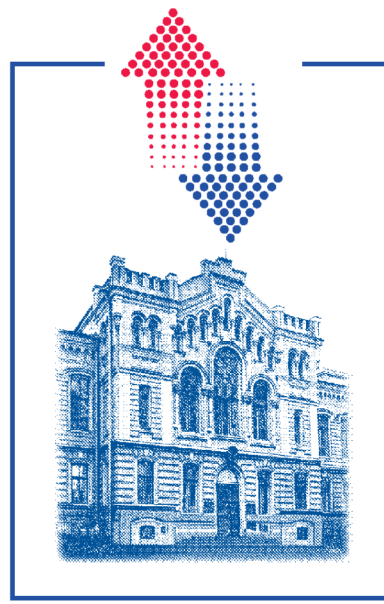
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

МЕГАФАКУЛЬТЕТ
БИОТЕХНОЛОГИЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



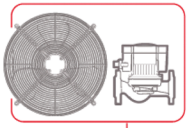
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ

27–29 ноября 2021 года
Санкт-Петербург

СБОРНИК ТРУДОВ

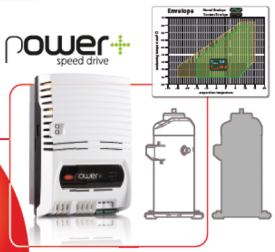
@carelrussia
CAREL Russia
CAREL Russia

Шина Fieldbus:
вентиляторы и насосы с EC-двигателями,
интеллектуальные устройства



Локальные
соединения и
облачные
сервисы

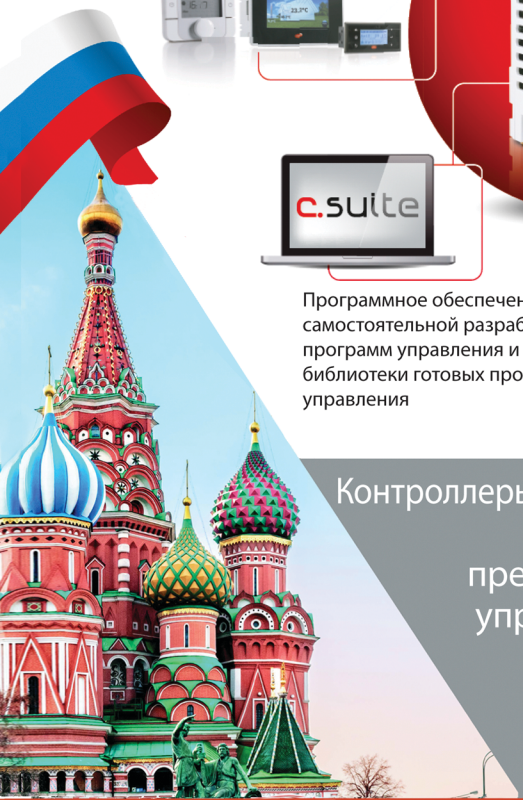
Графические терминалы и
мобильные устройства



Приводы инверторных
компрессоров

Программное обеспечение для
самостоятельной разработки
программ управления и
библиотеки готовых программ
управления

Датчики и электронные ТРВ (EEV)



Контроллеры серии c.pCO - это современное решение от компании CAREL, предназначенное для организации управления системами отопления, охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

CAREL

Энергоэффективные компоненты для HVAC/R

Увлажнители воздуха

Вентиляция и кондиционирование

Холодильное оборудование

Системы диспетчеризации

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

X Международная научно-техническая конференция «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ»

Санкт-Петербург, 27–29 октября 2021 г.

Сборник научных трудов

Санкт-Петербург
2021

УДК 658,18+620.91.004(063)

X Международная научно-техническая конференция. **Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке.** Санкт-Петербург, 27–29 октября 2021 г. Сборник научный трудов. Университет ИТМО. 2021. 482 с.

Научный редактор Баранов Игорь Владимирович

ISBN 978-5-7577-0663-4

Сборник посвящён актуальным вопросам реализации низкотемпературных, пищевых и эко- технологий в регионах России и в мире. В сборнике представлены тезисы докладов по следующим научным направлениям: зеленые технологии в энергетике, пищевые биотехнологии, экология и биоэкономика замкнутого цикла.

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

© Университет ИТМО, 2021
© Авторы, 2021

Секция 1
Зеленые технологии в энергетике

Термоэлектрическое устройство для извлечения инородных объектов из тела человека

Евдулов О. В., Насрулаев А. М., Евдулов Д. В.

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация
Разработана конструкция термоэлектрического устройства для извлечения инородных объектов (ИО) из тела человека путем приморaживания его к специальному зонду, охлаждаемому термоэлектрическим модулем (ТЭМ), отвод теплоты от горячих спаев которого осуществляется в плавящееся рабочее вещество. Произведен оценочный расчет продолжительности стабильной работы прибора. Установлено, что она будет напрямую зависеть от мощности ТЭМ, характера и количества используемого рабочего вещества.

Ключевые слова
Инородный объект, тело человека, извлечение, термоэлектрическое устройство, плавящееся вещество.

Человеческий организм представляет собой чрезвычайно сложную систему. Каждая из его частей имеет определенное местонахождение и выполняет строго определенную функцию. Извне в организм человека должны поступать только жизненно необходимые вещества, например, пища, вода, воздух. Посторонние предметы, случайно попавшие в организм человека, могут нанести ему непоправимый вред и нарушить его функции. Поэтому операции по извлечению инородных объектов (ИО) из тела человека являются важными и ответственными мероприятиями, качество и оперативность проведения которых напрямую влияет на здоровье и жизнь человека.

Для выполнения операций удаления различных ИО из организма человека применяется специальное оборудование. Под ним подразумеваются различные механические приспособления, например, пинцеты, щипцы, цапки, иглы и т. д. [1], предназначенные для хирургического удаления ИО. Анализируя подобное оборудование, необходимо отметить его недостаточную надежность, связанную, прежде всего, с качеством фиксации объекта в приспособлении, зависимость эффективности процесса извлечения от квалификации персонала, проводящего опе-

рацию, болезненность и продолжительность процедуры. Поэтому представляет интерес разработка новых технических средств для извлечения ИО из тела человека и методик, реализованных на их основе.

Разработана конструкция термоэлектрического устройства для извлечения ИО из тела человека [2] с использованием для отвода теплоты от горячих спаев термоэлементов плавящихся рабочих веществ (рис. 1).

Рис. 1. Внешний вид ТЭУ для извлечения ИО из тела человека с использованием для отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ плаящегося рабочего вещества

В состав устройства входит манипулятор, выполненный в виде полой пластмассовой трубки. Внутри трубки находится тонкостенная емкость, заполненная веществом, имеющим большую теплоту плавления и температуру плавления, лежащую в пределах 35–60 °С (например, парафином, азотнокислым никелем и т.п.), с помощью направляющих имеющая возможность перемещаться по ее длине. На торцевой поверхности емкости, предназначенной для контакта с ИО, закреплен ТЭМ с нанесенной на его рабочую поверхность влажной губкой, перед процедурой смачиваемой жидкостью. Емкость с рабочим веществом также выполняет функцию съема теплоты с опорной поверхности модуля. В данном случае будет обеспечена стабильность температуры горячих

спаев ТЭМ в течение всего времени плавления рабочего вещества, а высокая продолжительность поддержания такой температуры будет обеспечиваться большим значением его теплоты плавления. При этом выбор рабочего вещества будет определяться условиями эксплуатации, к которым относятся: требуемый уровень стабилизации температуры горячих спаев ТЭМ, величина температурного перепада, получаемого в модуле, а также температура окружающей среды.

Для оценки продолжительности поддержания стабильной температуры горячих спаев ТЭМ и, соответственно, времени работы прибора может быть использовано следующее соотношение [3]:

$$\tau = \frac{\nu_{рв}\rho_{рв}V_{рв}}{Q_{г.ТЭМ}}, \qquad (1)$$

где $\nu_{рв}$, $\rho_{рв}$, $V_{рв}$ – скрытая теплота плавления, плотность и объем плавящегося рабочего вещества соответственно, $Q_{г.ТЭМ}$ – мощность, выделяемая на горячих спаях ТЭМ.

На рис. 2 показаны графики зависимости продолжительности полного проплавления различных типов рабочих веществ от мощности, выделяемой на горячих спаях ТЭМ при $V_{рв}=4{,}5\cdot10^{-6}$ м^3.

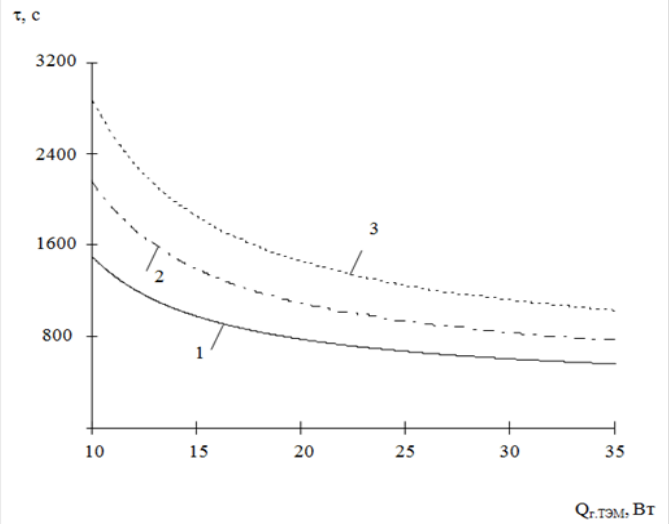


Рис. 2. Зависимость времени полного проплавления различных рабочих веществ от мощности тепловыделений на горячих спаях ТЭМ: 1 – парафин, 2 – элаидиновая кислота, 3 – азотнокислый никель

Согласно представленным данным, с точки зрения продолжительности поддержания стабильной температуры горячих спаев ТЭМ наиболее предпочтительным является азотнокислый никель, менее – элаидиновая кислота и парафин. Однако температура плавления азотнокислого никеля (329,7 К) заметно превышает соответствующее значение температуры элаидиновой кислоты (318 К) и парафина (316 К). Поэтому в данных условиях необходима предварительная оценка продолжительности эксплуатации прибора и критичности надежности работы устройства к повышению температуры горячих спаев ТЭМ. И уже после этого может осуществляться подбор типа рабочего вещества и его количества.

