмами в качестве источника энергии, синтезирующими липолитические ферменты, под воздействием которых жиры разлагаются на воду, углекислоту, нитриты, сульфаты и легкий осадок.

Первую стадию расщепления (гидролиза) жиров, протекающую под влиянием фермента липазы, представляет следующее уравнение [12, 13]:



Образующийся при гидролизе глицерин быстро подвергается дальнейшему окислению. Жирные кислоты окисляются значительно медленнее и поэтому накапливаются в субстрате. Но и они в дальнейшем окисляются до CO_2 и H_2O .



Таким образом, применение метода биологической очистки с использованием жизнеспособных микроорганизмов-деструкторов является наиболее целесообразным с экологической точки зрения. Преимущество биологического метода заключается в его большей эффективности по сравнению с механическим методом очистки СВ, который не обеспечивает полного извлечения жировых веществ из СВ, а только позволяет снизить их концентрацию. Также он наиболее приемлем с экологической точки, позволяет снизить нагрузку на природные экосистемы зрения. Однако метод биологической очистки не всегда выгоден с экономической точки зрения и временной.

Дальнейшая работа автора будет направлена на исследование липазной активности микроорганизмов на средах специального состава, отбор культур, наиболее перспективных для использования при утилизации жировых загрязнений СВ молочного производства, культивирование выделенных культур на средах специального состава, а также изучение условий для эффективного процесса окисления липидов.

Выводы

1. Метод биологической очистки сточных вод от липидов имеет ряд преимуществ перед механическим методом, которые выражаются в большей эффективности, экологической безопасности и относительно простым аппаратным оформлением.
2. Целесообразность применения метода биологической очистки сточных вод от веществ жировой природы объясняется тем, что в отличие от механической очистки, данный метод не способствует накоплению жировых отходов в природных объектах, так как микроорганизмы осуществляют полную деструкцию липидов.

Литература

1. Chipasa K.B., Medrzycka K. Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. – 2006. – V. 33(8). – P. 635–645.
2. Биотехнологическая очистка сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=530921#1> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Chao A.C., Yang W. Treatment of wool scouring wastewater // *J. Water Pollut Control Fed.* – 1981. – V. 53. – P. 311–317.
4. Hrudehy S.E. Activated sludge response to emulsified lipid loading // *Water Res.* – 1981. – V. 15. – P. 361–373.
5. Рыкова Л.И., Черняева М.И. Основы микробиологического контроля консервного производства. Учебное пособие. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 404 с.
6. Kellel M., Malesieux G., Gousailles M., Vedry B. Bioelimination of waste oils by saponification // *Tech Sci Methods*. – 1994. – V. 11. – P. 619–623.
7. Quemeneur M., Marty Y. Fatty acids and sterols in domestic wastewater // *Water Res.* – 1994. – V. 28. – P. 1217–1226.
8. Цыбань А.В., Теплинская Н.Г. Эколого-физиологические свойства липолитической и протеолитической микрофлоры в море // *Океанология*. – 1982. – Т. 22. – Вып. 1. – С. 108–114.
9. Chang I.S., Chung C.M., Han S.H. Treatment of oily wastewater by ultrafiltration and ozone // *Desalination*. – 2001. – V. 133. – P. 139–144.
10. Рубан Е.Л. Микробные липиды и липазы. – М.: Наука, 1977. – 216 с.
11. Bharati S., Shete A., Shinkar N.P. Dairy Industry Wastewater Sources, Characteristics & its Effects on Environment // *International Journal of Current Engineering and Technology*. – 2013. – P. 1611–1615.
12. Raunkjaer K., Hvitved-Jacobsen T., Nielsen P.H. Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipid in domestic wastewater // *Water Res.* – 1994. – V. 8. – P. 251–262.
13. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 704 с.

Рогозина Елена Андреевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41062Направление подготовки: 19.04.02 – Качество и безопасность пищевых продуктов
e-mail: lelekin_96@mail.ru**Кудравец Ольга Александровна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т41062Направление подготовки: 19.04.02 – Качество и безопасность пищевых продуктов
e-mail: kudravec Olga2@gmail.com**Шестопалова Ирина Анатольевна**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент

e-mail: irina_1_83@mail.ru

УДК 637.54**ТЕХНОЛОГИЯ РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ НА ОСНОВЕ МЯСА
СТРАУСА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛЛАГЕНАЗЫ****Рогозина Е.А., Кудравец О.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Шестопалова И.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Отечественный и мировой опыт свидетельствуют о целесообразности применения ферментных препаратов для биомодификации свойств сырья с высоким содержанием соединительной ткани в мясной промышленности, в частности при производстве рубленых полуфабрикатов, деликатесных и колбасных изделий. Мясо страуса является перспективным сырьем для создания функциональных продуктов питания, так как отличается повышенным содержанием полноценного белка, пониженным содержанием холестерина, содержит селен, магний, фосфор, витамины группы В, однако, значительное количество соединительной ткани обуславливает его жесткость. Применение коллагеназы улучшает функционально-технологические свойства фарша, а также выход готового продукта.

Ключевые слова: оптимизация, коллагеназа, мясо страуса, технологические параметры, уравнения регрессии.

Биотехнологические методы обработки пищевого сырья с повышенным содержанием соединительной ткани основаны на применении ферментов растительного, животного и микробиологического происхождения. Отечественный и мировой опыт свидетельствует о целесообразности применения ферментных препаратов для биомодификации сырья с высоким содержанием соединительной ткани в мясной промышленности, в частности, при производстве рубленых полуфабрикатов, деликатесных и колбасных изделий, вместо энергоемких способов обработки, таких как тумблирование и массажирование [1].