Литература

1. Блоцкий А. А., Карпищенко С. А., Антипенко В. В., Блоцкий Р. А. Травмы и инородные тела ЛОР-органов. – СПб: Диалог, 2018. 217 с.
2. Евдулов О. В., Насрулаев А. М., Магомедова С. Г., Миспахов И. Ш., Набиев Н. А. Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2019. Т. 46, №1. С. 32–41.
3. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Насрулаев А. М. Математическое моделирование и теоретические исследования термоэлектрической системы для извлечения инородных объектов из тела человека методом приморaживания // Вестник Международной академии холода. 2021. №1. С. 94–101.

Приборы для остановки кровотечения на основе криогидратных солей

Евдулов О. В., Набиев Н. А., Евдулов Д. В.

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация
Разработаны конструкции устройств для остановки кровотечения методом локального замораживания зоны кровотока, в котором источником холода является раствор соли с низкой криогидратной температурой растворения. Произведен их оценочный расчет. Установлено, что при использовании в качестве соли азотнокислого аммония температура раствора понижается до 259,2 К в течение нескольких десятков секунд, что дает возможность оказания оперативной помощи пациенту при остановке кровотечения.

Ключевые слова
Остановка кровотечения, криогидратная соль, локальное замораживание, эндотермическая реакция, расчет.

Одной из главных причин смерти пациентов при различных травмах и заболеваниях является невозможность оперативной остановки сопровождающего их кровотечения. Во многих случаях даже относительно небольшое кровотечение в ограниченное пространство нарушает функционирование жизненно важных органов. Обеспечение оперативных мероприятий по остановке кровотока из человеческого организма является одной из важнейших задач медицинской практики, а эффективное использование методов остановки кровотечения важно не только для медицинских работников, но и для каждого человека для оказания само- и взаимопомощи при тех или иных чрезвычайных ситуациях.

На сегодняшний день в лечебной практике выделяют четыре метода остановки кровотечения: механический, биологический, химический и термический [1]. Довольно часто используются одновременно несколько из них. Каждому из данных методов присущи свои достоинства и недостатки. Так, например, механический метод остановки кровотечения прост в реализации, однако малоэффективен при глубоких повреждениях с высокой интенсивностью истока крови, а также в случае, когда у пациента плохая свертываемость крови. При достаточно эффективных химическом и биологическом методах остановки кровотечения необходим доступ к соответствующим лекарственным препаратам, что

иногда невозможно в полевых условиях. В этой связи актуально использование новых методов остановки кровопотерь, к которым также относится термический метод, основанный на локальном охлаждении зоны кровотечения. Эффект от местного применения холода состоит в вызываемом спазме сосудов, что вызывает снижение объемного кровотока по поврежденному сосуду и тем самым способствует фиксации тромбов в месте повреждения.

В [2] для реализации данного метода предложена конструкция устройства с использованием в качестве источника холода стандартного промышленно выпускаемого термоэлектрического модуля. Для оказания первой помощи, связанной с остановкой кровотечения в полевых условиях, при отсутствии источников электрической энергии эксплуатация описанного прибора затруднительна. В этом случае целесообразным является использование технического средства, реализующего метод локального замораживания зоны кровотока, не требующего наличия питающих энергосистем. Разработаны конструкции таких приборов, в которых процесс замораживания области кровотечения производится за счет применения солей с низкой криогидратной температурой растворения.

На рисунке 1 изображен первый варианта устройства.

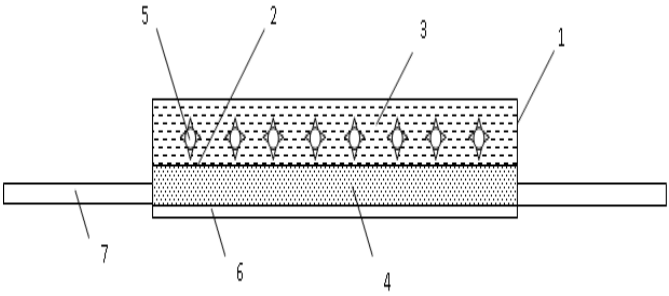


Рис. 1. Первый вариант конструкции устройства для остановки кровотечения с использованием криогидратной соли

Прибор включает в себя емкость 1, с помощью тонкой пленки 2, разрушающейся при механическом воздействии, разделенный на две камеры, в одной из которых находится вода 3, а вторая заполнена солью 4 с низкой криогидратной температурой растворения. В объеме камеры с водой 3 находятся в незафиксированном состоянии шарообразные элементы 5, по внешней поверхности имеющие шипы. На поверхности ем-

кости 1, предназначенной для непосредственного контакта с зоной кровотечения, имеется слой силикона 6, предназначенного для использования в медицинской практике. Исполнительная часть устройства, представляющая собой источник холода, закрепляется на фиксирующем приспособлении 7, изготовленном из кожи или материи с соответствующей застежкой.

Перед эксплуатацией прибор дезинфицируется, затем встряхивается. Вследствие приобретенной кинетической энергии элементы 4 разрушают пленку 2, в результате чего соль 4 растворяется в воде 3. Образуется раствор, имеющий пониженную температуру в зависимости от типа криогидратной соли 4 и ее концентрации, лежащую в пределах до минус 10-15°С. Далее поверхностью с силиконом 6 устройство приводится в механический контакт с областью кровотечения. С помощью фиксирующего приспособления 7 производится плотное прижатие прибора к пораженному участку. Остановка кровотечения будет осуществляться как за счет механического прижатия, так и локального замораживания пораженного участка.

Важным условием надежной работы предложенного прибора является высокая вероятность разрушения пленки между камерами с солью и водой. В рассмотренном исполнении возможен такой вариант, когда несколько шарообразных элементов за счет хаотического перемещения в воде могут быть сцепленными между собой с образованием некоторой объемной структуры, имеющей худшие возможности при разрушении фиксирующей пленки.

Для устранения такой возможности может быть использован второй вариант устройства для остановки кровотечения с использованием криогидратных солей. В нем камера с водой разделена на отсеки ограничителями, а каждый шарообразный элемент находится в отдельном отсеке. Наличие ограничителей, разделяющих камеру 3 с водой так, чтобы отдельно взятый шарообразный элемент находился в отдельном отсеке, позволит избежать сцепления шарообразных элементов и ухудшить возможность разрушения пленки.

На рисунке 2 изображен третий вариант прибора. От двух предыдущих он отличается способом разрушения перегородки 2. В нем камера, заполненная солью 4, имеет гофрированную боковую поверхность, снабженную фиксаторами 8, разрушающимися при механическом воздействии. Также на внутренней торцевой поверхности данной камеры имеются шипы 9, высота которых соответствует высоте камеры.

Произведен оценочный расчет устройства [3]. Теплота растворения $Q_{\text{р.аа}}$ соли азотнокислого аммония при ее полном растворении в воде со-

ставляет 26,32 кДж, растворимость соли в $m_в$=100 г воды при температуре $T_в$=298 К равняется 190 г/мл, теплоемкость соли $c_{аа}$=1370 Дж/(кг·К), $T_в$=298 К равняется 190 г/мл, теплоемкость соли $c_{аа}$=1370 Дж/(кг·К), теплоемкость воды при 298 К $c_в$=4179 Дж/(кг·К).

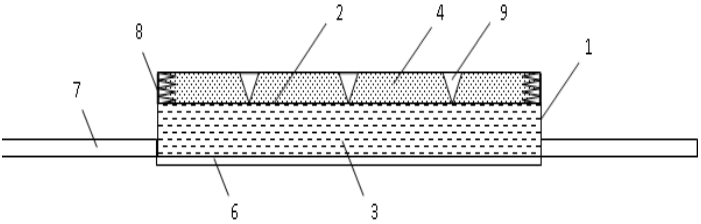


Рис. 2. Третий вариант конструкции устройства для остановки кровотечения с использованием криогидратной соли

Реакция гидролиза азотнокислого аммония имеет вид:

$$NH_4NO_3 + H_2O <=> NH_4OH + HNO_3$$

Температура раствора после полного растворения соли азотнокислого аммония в воде определяется из выражения:

$$T_{р.аа} = T_в - \frac{Q_{р.аа}}{m_{аа}c_{аа}+m_вc_в}.$$

При подстановке численные данных получено, что температура раствора $T_{р.\ аа}$=259,2 К. С учетом того, что процесс растворения соли и понижение температуры раствора занимает непродолжительное время (десятки секунд), в данном случае можно говорить о достаточно быстром выходе температуры источника холода на режим и возможности оказания оперативной помощи пациенту при остановке кровотечения.

Литература

1. Корнеев А. В., Первая медицинская помощь. – Донецк: БАО, 2013. 240 с.
2. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Набиев Н. А., Рагимова Т. А., Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения// Медицинская техника. 2019. №2. С. 12–14.
3. Yevdulov O. V., Yusufov Sh. A., Nabiev N. A., Device for stopping bleeding by local freezing of the blood flow zone // Refrigeration science and technology: 3rd IIR Conference on cold applications in life sciences - cryotherapy and cryopreservation, proceedings. 2018. v.3. P. 68–73.

Термоэлектрические полупроводниковые устройства для отвода теплоты от элементов РЭА

Ибрагимова А. М., Евдулов О. В.

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация

Разработаны конструкции термоэлектрических полупроводниковых устройств для отвода теплоты от элементов РЭА. Особенностью приборов является использование нескольких секций термоэлектрических модулей (ТЭМ), имеющих как непосредственный контакт с элементом РЭА, так и опосредованный через соответствующий дополнительный теплообменник. Рассмотрены варианты системы теплосъема с горячих спаев ТЭМ на основе цельнометаллической конструкции и полой металлической емкости, заполненной плавящимся рабочим веществом с большой теплотой плавления и температурой плавления, лежащей в диапазоне 40–65 °С.

Ключевые слова

Элемент РЭА, охлаждение, термоэлектрический модуль, термоэлектрическое устройство, цельнометаллический теплоотвод, плавящееся вещество.

В последние десятилетия развитие радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) характеризуется постоянным увеличением тепловых нагрузок на входящие в ее состав элементы. Одновременно ужесточаются температурные условия ее эксплуатации, требования к надежности и длительности бесперебойной работы. Все это требует разработки эффективных систем охлаждения ее компонентов, сопоставимых с последними как по массогабаритным, так и энергетическим показателям [1].

На сегодняшний день создание таких систем обеспечения температурных режимов работы элементов РЭА может быть реализовано на базе термоэлектрических полупроводниковых преобразователей, работающих в режиме охлаждения [2]. В этом случае теплоотводящие системы характеризуются небольшими габаритными размерами, отсутствием движущихся частей, независимостью от ориентации в пространстве, высоким ресурсом работы и надежностью, возможностью стабилизации температуры элементов РЭА в определенных рамках.

В ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет" разработан ряд конструкций таких приборов, выполненных на

базе стандартных ТЭМ, выпускаемых российскими фирмами-производителями [3, 4].

На рисунке 1 изображен первый конструктивный вариант охлаждающего устройства. Прибор содержит основную секцию ТЭМ 1, находящуюся в центре, и две дополнительные секции ТЭМ 2, расположенные по краям. Основная 1 и дополнительные 2 секции ТЭМ, электрически соединенные последовательно, состоят из идентичных по своим геометрическим, электро- и теплофизическим характеристикам термоэлементов. Основная 1 и дополнительные 2 секции ТЭМ своими тепловыделяющими спаями находятся в тепловом контакте с основным теплообменником 3, представляющим собой цельнометаллическую конструкцию с выступами по краям, площадь которых соответствует площади дополнительных секций ТЭМ 2. Основная 1, дополнительные 2 секции ТЭМ и основной теплообменник 3 образуют конструкцию, имеющую в своей центральной части углубление, в которое с обеспечением теплового контакта с теплопоглощающими спаями основной секции ТЭМ 1 устанавливается тепловыделяющий элемент РЭА 4. Общая высота выступов основного теплообменника 3 и дополнительных секций ТЭМ 2 равняется высоте элемента РЭА 4. С теплопоглощающими спаями дополнительных секций ТЭМ 2 и элементом РЭА 4 контактирует дополнительный теплообменник 5, также представляющий собой цельнометаллическую конструкцию. В непосредственный контакт с элементом РЭА 4 приведен датчик температуры 6, выход которого электрически связан с входом регулятора температуры 7, выход последнего электрически связан с основной 1 и дополнительной 2 секциями ТЭМ.

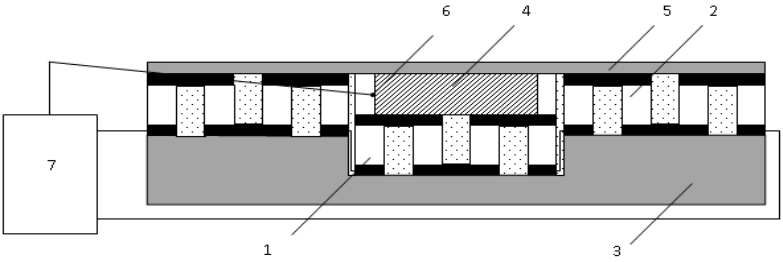


Рис. 1. Первый конструктивный вариант термоэлектрического полупроводникового устройства для отвода теплоты от элементов РЭА

Поскольку температурный режим эффективной работы элемента РЭА 4 выше температуры окружающей среды, то при такой работе поток теплоты все время направлен от элемента РЭА 4 через теплообменники 3 и 5 в окружающую среду. Основная 1 и дополнительная 2 секции

ТЭМ, включаясь в этот процесс, интенсифицируют теплопередачу. Часть теплоты от элемента РЭА 4 передается теплопоглощающим спаям основной секции ТЭМ 1 и через тепловыделяющие спаи - основному теплообменнику 3, который рассеивает ее в окружающую среду. Другая часть передается дополнительному теплообменнику 5, рассеивание теплоты от которого происходит как непосредственно в окружающую среду, так и через теплопоглощающие и тепловыделяющие спаи дополнительных секций ТЭМ 2, а также основной теплообменник 3.

Так как нет необходимости охлаждать элемент РЭА 4 ниже температуры окружающей среды, то регулятор температуры 7 в соответствии с показаниями датчика 6 и заданным на шкале регулятора температуры 7 значением рабочей температуры включает и выключает при необходимости основную 1 и дополнительные 2 секции ТЭМ, поддерживая автоматически температуру элемента РЭА 4 в заданном диапазоне.

Изготовление основной 1 и дополнительных 2 секций ТЭМ из идентичных по своим геометрическим, электро- и теплофизическим характеристикам термоэлементов позволяет повысить технологичность создания устройства, а также обеспечить его работу в оптимальных токовых режимах.

На рис. 2 представлен второй конструктивный вариант охлаждающего устройства. Отличительной особенностью данного прибора является то, что основной теплообменник представляет собой полую металлическую емкость, заполненную плавящимся рабочим веществом с большой теплотой плавления и температурой плавления, лежащей в диапазоне 40-65 °С (парафин, воск, азотнокислый никель и др.). В этом случае теплосъем с горячих спаев ТЭМ будет осуществляться в рабочее вещество, претерпевающее фазовый переход, сопровождающийся поглощением теплоты [5, 6]. При этом за счет меньшей плотности рабочего вещества также будет уменьшаться масса всего охлаждающего устройства в целом.

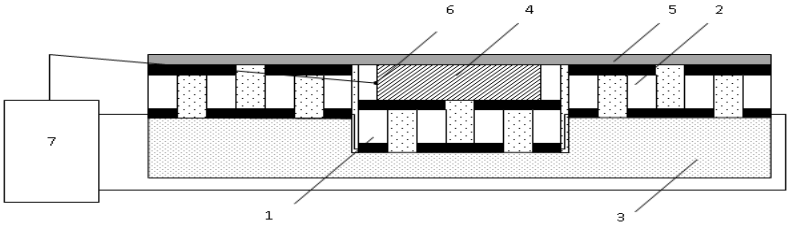


Рис. 2. Второй конструктивный вариант термоэлектрического полупроводникового устройства для отвода теплоты от элементов РЭА

Литература

1. Андреев П. Г., Наумова И. Ю. Защита радиоэлектронных средств от внешних воздействий. – Пенза: ПГУ, 2012. 130 с.
2. Goldsmid H. J. Thermoelectric refrigeration. – New York: Springer, 2013. 240 p.
3. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Магомадов Р. А.– М. Охлаждающие системы на базе сильноточных термоэлектрических полупроводниковых преобразователей. – СПб.: Политехника, 2020. 285 с.
4. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Евдулов Д. В., Вердиев М. Г. Проектирование сильноточных термоэлектрических батарей для холодильных установок средней мощности // Холодильная техника. – 2009. №1. С. 26–28.
5. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Евдулов Д. В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавящихся тепловых аккумуляторов // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2015. № 36. С. 38–44.
6. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Евдулов Д. В. Результаты теоретических исследований системы охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений // Термоэлектричество. 2015. № 6. С. 74–87.

Экологические особенности систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата

Галимова Л. В., Лувам Д. Г., Семенов А. Е.

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Аннотация
Страна Эритрея отличается сложным климатом, для которого характерна высокая переменная температура и влажность воздуха (аридный климат). Эти условия требуют особого подхода к анализу данных для проектирования системы кондиционирования воздуха, связанного с длительным сроком наблюдений и отбором данных. Условия экологичности требуют создания комбинированной системы, состоящей из установки на базе VRV и центральной системы кондиционирования для обработки свежего наружного воздуха. Расчёт и подбор оборудования проведён на основе современного программного обеспечения.

Ключевые слова
Аридный климат, длительный срок наблюдений, комбинированная система кондиционирования воздуха, программное обеспечение.

В условиях ускоренного развития цивилизации и роста жизненного уровня населения в развивающихся странах всё более активно ставится проблема комфортного кондиционирования воздуха. В первую очередь это касается жарких стран африканского региона. Для оценки и проектирования системы кондиционирования воздуха для любого здания требуется надлежащее определение наружных и внутренних параметров воздуха.

Эритрея является одной из развивающихся восточноафриканских стран с некомфортными погодными условиями. Территория страны имеет жаркий и влажный климат на севере и юге региона вдоль Красного моря, жаркий и сухой климат в западной и восточной низменностях, с осадками и относительно умеренным климатом в центральном нагорье. По классификации такой климат называется аридным [1].

До сих пор из-за неполных метеорологических данных предыдущих лет для различных регионов страны расчетные данные по климату наружного воздуха не формулировались. Вместо этого данные из соседних стран аналогичных климатических характеристик использовались в качестве эталона расчетной мощности системы кондиционирования

воздуха или холодильной системы, либо для расчётов выбиралась абсолютная максимальная температура наружного воздуха.

Для получения надлежащих условий наружного проектирования выбор расчётного периода должен не только в определенной степени отфильтровывать колебания климата, но и отражать тенденцию изменения климата в мире [1, 2, 3, 4].

На территории Эритреи выбраны шесть различных районов с основными видами различного климатического разнообразия с точки зрения их географического расположения [3]. На рис. 1 приведена климатическая карта с выделением аридного климата.