Мясо страуса является перспективным сырьем для создания функциональных продуктов питания, таких как рубленые полуфабрикаты, так как отличается повышенным содержанием полноценного белка, пониженным содержанием холестерина, содержит селен, магний, фосфор, витамины группы В, однако, значительное количество соединительной ткани обуславливает его жесткость.

Применение коллагеназы, обладающей протеолитической активностью и субстратной специфичностью к расщеплению коллагена соединительной ткани, приводит к значительному повышению технологической функциональности мяса страуса, позволяя улучшать функционально-технологические свойства и выход продукта за счет конверсии структуры белков и трансформации свойств [2]. Кроме того, применение коллагеназы для обработки сырья с повышенным содержанием соединительной ткани увеличивает содержание свободных аминокислот и небелковых азотистых соединений, которые при тепловой обработке превращаются в летучие соединения, участвующие в формировании мясного вкуса и аромата.

Цель работы – оптимизировать технологические параметры ферментирования фарша из бедренной части страуса с помощью полного трехфакторного метода планирования эксперимента.

Объектом исследования выбрано мясо бедренной части мяса страуса, выращенной на территории Ленинградской области (пос. Белоостров).

Убой и обескровливание птицы производили без предварительного электроглушения. Затем тушку птицы шпарили, вручную снимали оперение и потрошили. Чтобы избежать микробиологической порчи, поверхность тушки после потрошения обрабатывали 1%-м раствором уксусной кислоты. После обвалки мясо бедренной части страуса охлаждали до $t_{ц}=(2\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

В качестве ферментного препарата использовали коллагеназу, полученную из печени дальневосточного краба (ТУ 9154-032-11734126-10), характеристика которой представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика коллагеназы

Наименование показателей	Характеристика и норма	Результаты контроля
Внешний вид	Тонкодисперсный порошок	Тонкодисперсный порошок
Цвет	От светло-серого до светло-коричневого	Серый
Запах	Специфический, свойственный данному виду продукта	Соответствует
Остаточная влажность, %, не более	10,0	7,3
Показатель активности водородных ионов (рН) 1%-го водного раствора	6,0–8,5	6,5
Протеолитическая активность, ПЕ/мг препарата, не менее	80,0	130,0
Содержание белка, %, не более	60,0	70,0

Содержание аминного азота определяли методом формольного титрования, влагоудерживающую способность – методом прессования, содержания белка – методом Кьельдаля, содержания жира – методом Сокслета по стандартным методикам, изложенным в работе [3, 4].

Для оптимизации технологических параметров применения коллагены, при ферментировании фарша из мяса страуса при изучении влияния на функцию отклика трех факторов (n), использовали метод дробных реплик. Метод позволяет изучить: одновременное воздействие на процесс нескольких факторов при проведении сравнительно небольшого числа опытов $N(N=2^{n-1})$; обнаружить эффект взаимодействия факторов при совместном их влиянии; построить математическое описание изучаемого процесса (математическую модель), позволяющее оптимизировать выходной параметр без проведения дополнительных экспериментов.

С целью оптимизации технологических параметров применения коллагеназы в фарше из мяса бедренной части страуса определяли содержание аминного азота и влагоудерживающую способность в зависимости от массовой доли вносимой коллагеназы, продолжительности и температуры выдержки фарша [5].

Для оптимизации технологических параметров ферментирования тазобедренной части мяса страуса исследовали влияние массовой доли коллагеназы (C , кодированная переменная X_1), продолжительности выдержки (τ – кодированная переменная X_2) и температуры выдержки (t – кодированная переменная X_3).

Функциями отклика выбраны значения влагоудерживающей способности и содержание аминного азота y_1 и y_2 соответственно.

Параметры ферментирования фарша на основном уровне и интервал варьирования приняты следующие: $C_0=0,04\%$, $\Delta C=0,02\%$; $\tau_0=4$ ч, $\Delta \tau=2$ ч; $t_0=12^\circ\text{C}$, $\Delta t=7^\circ\text{C}$.

В качестве функции отклика выбрано значение влагоудерживающей способности (y_1) и содержание аминного азота (y_2).

Составлена матрица планирования эксперимента методом дробных реплик, представленная в табл. 2. Кодированные переменные определяли по следующим формулам и варьировали на двух уровнях: верхнем (+1) и нижнем (–1):

$$X_1 = \frac{C-C_0}{\Delta C}; X_2 = \frac{\tau-\tau_0}{\Delta \tau}; X_3 = \frac{t-t_0}{\Delta t}. \quad (1)$$

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	X_1	$C, \%$	X_2	$\tau, \text{ч}$	X_3	$t, ^\circ\text{C}$	X_1X_2	y_1^*	y_1	\bar{y}_1	y_2^*	y_2	\bar{y}_2	S_{j1}^2	S_{j2}^2
1	–1	0,02	–1	2	+1	19	+1	91,9	92,1	92,0	0,46	0,50	0,48	0,02	0,0010
2	+1	0,06	–1	2	–1	5	–1	89,8	90,4	90,1	0,51	0,53	0,52	0,18	0,0002
3	–1	0,02	+1	6	–1	5	–1	87,1	87,5	87,3	0,77	0,81	0,79	0,08	0,0010
4	+1	0,06	+1	6	+1	19	+1	82,7	83,3	81,0	0,95	0,99	0,97	0,18	0,0010
5	0	0,04	0	4	0	12	0	87,3	87,7	87,5	0,60	0,64	0,62	0,08	0,0020

Для проверки воспроизводимости опытов рассчитаны:

– среднее арифметическое значение функции отклика влагоудерживающей способности и содержания аминного азота – y_1 и y_2 соответственно:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k y_{ji}, \quad (2)$$

где $K=2$ – число параллельных опытов для влагоудерживающей способности y_1 , для содержания аминного азота – y_2 , проведенных при одинаковых условиях; N – число серий опытов;

– оценка дисперсии для каждой серии параллельных опытов:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - \bar{y}_j)^2; \quad (3)$$

– критерий Кохрена – отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}. \quad (4)$$

Значения критерия Кохрена $G_{\text{табл}}$ определены при общем количестве оценок дисперсий $S_1^2=0,54$ и $S_2^2=0,0052$ и числе степеней свободы f , связанных с каждой из них; $f=K-1$.

Так как $G_{p1}=0,39$ и $G_{p2}=0,33$ меньше $G_{\text{табл}}=0,907$ при доверительной вероятности $0,95$ и $f=1$, то опыты воспроизводимы, а оценки дисперсий – однородные.

Для оптимизации технологических параметров ферментирования мясного сыра использовали уравнение регрессии следующего вида:

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+b_{123}X_1X_2X_3, \quad (5)$$

где Y – функция отклика; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты регрессии для влагоудерживающей способности определены по формулам:

$$B_i=\frac{1}{N}\sum \bar{y}_i=88,1, \quad (6)$$

$$b_1=\frac{1}{N}\sum x_1\bar{y}_i=-1,55, \quad (7)$$

$$b_2=\frac{1}{N}\sum x_2\bar{y}_i=-2,95, \quad (8)$$

$$b_3=\frac{1}{N}\sum x_3\bar{y}_i=-0,6. \quad (9)$$

Коэффициенты регрессии для амминного азота: $b_0=0,69, b_1=0,06, b_2=0,19, b_3=0,04$.

Для произведения X_1X_2 и фактора X_3 столбцы совпадают, поэтому коэффициенты b_{12} и b_3 не могут быть определены в отдельности. Коэффициенты b_{13}, b_{123}, b_{23} не значимы.

Для подтверждения адекватности полученного уравнения изучаемому процессу проведен статистический анализ значимости коэффициентов регрессии b_j и проверка адекватности уравнения регрессии.

Для вычисления погрешности экспериментов определили оценку дисперсии воспроизводимости:

$$S_y^2=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^N S_j^2, \quad (10)$$

где S_y^2 – оценка дисперсии воспроизводимости.

Для определения значимости коэффициентов уравнения регрессии рассчитано:

– оценка дисперсии $S_b=\sqrt{\frac{S_y^2}{N}}$;

– коэффициент регрессии значим, если $|b|\geq|S_b t_s|$,

где $t_s=2,776$ – значение критерия Стьюдента при $p=0,95, N=4$.

Уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$y_1=88,1-1,55X_1-2,95X_2-0,6X_3,$$

$$y_2=0,69+0,06X_1+0,19X_2+0,04X_3.$$

Для проверки адекватности уравнений регрессии рассчитано:

– оценка дисперсии адекватности:

$$S_{ад}^2=\frac{1}{N-B}\sum_{j=1}^N S_j^2(y_j^3 - y_j^p), \quad (11)$$

где B – число коэффициентов регрессии искомого уравнения, включая и свободный член; y_j^3, y_j^p – экспериментальное и расчетное значение функции отклика в j -ом опыте;

N – число опытов полного факторного эксперимента;

– расчетное значение Фишера:

$$F_p=\frac{\max(S_{ад}^2, S_y^2)}{\min(S_{ад}^2, S_y^2)}. \quad (12)$$

Полученное значение критерия Фишера сравнивается с его табличным значением, которое зависит от f . Табличные значения критерия Фишера F_m приведены при $P=0,95$.

Если $F_m\geq F_p$, то уравнение адекватно и можно оптимизировать изучаемый процесс.

$$F_{p1}=3; F_{p2}=5,$$

$$F_m=7,71 \text{ при } p=0,95, f_2=5, f_1=1,$$

так как $F_m>F_p$, то уравнения адекватно описывают изучаемый процесс.

Фундаментальные работы Р. Фишера, Д. Бокса, Ю. Адлера и других исследователей по математическому планированию экспериментов позволили применять высокоэффективные схемы планирования, такие как метод крутого

восхождения/наискорейшего спуска. Этот метод нашел применение при решении задач оптимизации технологических процессов в пищевых технологиях.

Важным преимуществом математического планирования экспериментов по сравнению с классическими методами исследования является возможность одновременного влияния на технологический процесс большого числа факторов. Кроме того, этот метод позволяет наряду с количественным учетом каждого отдельного фактора установить наличие в системе межфакторных взаимодействий и оценить влияние последних, а также определить значение параметров при оптимальной эффективности процессов [6].

Оптимизация параметров ферментирования мяса страуса методом крутого восхождения представлена в табл. 3.