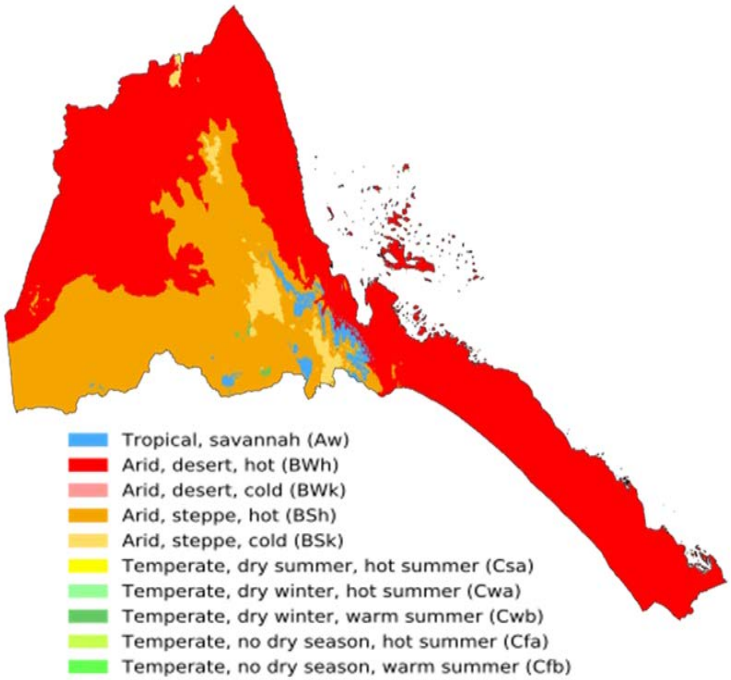


Рис. 1. Климатическая карта Эритреи

Анализ данных исследования метеорологических параметров наружного проектирования страны Эритрея приведён в [5].

В качестве объектов исследования определены г. Массава, для которого, в соответствии с обеспеченностью (рис. 2), фиксирована самая вы-

сокая температура наружного воздуха, и «Морской колледж», расположенный в городе на побережье Красного моря, в котором предполагается создание системы кондиционирования воздуха.

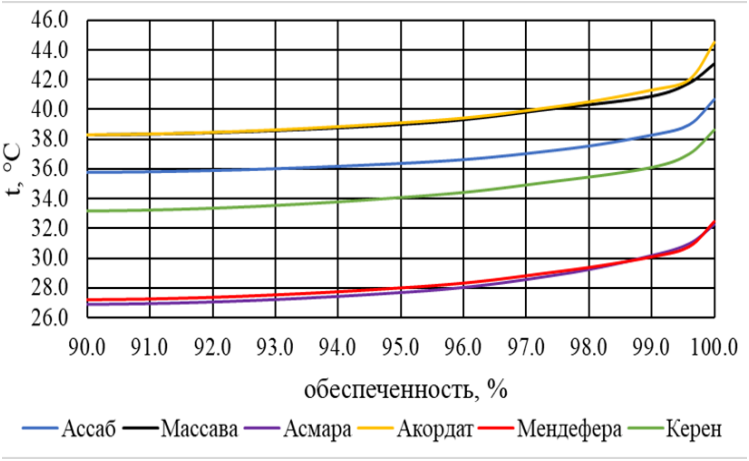


Рис. 2. Максимальное среднее по месяцам значение наружной расчётной температуры для шести городов Эритреи

Сложные климатические условия Эритреи определили выбор специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха. С целью поддержания необходимой температуры внутреннего воздуха аудиторий с большим количеством учащихся принята VRV-система с одним внешним блоком и количеством внутренних блоков по числу помещений**.** Компрессор устанавливается на открытом воздухе, а отдельные воздухоохладители - в помещении. Они соединены с компрессором линиями, содержащими хладагент, дренажные трубки и силовые кабели. Внутри помещения каждый воздухоохладитель имеет свой собственный термостат, который обеспечивает индивидуальный климат-контроль для каждого помещения. Подача в помещения обработанного свежего воздуха производится с помощью центральной системы кондиционирования воздуха, рассчитанной и подобранной по величине тепло- и влагопритоков от людей**.**

Исходные данные для теплового расчёта и подбора оборудования [5]:

1. Температура наружного воздуха 39 °С.
2. Относительная влажность наружного воздуха 53%.
3. Расход наружного воздуха 20 $м^3$/ч/человек.
4. Размер площадь на человека 2 $м^2$.

5. Температура в помещение 25 °С.
6. Относительная влажность в помещении 50%.

На рисунке 3 приведён пример обработки воздуха для одной из рассмотренных в работе систем обеспечения центральной системы кондиционирования воздуха.

Процессы обработки воздуха:

Н-О - охлаждение и осушение наружного воздуха,

О-П - нагрев воздухав воздухонагревателе,

П-В - смешение приточного воздуха с внутренним.

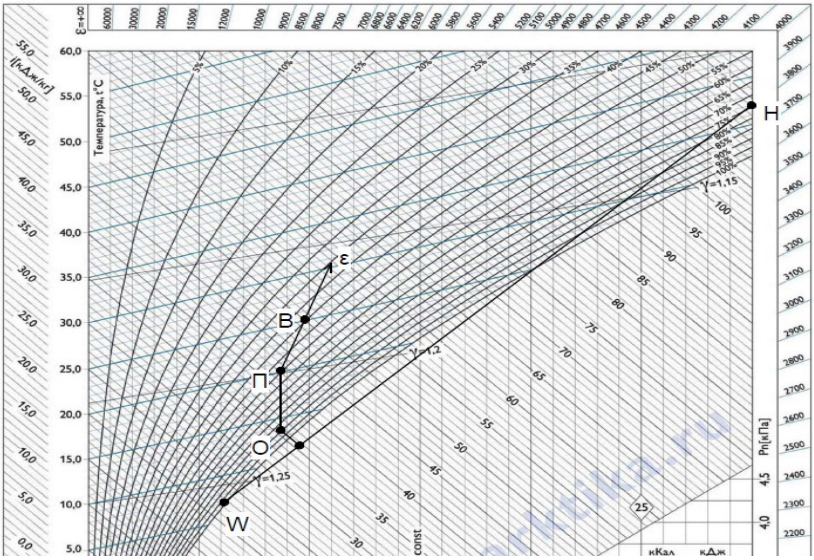


Рис. 3. Процесс кондиционирование воздуха в жарким период года без рециркуляции воздуха

При проектированиии, расчёте и подборе оборудования использованы программы Revit, Coolpack, Excel, Veza KCKP, VRV Xpress.

В таблице приведены результаты расчёта и подбора оборудования приточной системы фирмы Веза для обработки наружного воздуха системы кондиционирования воздуха морского колледжа в г. Массава.

Таблица.

Характеристики оборудования приточной системы для обработки наружного воздуха морского колледжа в г. Массава

№	Наименование	Параметры
1	Моноблок	d*P*в=1252,7 Па; В×Н×L:700×800×1760 мм; м=302 кг.
2	Передняя панель с клапаном, наружный блок	Возд.клапан: РЕГУЛЯР-0525-0575-Н-П-02-00-00-У3; В×Н=575×525 мм; d*P*в=6.1 Па; м=15 кг; Привод: LM24A-S
3	Фильтр панельный	Индекс: ФВП-I-66-48-G3; Класс: G3; Материал: стекловолокно; d*P*в50%=82 Па; d*P*в=82 Па; В×Н×L: 700×800×210 мм; м=27 кг.
4	Воздухоохладитель жидкостный	Индекс: ВОВ243.1-043-065-12-3,0-10-1; Противоток; *F*то=56,8 м2; *Q*х=54,9 кВт; *P*б=745 мм.рт.ст; *L*в=4000 м3/ч; *t*вн=39°С; *i*вн=24,2 ккал/кг; *d*вн=24,1 г/кг; *f*iвн=53%; *t*вк=20,8°С; *i*вк=14.4 ккал/кг; *d*вк=15,5 г/кг; *f*iвк= 98,2%; *G*ж=8105 кг/ч; *t*жн=7,1°С; *t*жк=12,9°С; *d*Рж=20,9 кПа. Сифон: СФ-32/18; *d*Рв=603,7 Па; В×Н×L:700×800×660 мм; м=108 кг.
5	Воздухоохладитель жидкостный	Индекс: ВОВ243.1-043-065-08-3,0-14-1; Противоток; *F*то=37,9 м2; *Q*х=19,4 кВт; *P*б=745 мм.рт.ст; *L*в=4000 м3/ч; *t*вн=22°С; *i*вн=14,6 ккал/кг; *d*вн=15,3 г/кг; *f*iвн=90%; *t*вк=16,4°С; *i*вк=11,1 ккал/кг; *d*вк=11,8 г/кг; *f*iвк=99,3%; *G*ж=3678 кг/ч; *t*жн=7°С; *t*жк=11,5°С; *d*Рж=30,1 кПа. Сифон: СФ-32/18; *d*Рв=450,1 Па; В×Н×L:700×800×660 мм; м=93 кг

6	Воздухонагреватель жидкостный, с обводным каналом	Индекс: ВНВ243.1-043-045-02-2,5-02-2; Прямоток; *F*то=7,8 м2; *Q*т=26 кВт; *L*в=4000 м3/ч; *t*вн=16,8°С; *t*вк=36,5°С; *v*то=6,9 кг/м2/с; *G*ж=1254 кг/ч; *t*жн=110°С; *t*жк=92°С; *w*=0,4 м/с; *d*Рж=0,3 кПа; Возд.клапан УВК-0110-0565-05; В×Н=565×110 мм; Привод: LM24A-SR. *d*Рв=110,6 Па; В×Н×L: 700×800×320 мм; м=58 кг
7	Вентилятор	Индекс: ADH 225 L/R; Выхлоп: По оси; Выхлоп В×Н:288×288 мм; *P*конд=1261 Па; *P*сеть=250 Па; *L*в=4000 м3/ч; *P*полн=1600 Па; *V*вых=13,4 м/с; *n*рк=2850 мин-1; Эл. двиг.: A100S2; *N*у=4 кВт; *n*дв=2850 мин-1; Ремень: SPZ-1120;
8	Шумоглушитель	Пластины:3×100 мм; *L*пластин=500 мм; *d*Рв=7,1 Па; В×Н×L:700×800×605 мм; м=30 кг.

Компоновка, монтаж оборудования, планы и разрезы проводилась по этажам корпуса морского колледжа с использованием программы Revit по данным проведения натурно-производственного эксперимента в г. Массава.