Таблица 3. Характеристика и результаты эксперимента

Характеристика и № опыта	C , %	τ , ч	t , °C	X_1	X_2	X_3	y_1^p	y_2^p
Основной уровень	0,04	4	12	–	–	–	–	–
Интервал варьирования	0,02	2	5	–	–	–	–	–
Шаг движения	0,01	0,5	1	–	–	–	–	–
Крутое восхождение								
1	0,05	4,5	13	0,5	0,25	0,2	86,5	0,78
2	0,06	5,0	14	1,0	0,50	0,4	84,8	0,86
3	0,07	5,5	15	1,5	0,75	0,6	83,2	0,95
4	0,08	6,0	16	2,0	1,00	0,8	81,6	1,03

Принято, что оптимизация заканчивается при значениях: влагоудерживающей способности $y_1=86,5\%$, содержания аминного азота $y_2=0,80$ мг/100 г.

Выбраны следующие параметры ферментирования фарша на основе мяса бедренной части страуса: массовая доля коллагеназы $C=0,05\%$, время выдержки фарша $\tau=4,5$ ч при температуре $t=13^\circ\text{C}$ [7].

Определены технологические параметры ферментирования выдержки фарша с применением коллагеназы: массовая доля коллагеназы 0,05%, продолжительность выдержки мясного фарша 4,5 ч при $t=13^\circ\text{C}$ [8]. Полученный ферментированный фарш при выбранных режимах рекомендуется использовать в технологии рубленых полуфабрикатов, вареных колбасных изделий, фаршевых мясорастительных консервах.

Литература

1. Хамицаева А.С., Хортиев З.А. Эффективность применения продуктов модификации растительного сырья в технологии мясных изделий // Мясная индустрия. – 2017. – № 12. – С. 32–35.
2. Лобзин Ю.В., Скрипченко Н.В., Васильев В.В. Диагностика, лечение и профилактика актуальных врожденных инфекций. – СПб., 2017. – 64 с.
3. Афанасьев В.А. и др. Разработка мобильной установки для приготовления кормолекарственных смесей // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 5. – С. 38–40.
4. Соколов А.Ю., Борковой В.И., Акимова Н.А. Экспресс-методы контроля качества продовольственного сырья и пищевых продуктов // Траектории развития материалы Первой международной научной конференции. – 2018. – С. 598–606.
5. Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Гольпяпин В.Я., Колчина Л.М., Кузьмина Т.Н., Неменуца Л.А., Соловьева Н.Ф., Тихонравов В.С., Аргуновская В.О., Селиванов С.В. Инновационная сельскохозяйственная техника на 9-й российской агропромышленной выставке «Золотая осень». Монография. – М., 2008. – 176 с.

6. Колодязная В.С., Шестопалова И.А., Кипрушкина Е.И., Рогозина Е.А. Оптимизация параметров применения хитозана в технологии мясорастительных консервов эмульсионного типа // Изв. Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2018. – № 3(3). – С. 18–23.
7. Перов В.И., Мясникова Е.Н. Государственный контроль в сфере защиты прав потребителей на предприятиях ресторанного бизнеса // Вестник АКСОР. – 2017. – № 1. – С. 96–100.
8. Ратушный А.С., Элиарова Т.С., Липатова Л.П., Аминов С.С., Жубрева Т.В., Соколов А.Ю., Троицкая Е.Я., Баранов Б.А. Технология продукции общественного питания. Учебник. – 2-е изд. – М.: Изд-во ИТК «Дашков и К», 2018. – 336 с.

Харба Разан

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: razan.harbah@mail.ru

Морозов Артём Александрович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, аспирант

Направление подготовки: 19.06.01 – Промышленная экология и биотехнологии

e-mail: artemamor@mail.com

Меледина Татьяна Викторовна

Год рождения: 1948

Университет ИТМО, факультет пищевых биотехнологий и инженерии,

д.т.н., профессор

e-mail: tvmeledina@corp.ifmo.ru

УДК 663.12**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛ ДРОЖЖЕЙ****Харба Р., Морозов А.А.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Меледина Т.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

В работе рассмотрены влияния условий культивирования и сепарации дрожжей на дзета-потенциал клеток. Для проведения исследований дрожжи *S. cerevisiae* RCAM 02150 (ЛВ7) культивировали в простой периодической культуре без аэрации (спиртовое брожение) и на поверхности сушла-агара (аэробный метаболизм глюкозы). Для изучения влияния промывки и сепарации дрожжей на дзета-потенциал клеток использовали концентрат чистой культуры и товарных дрожжей с дрожжевого завода.

Ключевые слова: дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, дзета-потенциал, простая периодическая культура, сепарация дрожжей.

Одной из важных задач, стоящих перед пивоваренной отраслью, является коллоидная стойкость продукта. Мутность пива имеет разную природу. Это могут быть микроорганизмы (биологическое помутнение), либо коллоиды (небиологическое помутнение). Среди коллоидов можно выделить азотосодержащие вещества, в частности белки, полисахариды и фенольные соединения [1].

Около 20–30% полифенолов, содержащихся в пиве, происходят из хмеля, а 70–80% – из солода [2]. В пивоварении для повышения коллоидной стойкости напитка сегодня наиболее широко используется силикагель, который адсорбирует белки, и поливинилполипирролидон (ПВПП), применяемый для уменьшения содержания в пиве фенольных соединений [1]. Следует отметить, что использование вспомогательных материалов приводит к дополнительным затратам и повышает себестоимость готового продукта.

Одним из путей повышения эффективности процесса является использование свойств дрожжей адсорбировать на своей поверхности коллоиды пива. Адсорбция мутеобразующих частиц, прежде всего белков, зависит от дзета-потенциала клеточной стенки, который коррелирует с содержанием маннанов. Маннаны наряду с глюканами являются основными компонентами клеточной стенки дрожжей [3]. Количество

маннана определяется штаммовыми особенностями дрожжей, их физиологическим состоянием, а также физико-химическими условиями культивирования [4].

Важность дзета-потенциала заключается в том, что он определяет степень и характер взаимодействия между частицами дисперсной системы. Исходя из этого, изучение влияния условий культивирования на дзета-потенциал дрожжей, выращенных в различных условиях, представляет интерес для решения проблемы повышения коллоидной стойкости пива. В данной работе использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* RCAM 02150. Дзета-потенциал определяли с помощью прибора Photocor Compact-Z.

Было проведено три серии экспериментов. В первой серии экспериментов исследовали дзета-потенциал клеток, выращенных в условиях простой периодической культуры (ППК) без аэрации [5]. В качестве питательной среды использовали солодовое сусло с содержанием 12% СВ, 8,6% СВ из которых составляли сбраживаемые углеводы. В этих условиях, в связи высокой концентрацией углеводов, их метаболизм осуществлялся по бродильному типу и выход биомассы не превышал 8% в расчете на АСБ и утилизированные сахараиды. Дрожжи выращивали в стационарной культуре при температуре 30°C в течение 24 ч. По истечении этого времени дрожжевая культура перешла в стационарную фазу роста. Для определения дзета-потенциала использовалась дрожжевая суспензия без отделения культуральной жидкости.

Во второй серии опытов дрожжи выращивали на поверхности сусло-агара в чашках Петри. В этих условиях отсутствует эффект Кребттри и клетки размножаются в условиях аэробноза. Длительность культивирования составляла 48 ч. Для определения дзета-потенциала клеток готовили дрожжевую суспензию в физиологическом растворе (0,9% NaCl).

Результаты экспериментов приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что клетки имеют отрицательный потенциал, причем у аэробных клеток он по абсолютной величине почти в 2 раза выше, чем у дрожжей, выращенных в ППК без аэрации.

Таблица 1. Дзета-потенциал дрожжей, выращенных в разных условиях культивирования

Образец дрожжей	Аэрация среды	Дзета-потенциал, МВ
1	Без принудительной аэрации	-12
2	Поверхностная культура	-20

В третьей серии экспериментов исследовали дрожжи *S.cerevisiae* RCAM 02150, полученные в производственных условиях на пищевом комбинате (Санкт-Петербург). Биомассу получали путем культивирования дрожжей с притоком питательной среды и аэрацией при температуре 30–32°C. Режимы выращивания предполагали отсутствие эффекта Кребттри, в связи с чем выход биомассы составлял максимально возможную величину 49–52% в расчете на АСБ. Исследовали два образца дрожжей. Первый образец – чистая культура дрожжей, второй – товарные дрожжи. Клетки находились в стационарной фазе роста, о чем свидетельствовал низкий процент почкующихся клеток (менее 1%). Дрожжи сгущали с одновременной промывкой водопроводной водой на трех ступенях сепарации. Для анализа использовали концентрат биомассы с содержанием 650 г дрожжей в 1 л. Для определения дзета-потенциала готовили суспензию биомассы концентрацией 1 мг/мл. Одновременно определяли гидродинамический диаметр коллоидных частиц. Установлено, что оба образца дрожжей, несмотря на их аэробный характер (отсутствие эффекта Кребттри при культивировании), после сепарации имеют одинаковый дзета-потенциал, который приближается к потенциалу клеток (табл. 2), выращенных в условиях ППК.

Таблица 2. Влияние сепарации дрожжей на дзета-потенциал поверхности клеток

Образец дрожжей	Экономический коэффициент, % в расчете на АСБ	Аэрация среды культивирования, м ³ /ч/м ³	Гидродинамический диаметр, нм	Дзета-потенциал, мВ
1	49	80–100	308	–11,15
2	52	80–100	906	–11,74

Выводы и обсуждение. Обнаружено, что максимальное значение дзета-потенциала, по абсолютной величине, имеет клетки, выращенные на поверхности сусла-агара. Также установлено, что сепарация отрицательно сказывается на поверхностном слое клеток, о чем свидетельствует низкий, по абсолютному значению, дзета-потенциал. Это свидетельствует о механическом стрессе, который испытывают дрожжи при сепарации.

Во-вторых, сепарированные дрожжи чистой культуры и товарных дрожжей отличаются по гидродинамическому диаметру коллоидных частиц, адсорбированных на поверхности клеток, который с увеличением числа стадий в технологическом процессе возрастал.

Литература

1. Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация. – СПб.: Профессия, 2012. – С. 35–65.
2. Wannemacher J., Gastl M., Becker T. Phenolic Substances in Beer: Structural Diversity, Reactive Potential and Relevance for Brewing Process and Beer Quality // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2018. – V. 17. – P. 953–988.
3. Meledina T.V. Davydenko S.G., Dedegkaev A.T. Yeast Physiological State Influence on Beer Turbidity // *Agronomy Research*. – 2015. – V. 13. – P. 992–1001.
4. Lipker P.N., Ovalle R. Cell wall architecture in yeast: New structure and new challenges // *Journal of bacteriology*. – 1998. – V. 180. – P. 3735–3740.
5. Меледина Т.В., Иванова В.А., Федоров А.В. Аппаратурно-методическая база экспериментов в области пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 60 с.