Литература

1. Александра С. Г., Илья М. Д., Кевин Дж. Г. Новая система классификации глобальных климатических зон на основе физиологии растений и с использованием климатических данных с высоким временным разрешением // Журнал биогеографии Wiley. 2020. С. 2093.
2. Li M, Liang S, Xiang C. Оптимальный период записи условий наружного дизайна кондиционеров в различных климатических зонах Китая. Meteorol Appl. 2018. 25:586–595. doi.org/10.1002/met.1723.
3. Ливзей Р. Е., Винников К. Я. и Тимофеева М. М. Оценка и экстраполяция климатических нормальных и климатических тенденций. Журнал прикладной метеорологии и климатологии. 2007. С. 1759–1776.

4. Климат Эритреи. (Электроный источник) URL: https://en.climate-data.org/africa/eritrea-144 (дата обращения: 15.09.2021).
5. Лувам Д. Г., Галимова Л. В., Семенов А. Е. Разработка исходных данных для расчётных параметров наружного климата для регионов Эритреи //Материалы 65-й Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета/Изд-во АГТУ, Астрахань, 2021. С. 806–810.

Особенности проектирования систем холодоснабжения плавучих заводов по производству СПГ

Петров Е. Т. [1], Круглов А. А. [2], Паршин В. [2]

1 – «Рефро-ПКБ»,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Представлены особенности проектирования систем холодоснабжения плавучих заводов по производству СПГ. Рассмотрены варианты наиболее рациональных схемных решений, обеспечивающих безопасность и эффективность функционирования систем. Сформированы схемы многоступенчатых холодильных циклов на диоксиде углерода, обеспечивающих предварительное охлаждение и частичную конденсацию потока ПГ, смесевого хладагента и азота. Выявлена возможность использования методов структурно-параметрической оптимизации как в процессах исследований, так и в ходе проектирования.

Ключевые слова
Газ, состав, сжижение, охлаждение, проектирование, способ, температура, давление, режим, эксплуатация, эффективность.

В настоящее время ведутся интенсивные работы, связанные с исследованием, проектированием и эксплуатацией плавучих заводов по производству СПГ на шельфах и отдаленных морских месторождениях природного газа (ПГ).

При разработках проектов плавучих заводов СПГ одной из основных задач является выбор оптимальных холодильных циклов и систем сжижения ПГ [1, 2].

Главной отличительной особенностью процедуры выбора параметров циклов в этом случае является необходимость учета целого ряда воздействующих факторов:

– влияния "турбулентности" плавучих судов на производительность системы;

– влияния погодных условий на море;

– влияния подвижности судов на работу оборудования;

– необходимости использования материалов повышенной прочности;

– необходимости использования оборудования с соответствующими массогабаритными характеристиками;

– необходимости минимизации в системах сжижения ПГ суммарной массы легковоспламеняемых веществ (решение проблем безопасности).

Указанные особенности эксплуатации плавучих заводов по производству СПГ выдвигают целый ряд повышенных требований к техническому исполнению холодильного оборудования:

– компактность и незначительная масса;

– модульное исполнение отдельных подсистем;

– соответствие высоким требованиям по технической и экологической безопасности;

– высокая надежность;

– простота обслуживания;

– возможность адаптации при различном составе и переменном пластовом давлении природного газа.

Указанные требования приводят к необходимости проведения исследований по формированию оптимальных структур, компоновочных решений и параметров систем холодоснабжения.

В этом случае представляется целесообразным применение технологий с минимальным количеством взрывоопасных хладагентов при приемлемых уровнях энергетической эффективности систем. В этом случае подлежат исследованию три варианта:

– системы на базе газовых детандерных циклов (с азотом в качестве рабочего вещества);

– системы с двумя закрытыми контурами с использованием только взрывобезопасных хладагентов (диоксида углерода и азота);

– системы с тремя закрытыми контурами (с использованием в третьем контуре минимального количества смесевого хладагента – углеводородов).

Особый интерес представляет исследование целесообразности и эффективности применения диоксида углерода для предварительного охлаждения и частичной конденсации ПГ, чему способствуют его теплофизические свойства (высокое значение объемной холодопроизводительности и др.) [3, 4]. Очевидно, что одним из основных условий его применения является превышение давлений ПГ во всех элементах производства по сравнению с давлением диоксида углерода, что легко реализуется.

В результате может быть сформирован многоступенчатый холодильный цикл на диоксиде углерода с многократным дросселированием и контактными промежуточными теплообменниками, при этом наиболее рационально использовать трехсекционные центробежные компрес-

соры. Значение давления конденсации и температур кипения определяется по условию минимума суммарных эксергетических потерь, причем низкая температура забортной воды позволяет обеспечить работу в субкритической области. Использование многоступенчатых холодильных циклов на диоксиде углерода в трехконтурных циклах обеспечивает возможность охлаждения до минус 50°С нескольких потоков:

– природного газа на стадии предварительного охлаждения;

– смесевого хладагента (охлаждение и частичная конденсация);

– азота (после сжатия в компрессорах, работающих в криогенных детандерных циклах).

Указанное снижение температур потоков позволяет:

– снизить степень повышения давления смесевого хладагента;

– уменьшить тепловую нагрузку на основной криогенный теплообменник, где происходит сжижение природного газа;

– снизить степень повышения давления в азотном контуре.

Таким образом, появляется возможность повышения эффективности всей системы холодоснабжения, включая её технико-экономические показатели.

Основной целью проектной работы в этом случае является формирование системы холодоснабжения производства СПГ и методов адаптивного управления в процессе эксплуатации. Решение этой задачи базируется на использовании методов структурно-параметрической оптимизации систем с оценкой эффективности использования диоксида углерода на этапах сепарации и предварительного охлаждения. Основными параметрами оптимизации в этом случае являются:

– значения температур кипения T_{0i}^{*} и конденсации $T_{к}^{*}$ диоксида углерода;

– значения температур $T_{охл}$ и давлений $P_{пг}$ потоков ПГ после предварительного охлаждения;

– давление $P_{см}^{*}$ и состав смеси хладагентов g_i^{*} в процессе сжижения ПГ;

– давление нагнетания $P_{нсм}^{*}$ компрессора для сжатия смесевого хладагента;

– значения давления всасывания P_{a1}^{*} и степени повышения давления $\pi_{ка}$ в азотном компрессоре.

Применение диоксида углерода в широком диапазоне температур и давлений позволяет добиться существенного снижения температур ПГ, смесевого хладагента и азота в зоне предварительного охлаждения ПГ, при этом появляется возможность существенного изменения параметров потоков во всех контурах системы.

Понижение температуры ПГ, смесевого хладагента и азота в зоне предварительного охлаждения позволяет существенно повысить эффективность работы всех контуров системы. Поиск оптимальных решений

должен осуществляться с учетом особенностей эксплуатации системы в течение года и прогнозирования процессов снижения пластового давления. В этом случае задача оптимального проектирования при заданном составе ПГ и степени его переохлаждения сводится к достижению условия максимизации чистого дисконтированного дохода [5]:

$$max \text{ ЧДД } (H, X_1, X_2),$$

где H – вектор структурных параметров всей системы холодоснабжения;

$X_1 = X_1(T_{0i}^*, T_к^*, P_{пг}^*, T_{охл}^*, g_i^*, P_{см}^*, P_{a1}^*, \pi_{ка})$ – вектор параметров расчетного режима на стадии подбора оборудования;

$X_2 = X_2(P_{пгj}, T_{охлj}, g_{ij}, P_{смj}, P_{aj})$ – вектор параметров в процессе эксплуатации.

Выводы

1. Поиск оптимальных проектных решений следует базировать на результатах сравнительного анализа эффективности циклов с минимальной вместимостью взрывоопасных и легковоспламеняемых веществ.

2. Использование в зоне предварительного охлаждения и частичной конденсации ПГ (с давлением P> 4 МПа) холодильного замкнутого цикла на диоксиде углерода позволяет уменьшить габариты оборудования, повысить надежность и безопасность эксплуатации всего производства.

Литература

1. Roberts M. J., Bronfenbrenner J. C., Yu-Nan Liu, Petrowski J. M., Large Capacity Single Train AP-X Hybrid LNG Process. 2002.
2. Nibbelke R., Kauffman S., Pek B., Liquefaction Process Comparison of C3MR and DMR for Tropical Conditions. – GPA 81st annual convention. 2002.
3. Богданов С. Н., Бурцев С. И., Иванов О. П., Куприянова А. В., Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. / Под ред. С. Н. Богданова. 4-е. изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с. ISBN 5-89565-028-7.
4. Руководство по проектированию промышленных холодильных систем [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://assets.danfoss.com/documents/ 89495/AB137786416217ru-000602.pdf. (дата обращения 09.06. 2021).
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждено Минэкономики России, Минфином России, Госстроем России, № ВК477, 21.06.1999 г., — М.: Экономика. 2000.

Системный анализ, оптимизация и прогнозирование параметров работы действующей энергосберегающей системы на базе АБХМ HSA-1157 и ПГУ-110

Байрамов Д. З., Галимова Л. В.

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Аннотация

Системный анализ применительно к сложным техническим схемам позволяет, с одной стороны, реструктуризировать данные схемы на более простые компоненты для обнаружения проблем и выбора метода решения этих проблем, а с другой стороны, поддерживает связи между компонентами. В данном исследовании проводился системный анализ схемы ПГУ-110 и АБХМ. Выявленные отклонения позволили сформулировать задачу, а именно поиск оптимальных параметров работы АБХМ, прогнозирование и моделирование для анализа в широком диапазоне.

Метод. Для достижения поставленных целей применялись методы энергетического и эксергетического анализа, аппроксимации и интерполяции, математического моделирования и методы оптимизации.

Результат. Результаты системного анализа позволили выявить отклонения в работе ПГУ-110 и АБХМ, а также причины, их вызывающие. Также на основе этих результатов разработана имитационная модель, позволяющая вести анализ в реальном времени. В процессе анализа выбраны параметры оптимизации работы АБХМ и разработан блок в программе для оптимизации и прогнозирования параметров работы АБХМ.