**НАПРАВЛЕНИЕ
ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ**

Луконина Ольга Алексеевна

Год рождения: 1997

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
Министерства здравоохранения РФ, факультет промышленной технологии лекарств,
студент группы № 251

Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология

e-mail: lukonina_olya@mail.ru

Нащекина Юлия Александровна

Институт цитологии РАН, Центр клеточных технологий, к.биол.н., ст.н.с.

e-mail: ulychka@mail.ru

УДК 547**ХИМИЧЕСКАЯ СШИВКА КОЛЛАГЕНОВ I И IV ТИПОВ В КОМПОЗИТНЫХ
СКАФФОЛДАХ****Луконина О.А.** (Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический
университет Министерства здравоохранения РФ)**Научный руководитель – к.биол.н., ст.н.с. Нашекина Ю.А.**
(Институт цитологии РАН)

В настоящей работе представлен метод создания композитных скаффолдов на основе растворов коллагенов I и IV типов. Также проведена модификация скаффолдов с помощью химических сшивающих агентов, изучена скорость деградации полученных субстратов. Сшивка с помощью химических агентов уменьшает скорость деградации коллагена. Послойное нанесение коллагенов уменьшает скорость их деградации по сравнению со смесью.

Ключевые слова: коллаген тип I, коллаген тип IV, 1-этил-3-(3-диметиламинопропил) карбодиимид, N-гидроксисукцинимид, композитные скаффолды, деградация.

Коллаген является основным белком в организме человека, который входит в состав многих жизненно важных тканей и играет важную роль в поддержании структуры и функций организма. В настоящее время насчитывают 28 типов коллагена, локализация которых в организме отличается в зависимости от типа. Каждая ткань состоит из различных типов коллагена, большую часть составляет коллаген I типа. Однако ткани, состоящие только из одного типа коллагена, практически не встречаются, в основном они представляют собой смесь различных типов коллагена. Например, кожа – это смесь коллагенов I и IV типов, хрящ – коллагенов I и II типов, роговица – I и V типов [1]. Поэтому скаффолды, используемые в тканевой инженерии на основе коллагена I типа, представляют собой недостаточно нативную структуру, необходимую для обеспечения нормального микроокружения для трансплантируемых клеток.

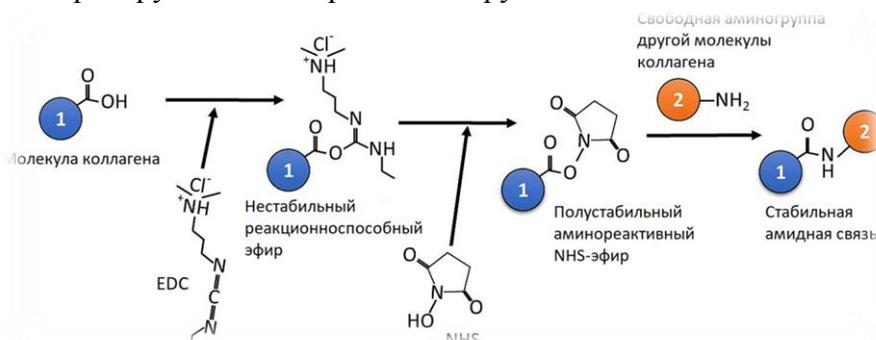


Рис. 1. Механизм сшивания молекулы коллагена с помощью EDC/NHS [2]

Матрицы на основе коллагена обладают недостатками, в числе которых недостаточная механическая прочность. Поэтому необходимо использовать сшивающие агенты для ее увеличения. Одними из химических агентов, используемых

для сшивки, является смесь 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимида (EDC) и N-гидроксисукцинимид (NHS). Механизм сшивания молекул коллагена представлен на рис. 1.

Карбоксильная группа молекулы коллагена взаимодействует с EDC, образуя неустойчивое реакционное соединение, которое сразу же реагирует с NHS, образуя карбонильную группу. Карбонильная группа взаимодействует со свободной аминогруппой лизина, который входит в состав другой молекулы коллагена. В результате образуется устойчивая амидная связь между двумя молекулами коллагена.

Материалы. Коллаген I типа (выделен в Институте цитологии РАН из крысиных хвостов), коллаген IV типа (выделен в Институте цитологии РАН из человеческой плаценты), 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид (EDC) (SIGMA-ALDRICH, США), N-гидроксисукцинимид (NHS) (SIGMA-ALDRICH, США), кислота уксусная ледяная (НеваРеактив, Россия), натрий-фосфатный буфер (PBS) (Институт цитологии РАН).

Методы

1. Приготовление скаффолдов на основе раствора коллагена I типа. Выбран раствор коллаген I типа с концентрацией 2 мг/мл в 0,1% растворе уксусной кислоты. К растворам добавляли смесь 2,5 mM EDC и 1,25 mM NHS в смеси раствора ацетон/PBS в объемном соотношении 80/20 с конечной концентрацией сшивающей смеси в растворе коллагена 0,23 mM, 0,58 mM и 0,83 mM. Для изучения процесса деградации в каждую лунку 48-луночного планшета были добавлены растворы полученных образцов, а затем PBS в количестве в два раза больше, чем объем раствора коллагена в каждой лунке. В качестве контрольного образца использовали раствор коллагена I типа без добавления сшивающих агентов.
2. Приготовление композитных скаффолдов на основе растворов коллагена I и IV типов. Для приготовления скаффолдов на основе смеси двух типов коллагена выбрали два подхода: 1) смесь коллагенов I-го и IV-го типов; 2) послойное нанесение типа «сэндвич». Использовали раствор коллаген I типа с концентрацией 2 мг/мл в 0,1% растворе уксусной кислоты. Композитные скаффолды были изготовлены из растворов I и IV типов коллагена в объемном соотношении 80/20. В качестве сшивающего агента была использована смесь 2,5 mM EDC и 1,25 mM NHS в смеси раствора ацетон/PBS в объемном соотношении 80/20, что соответствовало 0,23 mM, 0,58 mM и 0,83 mM молярной концентрации в растворе коллагена. Для изучения процесса деградации в каждую лунку 48-луночного планшета были добавлены растворы композитных скаффолдов, а затем PBS в количестве в два раза больше, чем объем раствора коллагена в каждой лунке. В качестве контрольного образца были использованы растворы коллагена I типа без добавления сшивающей смеси.

Оценка деградации. Оценка деградации проведена во времени через 1,4 и 7 суток. Методом Лоури была определена концентрация белка в растворе [3]. Процент деградации был вычислен по формуле:

$$\frac{A}{B} \cdot 100\% = C,$$

где A – количество белка, вышедшего в раствор PBS, мг; B – общее количество белка в растворе коллагена, мг; C – процент деградации, %.

Результаты. На рис. 2 представлен процесс деградации растворов коллагена типа I в зависимости от разной молярной концентрации сшивающего агента EDC/NHS. В качестве контроля был использован раствор коллагена типа I без добавления сшивающей смеси. Как видно из рис. 2 наиболее оптимальной с точки зрения

прочности сшивания раствора коллагена I типа является использование сшивающего агента в концентрации 0,23 mM. Процент деградации уменьшился по сравнению с контролем примерно в 1,5 раза.

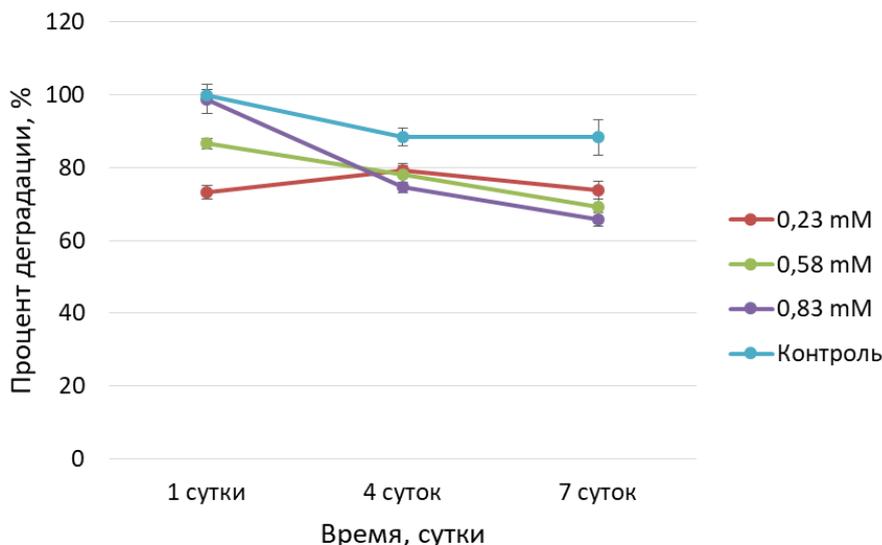


Рис. 2. Зависимость процента деградации раствора коллагена типа I от времени

В результате для сшивки композитных скаффолдов на основе коллагенов I и IV типов, была выбрана концентрация сшивающего агента 0,23 mM как наиболее оптимальная с точки зрения стабильности субстратов.

На рис. 3 представлен процесс деградации растворов смеси коллагенов типа I и IV в зависимости от разного способа формирования скаффолда. Концентрация сшивающего агента принята равной 0,23 mM. В качестве контроля был раствор коллагена типа I.

Как видно из рис. 3 наилучшим способом приготовления композитных скаффолдов является послойное нанесение, что представляет собой прототип дермы и базальной мембраны у кожи. Разницу в скорости деградации наблюдали лишь через 7 суток. Через 1 и 4 суток разница в пределах погрешности.

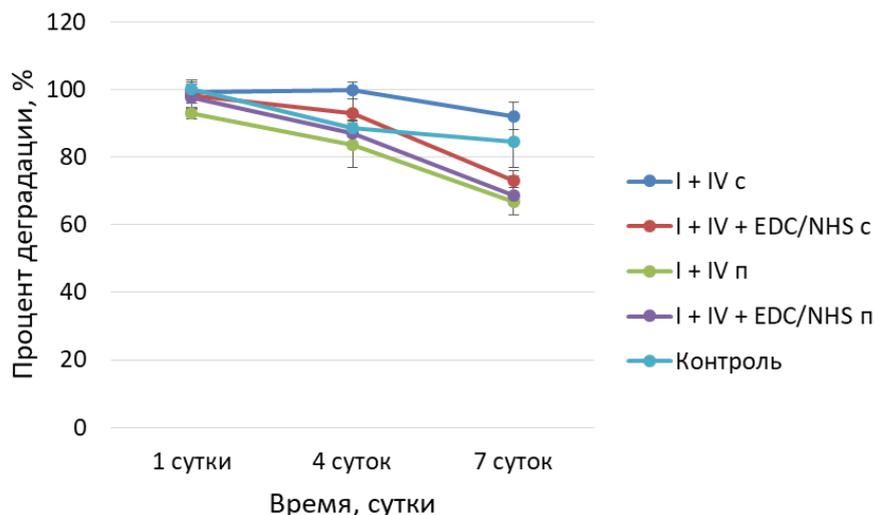


Рис. 3. Зависимость процента деградации смеси p-ров от времени. I+IV c – смесь коллагена I и IV типов; I+IV+EDC/NHS c – смесь коллагена I и IV типов с конечной концентрацией EDC/NHS равной 0,23 mM; I+IV п – послойное нанесение типа «сэндвич»; I+IV+EDC/NHS п – послойное нанесение типа «сэндвич» с конечной концентрацией EDC/NHS равной 0,23 m