Ключевые слова

Системный анализ, оптимизация, моделирование, АБХМ, парогазовая турбина.

Введение

Системный анализ – научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между элементами исследуемой системы.

Объектом исследования является энергосберегающая система на базе абсорбционной холодильной машины АБХМ HSA-1157 компании SHUANGLIANG и парогазовой установки ПГУ-110 компании ООО «Лукойл-Астраханьэнерго».

Основная часть

В работе [1] рассматривалась возможность использования в качестве методов анализа и оптимизации метод эксергоэкономической оптимизации Бродянского. Однако было выявлено, что невозможно сравнивать между собой энергетические и неэнергетические затраты АБХМ и ПГУ, а также результаты эксергетического анализа. Поэтому было принято решение о декомпозиции исследуемой системы на два функциональных блока: АБХМ и ПГУ, с учетом связей между ними и проведение системного анализа для каждого компонента блока по отдельности.

На первом этапе проводился натурно-производственный эксперимент, результаты которого вносились в журнал наблюдений. В рамках системного анализа для АБХМ и ПГУ проводился энергетический и эксергетический анализ по методике, описанной в литературе [2, 6, 7]. Результаты представлены в работах [3, 4, 5], а основные выводы по анализу описаны ниже.

1. Проведен полный энергетический анализ ПГУ-110. По результатам выявлены ряд отклонений: температура уходящих газов после КУ превышает проектные значения в среднем на 19%, давление уходящих газов на 18,4 %, эффективность работы градирни оборотного водоснабжения не превышает 65%.

2. Проведен полный эксергетический анализ ПГУ-110, который позволил подтвердить результаты энергетического анализа. Эксергетический КПД всей системы равен 46,5%. Наибольшие потери наблюдаются в камере сгорания ГТУ 13% и котле-утилизаторе 26,1%.

3. По результатам проведенного энергетического анализа выявлены отклонения в работе АБХМ относительно проектных данных. Нагрузка на генератор АБХМ снизилась в среднем на 31%, что привело к снижению нагрузки на абсорбер на 31%, а на конденсатор и испаритель в среднем на 35%.

4. Эксергетический анализ также подтвердил снижение производительности, а именно снижение эксергетической эффективности в среднем на 22,5%.

Системный анализ позволил выявить отклонения в работе и сформулировать задачу, а именно довести параметры работы АБХМ до проектных значений, что включает в себя:

А) Динамическое определение необходимой холодопроизводительности АБХМ при изменении внешних условий;

Б) Динамическое определение параметров греющего источника, позволяющих достичь необходимой холодопроизводительности с учетом параметров работы ПГУ.

Ввиду того, что параметры работы АБХМ зависят от работы ПГУ, нет возможности поддерживать постоянные значения греющего источника. Поэтому решение задачи сводится к определению оптимальных параметров источников для АБХМ при динамически изменяющихся внешних условиях.

При всяком изменении параметров внешних условий необходимо проводить перерасчет и определять новые оптимальные параметры, что является трудоемкой задачей при ручном расчете. Поэтому целесообразна разработка имитационной модели системы ПГУ-АБХМ, которая позволит проводить системный анализ и оптимизацию в широком диапазоне влияющих параметров.

На рисунке 1 представлена укрупнённая блок-схема модели.

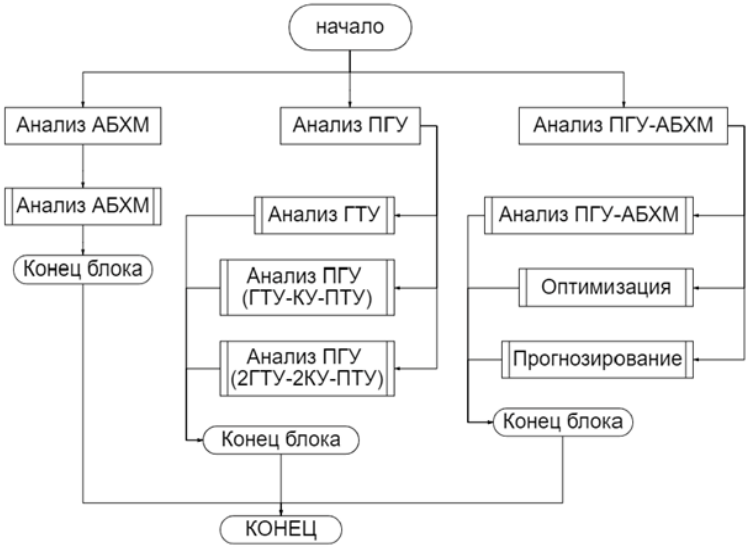


Рис. 1. Блок-схема модели

Поставлены следующие задачи моделирования:

1. Энергетический и эксергетический анализ АБХМ.
2. Энергетический и эксергетический анализ ПГУ.
2.1. Энергетический и эксергетический анализ ГТУ.
2.2. Энергетический и эксергетический анализ ГТУ – КУ – ПТ.
2.3. Энергетический и эксергетический анализ 2 ГТУ – 2КУ – ПТ.
3. Комплексный системный анализ ПГУ-АБХМ.

4. Оптимизация режимов работы АБХМ в составе энергосберегающей системы.

5. Прогнозирование

5.1. На основе данных натурного эксперимента.

5.2. На основе загруженных данных.

Для создания модели принят язык программирования C#. Программа разрабатывалась в среде разработки Visual Studio 2019 .NET Framework 4.5 под управлением ОС MS Windows 10. Достоверность, разработанной модели обеспечивается математическими зависимостями, описывающими параметры рабочих веществ системы (воздух, вода, перегретый пар, водный раствор бромида лития и т.д.). На рис. 2 представлено главное окно программы SAESS v. 3.0 (Свидетельство №2021611672 от 03.02.2021 г.).

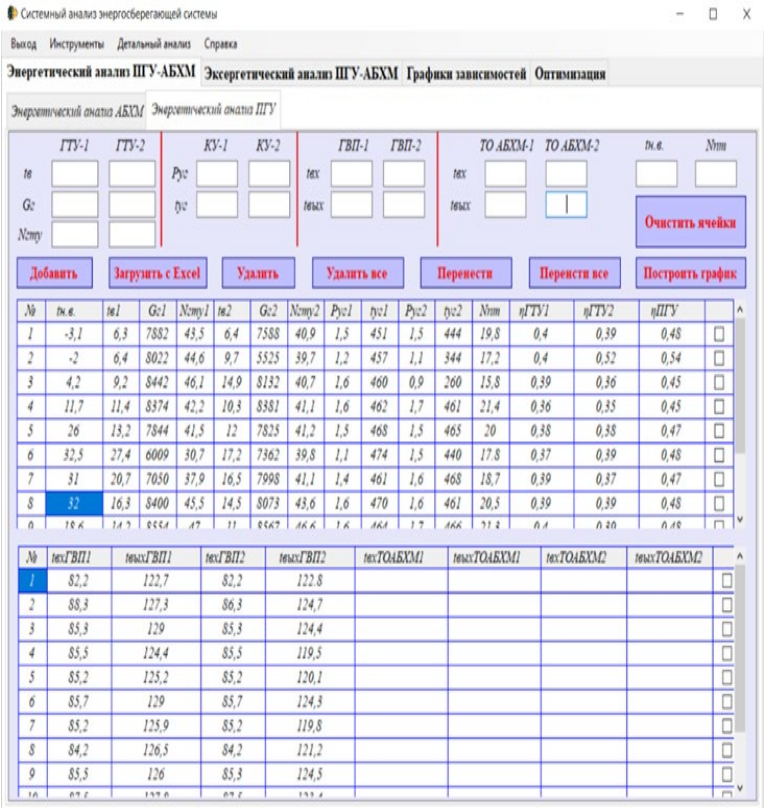


Рис. 2. Главное окно разработанной программы

Для оценки адекватности модели проводится сравнение программного расчета и ручного. В среднем ошибка составляет не более 5 %, что является хорошим показателем и позволяет применять модель для проведения системного анализа.

Оптимизация и прогнозирование

В качестве метода оптимизации принят метод слепого поиска, так как параметры греющего источника зависят от работы КУ, поэтому повлиять можно только на расход греющего источника, а температура неизвестна. На рис. 3 представлено окно программы блока оптимизации**.**

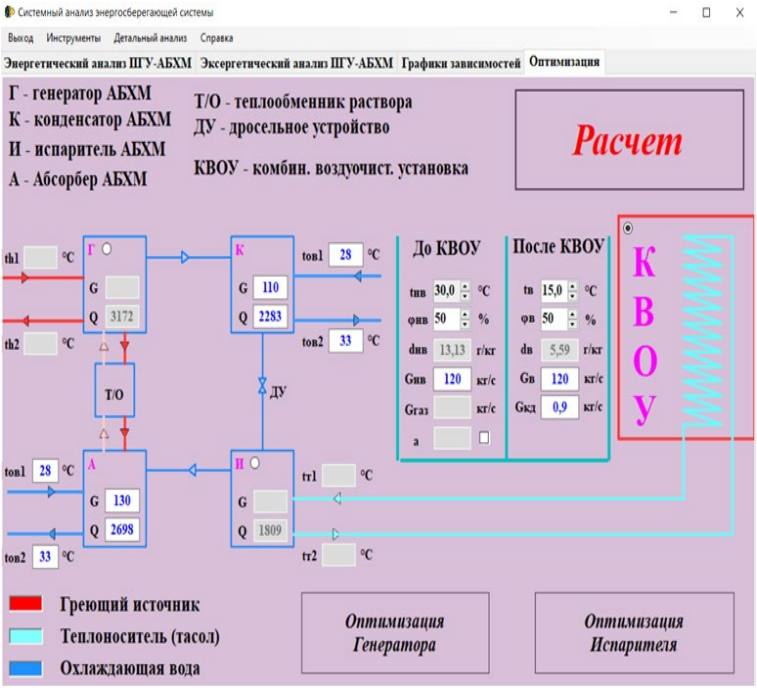


Рис. 3. Окно блока оптимизации

В качестве примера представлен вариант определения оптимальных параметров работы генератора АБХМ. Исходные данные:

а) температура воздуха перед КВОУ 30 С;

б) температура воздуха после КВОУ 15 С;

в) расход воздуха 120 кг/с (или расход топлива);

г) температура и расход охлаждающей воды в конденсатор и абсорбер (показано на рисунке);

При заданных исходных данных определяется необходимая холодопроизводительность и тепловая нагрузка на генератор на АБХМ. Затем нажимаем на кнопку «Оптимизация генератора». Откроется окно оптимизации параметров генератора (рис. 4.а) в котором вводятся диапазон параметров греющего источника (зеленая рамка).

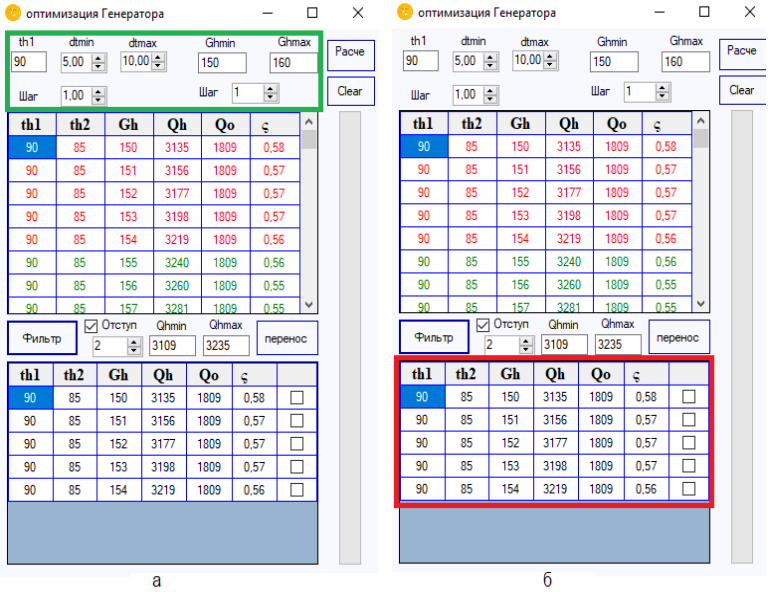


Рис. 4. Окно оптимизации параметров генератора АБХМ

С учетом особенностей работы АБХМ проводится расчет и фильтрация возможных вариантов параметров греющего источника (рис. 4.б. красная рамка). После всех расчетов оператор на месте определяет, какие параметры реализуемы на данный момент, и принимает их. Для испарителя оптимизация проводится аналогичным образом.

Для охлаждения воздуха в межсезонье в ПГУ-110 реализована система SPRINT, а именно дисперсный распыл воды в ступени компрессора газотурбинной установки. В период эксплуатации ПГУ важно понимать, когда достаточно использование системы SPRINT, а когда необходима работа АБХМ. Для решения данной задачи целесообразно применять методы прогнозирования необходимой холодопроизводительности от условий окружающей среды.

В данной работе прогнозирования разработан как отдельный блок в программе. Прогнозирование реализуется двумя способами: на основе данных за 6 лет наблюдений и методами интерполяции на основе загружаемых данных.

Выводы

1. Результаты системного анализа позволили выявить отклонения в работе системы ПГУ-110 и АБХМ и сформулировать задачу, а именно доведение параметров работы АБХМ до проектных значений.
2. Разработанное программное обеспечение SAESS v.3.0 позволяет проводить системный анализ в широком диапазоне рабочих параметров.
3. Принятые для модели математической зависимости охватывают большой диапазон, например, температура воздуха в пределе -50…1500 С, что позволяет применять данную программу для любых подобных систем.
4. Разработанный блок оптимизации позволяет определить наиболее оптимальные параметры работы генератора и испарителя АБХМ при стохастичности внешних условий.

Литература

1. Байрамов Д. З., Галимова Л. В. Анализ способов эксергоэкономической оптимизации сложных энергосберегающих систем // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сб. тр. IX Междунар. науч.-техн. конф., 13–15 ноября 2019 г. СПб.: Университет ИТМО, 2019. Т. 1. С. 17–23. ISBN 978-5-7577-0618-4.
2. Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К., Эксергетический метод и его приложения. Под редакцией В.М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
3. Галимова Л. В., Байрамов Д. З. Термодинамический анализ работы парогазовой установки в составе энергосберегающей системы на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2020. Т. 4, № 4. С. 57–65. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-57-65.
4. Галимова Л. В., Байрамов Д. З. Комплексный анализ абсорбционной бромистолитиевой ходильной машины в составе энергосистемы ПГУ-110 И АБХМ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021. С. 18–27. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-1-18-27.
5. Галимова Л. В., Байрамов Д. З., Цветков С. А., Цветков Ю. А. «Комплексный анализ действующей энергосберегающей системы на базе парогазовой установки и абсорбционной бромистолитиевой

холодильной машины», Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 24–27 февр. 2021 г.) / М-во образования Ом. обл. [и др.]; редкол.: В. А. Лихолобов [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2021. – 292 с.: ил.

6. Галимова Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы. – Издательство АГТУ, 1997. 226 с.
7. Тсатсаронис Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. Одесса: Студия «Негоциант», 2002. 152 с.

Экономика замкнутого цикла в возобновляемой энергетике. Переработка солнечных панелей

Филюков Д. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Из-за стремительного развития возобновляемой энергетики производство солнечных панелей резко возросло, и будет только расти, но при этом не было разработано продуманного метода по переработке солнечных панелей, что в перспективе будет являться причиной переполненных свалок и загрязнений почвы, так как на данный момент солнечные панели просто утилизируют в земле. Основная проблема заключается в невозможности отделить составляющие компоненты солнечной панели без их повреждения, такие как алюминиевая рама, задняя панель, закаленное стекло, этилен-винилацетат, кремниевые пластины, электроника, распределительная коробка. Был разработан прототип устройства, способного разделить каждый из компонентов, не повреждая их. Принцип действия заключается в мощной сверхточной лазерной установке, которая отделяет каждый из слоев солнечной панели друг от друга, не разрушая каждый из компонентов.

Ключевые слова
Солнечная панель, лазерная установка, возобновляемая энергетика, кремниевая пластина, этилен-винилацетат, гигаватт, теллурид кадмия, селенид галлия, кремниевая ячейка, монокристаллический, поликристаллический.

Рост возобновляемых источников энергии

Мировой спрос на мощность PV увеличился с 30 ГВт в 2010 году до 680 ГВт в 2020 году: годовой темп роста более 20%, быстрее, чем у любой другой отрасли, включая другие развивающиеся отрасли возобновляемой энергетики. Было высказано предположение, что мощность PV будет ведущим типом развития новой энергии в будущем [2].

Тем не менее, сами солнечные батареи представляют еще одну экологическую проблему: когда срок их службы закончился, они становятся формой опасных отходов. Поскольку солнечные батареи имеют длительный срок службы, рециркуляция панелей отходов не вызывала беспокойства в течение первых 25 лет их разработки. Значительное количество первой партии установленных солнечных батарей в настоящее время удаляется. Рециркуляция солнечных панелей особенно полезна

для защиты окружающей среды, поскольку производство кремния является процессом интенсивного потребления энергии, и энергия, и затраты, необходимые для извлечения кремния из переработанных солнечных батарей, эквивалентны только одной трети затрат непосредственно на производство кремния. Свинец, олово и кадмий из тяжелых металлов также преобладают в солнечных батареях, и эти тяжелые металлы могут загрязнять окружающую среду и создавать угрозу для здоровья человека. Поэтому рекуперация отходов солнечных батарей может уменьшить энергетические отходы и загрязнение окружающей среды [2].

Первый важный шаг был сделан в июле 2012 года; Европейский союз официально пересмотрел директиву об отходах электрического и электронного оборудования (WEEE), добавив компоненты PV в качестве выброшенных электронных устройств, с тем чтобы они были включены в десять категорий WEEE [1]. Отныне солнечные фотоэлектрические элементы должны собираться и рециркулироваться.

Типы солнечных батарей и ресурсы, используемые в компонентах

Солнечные батареи являются базовыми энергоузлами солнечной энергетической системы. Типичная панель включает каркас из алюминиевого (Al) сплава, закаленное стекло, элемент батареи, ЭВА слой и заднюю панель [3] (Рисунок).

Солнечные панели, также известные как солнечные или фотоэлектрические модули (PV модули), работают, используя фотоэлектрический эффект полупроводникового материала в панели для преобразования солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию [2].

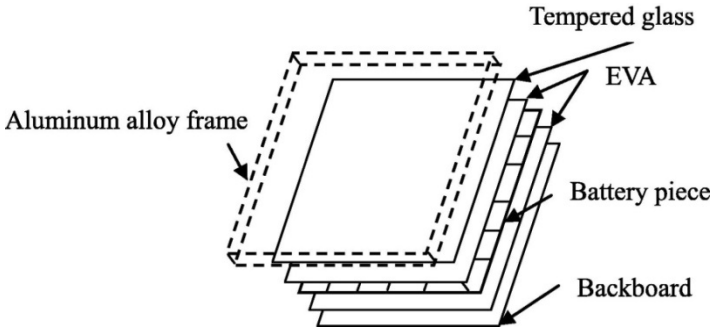


Рисунок. Солнечная батарея

Солнечные батареи можно классифицировать на три поколения: (1) кристаллический кремний (монокристаллический или мультикристаллический); (2) тонкая пленка (аморфный кремний, теллурид кадмия, селенид индия и галлия меди - CIGS); и 3) фотовольтаики-концентраторы и новые технологии (солнечные батареи КПВ, солнечные батареи с сенсибилизированным красителем, органические солнечные батареи и гибридные панели). Поскольку монокристаллические и поликристаллические кремниевые панели имеют более высокую эффективность преобразования, чем тонкая пленка, они в настоящее время) являются (и, вероятно, останутся) наиболее широко используемыми коммерческими материалами солнечных панелей [3].