Выводы. В результате работы были получены четыре типа скаффолдов:

1. композитный скаффолд на основе растворов коллагена I и IV типов в объемном соотношении 80/20;
2. композитный скаффолд на основе растворов коллагена I и IV типов в объемном соотношении 80/20 с конечной концентрацией EDC/NHS равной 0,23 mM;
3. композитный скаффолд на основе растворов коллагена I типа с послойным нанесением раствора IV типа коллагена в объемном соотношении 80/20;
4. сшитый раствор коллаген I типа с послойным нанесением раствора IV типа коллагена в объемном соотношении 80/20. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что введение сшивающего агента уменьшает скорость деградации композитных скаффолдов. Наиболее оптимальной концентрацией сшивающего агента EDC/NHS с точки зрения прочности сшивания и стабильности растворов является 0,23 mM. Наиболее оптимальным способом формирования композитных скаффолдов с точки зрения прочности сшивания и стабильности субстратов является послойное нанесение – прототип базальной мембраны и дермы.

Литература

1. Sandhu S.V., Gupta S., Bansal H., Singla K. Collagen in Health and Disease // Journal of Orofacial Research. – 2012 – № 2(3). – P. 153–159.
2. Gonzalez D., Ragusa J., Larsen G., Angeletti P.C. Preparation and characterization of functionalized heparin-loaded poly- ϵ -caprolactone fibrous mats to prevent infection with human papillomaviruses // PLoS One. – 2018 – № 13(7). – P. e0199925–e0199962.
3. Дарбре А. Практическая химия белка. – М.: Мир, 1989. – 623 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Направление «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»	4
Герасютенко В.В., Кораблев В.А. Исследование теплового режима прибора с системой охлаждения на основе тепловых труб при различных положениях в поле тяготения	5
Давыденко М. И. Насосные агрегаты для выдачи сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ	10
Иванов Л.В., Анохин А.В. Анализ режимов топливной эксплуатации речных транспортных судов, используемых для поставок в северные регионы России.....	13
Ivanov L.V., Anokhin A.V. Analysis of the modes of fuel operation of river transport vessels used for deliveries to the northern regions of Russia	17
Кушен Э.В., Мурашов И.А. Обоснование выбора нержавеющей стали для материального исполнения самодействующих клапанов	21
Макарова Е.С. (Университет ИТМО), Каблукова Н.С. (РГПУ им. А.И. Герцена, Университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург), Кадыров А.Ш. (Университет ИТМО). Исследование свойств и структуры термоэлектрических тонких пленок висмута	25
Позднякова В.В. Анализ изменения концентрации железа общего на участке р. Невы (г. Санкт-Петербург)	29
Цветков В.А. Уточненный расчет неметаллического поршневого уплотнения при анализе массообмена	33
Направление «ПИЩЕВЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖЕНЕРИИ»	37
Аксенова О.И. Обоснование содержания порошка из побочных продуктов переработки лососевых рыб и пивной дробины в рецептуре экструдированных снеков.....	38
Ахметгариева Д.Н. Непротеиногенная нейротоксичная аминокислота ВМАА в пищевом сырье.....	48
Валишев А.А. Влияние гингерола на микробиологические показатели вареных колбасных изделий	53
Верболоз Е.И., Евона Н.К. Математическое моделирование интенсивной сушки зелени пряных трав в ультразвуке	58
Вихрова М.А. (Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого), Иванова Д.И. (Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого). Разработка рецептуры безглютенового хлеба для лечебно-профилактического питания	63
Горбунов Г.Н. Утилизация теплоты систем термического обезвреживания отходов с использованием газотурбинных технологий	66
Демидов П.И., Мануйлов А.Н., Болотова К.В. Разработка технологии производства функционального питания для собак на основе рыбных отходов	70
Дмитриева И.А. (Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого). Проблема реализации сбора и утилизации батареек	74
Егорова О.А., Егоров А.Н. Сравнение качественных и количественных показателей пектина, полученного из высушенного и замороженного цитрусового сырья.....	78
Коршунова Н.А. Использование спектроскопии в среднем инфракрасном диапазоне для выявления фальсификации виноградных виноматериалов	82
Круглова С.Е. Разработка технологии сидра с применением низкотемпературных технологий.....	86
Курганова Е.В. Влияние процесса замораживания на качество ферментированного шербета.....	89
Орипов У., Орипова А.А. Экотехнопарк – решение проблемы с отходами.....	94

Попова И.С. Особенности эффективности применения микроорганизмов для очистки сточных вод молочной промышленности	99
Рогозина Е.А., Кудравец О.А. Технология рубленых полуфабрикатов на основе мяса страуса с применением коллагеназы.....	103
Харба Р., Морозов А.А. Влияние условий культивирования на дзета-потенциал дрожжей.....	109
Направление «ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ»	112
Луконина О.А. (Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения РФ). Химическая сшивка коллагенов I и IV типов в композитных скаффолдах	113

**СБОРНИК ТРУДОВ VIII КОНГРЕССА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
Том 5**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 22.11.2019

Заказ № 4350

Тираж 100 экз.