Описание процессов

Физическое разделение включает механическое разделение сломанных панелей, но не включает отделение какого-либо конкретного типа материала [4].

Время растворения EVA для обычных органических растворителей значительно больше, хотя оно может быть значительно сокращено при использовании органических растворителей с ультразвуком. Однако это также приводит к образованию большого количества летучих органических жидких отходов, которые трудно обработать. Способ термической обработки в сочетании с химической переработкой является наиболее передовой технологией в этом отношении, но он имеет обратную сторону генерации отходящего газа из пиролиза и требует высокого энергопотребления [5].

Мое решение. Нагревательный/лазерный нож

Процесс называется методом горячего ножа, который может отделить клетки панели от стекла примерно за 40 секунд. Панель размещается между двумя роликами, которые перемещают её вдоль и удерживают устойчиво до тех пор, пока она не столкнется с «горячим ножом» - стальным лезвием длиной 1 метр, толщиной 1 сантиметр, которое нагревается до 200–300 °C и рассекает ячейку и стекло. Второй процесс почти тот же, за одним исключением, вместо нагретого лезвия использовать лазерный нож, который имеет более высокую точность и больше вариантов разнообразия, но стоит больше денег и ресурсов.

Толщина стекла и материалов, используемых в EVA, различаются в зависимости от производителя, поэтому требуется технология точной настройки угла наклона лезвия, температуры и других факторов, что, следовательно, означает превосходство лазерного лезвия над нагретым лезвием.

Как это работает

Перед началом отделения самой ячейки необходимо отделить соединительную коробку и алюминиевую раму от панели, и только после этого ячейку можно отделить от слоев EVA стеклянного конца. Таким образом, сначала распределительная коробка будет разобрана в сепараторе J-бокса, затем панель переходит в разделитель рамы, алюминиевая рама подлежит демонтажу, и, наконец, есть сама ячейка, которая должна быть размещена между двумя роликами, которые перемещают его вдоль и удерживают, пока он проходит через нагретую до 300°C лопасть и нарезается на ячейку и стекло. На выходе мы имеем невредимое стекло, ячейки, EVA слои, задний лист и остальные чистые ценные материалы [6].

Характеристики лазерных лезвий

У меня пока нет коммерческой машины. Это обычная промышленная лазерная лезвийная машина. Для разборки солнечных батарей нам нужны два лазера, которые будут ориентированы вертикально с обеих сторон обслуживаемой панели, которая медленно движется обслуживающим треком через эти лазеры.

Особенности

• Отделяет стекло от металлов без дробления методом разделения с помощью нагретой лопасти.

• Автоматически разделяет 4 рамы и J-Box (специально для сбора алюминия и меди).

• Быстрое время обработки около 40 секунд.

• Работает только на электричестве.

• Отделяет и собирает алюминий и медь на сайте при загрузке на грузовик.

•Применимо для различных отечественных/импортных кристаллических силиконовых панелей с задним листом. Автоматически разделяет различные типы рам.

Время обработки приблизительно 40 секунд после установки (для панелей 6 x 10). Оно может изменяться в зависимости от состояния панели.

Ограничения

Первым ограничением способа «горячего ножа» является возможность разделения только кремниевых фотоэлектрических панелей с задним листом, поскольку толщина лезвия не соответствует тонкопленочной солнечной панели. И второе ограничение состоит в том, что может не быть такого лазерного ножа, который обеспечивал бы достаточную мощность для отрезания длины более полуметра.

Заключение

На следующих этапах необходимо создать 3D модель машины и конкретную конструкцию нагретых лезвий и лазерных ножей, подсчитать все возможные затраты и энергопотребление процессов, создать коммерческую машину и предоставить некоторые эксперименты по этому вопросу для визуализации реальных результатов.

Литература

1. The Paris Agreement. // International Legal Materials, Volume 55, Issue 4 August 2016. Pp. 740–755.
2. Circular economy and renewable energy. // Volume 181, 15 August 2019. Pp. 450–454.
3. Ilinykh G.V. // PNRPU vestnik. Urban studies. 2013. № 3. Pp. 125–137.
4. Process Integration and Circular Economy for Renewable and Sustainable Energy Systems. // Klemeš J, Varbanov P, Walmsley P, Foley A. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 116, December 2019, 109435.
5. Interview: DSM's circular solar ambitions. // May 17, 2019 Becky Beetz.
6. Industrialisation of Apollon Solar´s nice Module Technology. // Saint-Sernin E., Einhaus R., Bamberg K., & Panno P., 2008. Industrialisation of Apollon Solar´s nice Module Technology. In PV-SEC. 2008. p. 4.

Повышение надежности судовых систем и приводной арматуры за счет применения нового способа изготовления пружин сжатия

Оскома А. А., Суриков Д. Г.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Проведено исследование по разработке нового способа изготовления пружин сжатия прямоугольного сечения, который позволяет повысить надежность таких важных судовых систем, как система охлаждения первого контура ядерного реактора, судовая система сжатого воздуха, судовая система гидравлики и т.п., которые обеспечивают работу главной энергетической установки и управляемость судна или корабля при любых погодных условиях. Данному исследованию предшествовал статистический анализ аварий и происшествий на отечественных и зарубежных флотах за весь период их существования. В докладе рассмотрены существующие способы изготовления цилиндрических пружин сжатия и проведено сравнение характеристик полученных пружин сжатия с характеристиками тарельчатых пружин сжатия одинаковых типоразмеров.

Ключевые слова
Пружина сжатия прямоугольного сечения, судовые системы, судовая система сжатого воздуха, судовая система гидравлики, система охлаждения первого контура ядерного реактора, главная энергетическая установка, новый способ изготовления пружин, предохранительно-перепускной клапан.

В современных условиях применения ледокольного, подводного и спасательного флотов России предъявляются повышенные требования к надежности судовых систем и приводной арматуры этих систем, которые играют немаловажную роль в безотказной работе главной энергетической установки и управляемости судна или корабля при выполнении поставленных задач в любых погодных условиях [1]. Это в первую очередь касается наиболее нагруженных систем, в гидравлических полостях которых происходит частое повышение температуры (более 1200 гр C^o) и давления (более 420 кГс/$см^2$) рабочей среды, либо воды, либо пара, либо масла и т.п., к которым, в частности, относятся

система охлаждения первого контура ядерного реактора, судовая система гидравлики, судовая система сжатого воздуха и т.п. Информация, полученная из открытых источников, показывает, что выход из строя перечисленных выше систем уже привел к многочисленным морским трагедиям и авариям, в том числе радиоактивным загрязнениям окружающей среды. Причем эти аварии происходили не только в гражданских и военных флотах России, но и в ВМС США, Великобритании и других стран [2].

Вопросами повышения эксплуатационной надежности судовых систем давно занимаются и российские, и зарубежные ученые. Одним из факторов, влияющих на эксплуатационную надежность системы охлаждения первого контура ядерного реактора, судовой системы гидравлики, судовой системы сжатого воздуха и т.п., является безотказная и долговечная работа предохранительно-перепускных клапанов, важным элементом которых является цилиндрическая пружина сжатия [3-7].

В докладе проведен анализ известных способов изготовления цилиндрических пружин сжатия прямоугольного сечения для наиболее ответственных предохранительно-перепускных клапанов судовых систем из современных марок сталей.

На сегодняшний день цилиндрические пружины сжатия изготавливаются из проволоки (прутков) пружинных сталей круглого или прямоугольного сечения методом холодной или горячей навивки. То есть в процессе навивки происходит скручивание и растяжение заготовки 3 (проволоки или прутка) и как следствие смещение слоев металла относительно друг друга, что в свою очередь не позволяет снижать индекс пружины i = D/d для увеличения ее силы [8, 9].

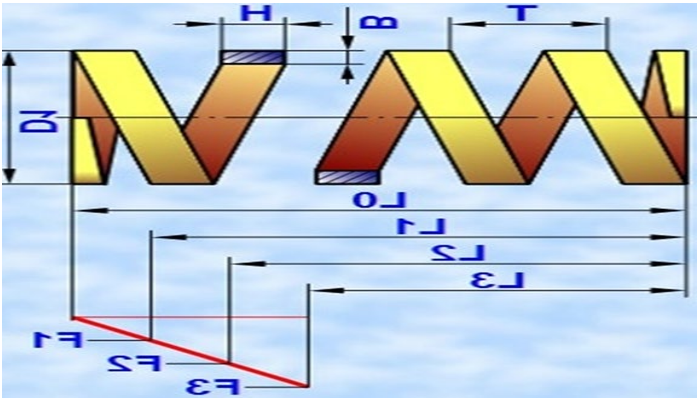


Рис. 1. Пружина сжатия прямоугольного сечения

Авторами предложена новая технология изготовления цилиндрических пружин сжатия прямоугольного сечения, позволяющая значительно улучшить характеристики пружины.

Причем новый способ изготовления пружин дает возможность получить пружину сжатия прямоугольного сечения (смотри рисунок 1 [10]), по своим характеристикам соизмеримую с характеристиками тарельчатых пружин сжатия одинаковых типоразмеров, затрачивая при этом в несколько раз меньше времени и финансовых средств на процесс изготовления.

Полученные данным способом образцы пружин проверены на стенде и показали свою эффективность. Расчет исследованной пружины сжатия прямоугольного сечения приведен на рисунке 2.

1. Задай H	1,1	мм	высота сечения проволоки
2. Задай B	1,7	мм	ширина сечения проволоки
3. Задай D1	9,2	мм	наружный диаметр пружины
4. I=	4,4	-	индекс пружины
5. Y=	2,555	-	параметр жёсткости сечения проволоки
6. C1=	106,6	Н/мм	жёсткость одного витка пружины
7. Задай ~F2	80,0	Н	сила пружины при рабочей деформации (предварительно)
8. Tnom=	2,0	мм	номинальный расчётный шаг пружины в свободном состоянии
9. Tmax=	4,5	мм	максимальный расчётный шаг пружины в свободном состоянии
10. Выбери T	2,4	мм	шаг пружины в свободном состоянии
11. S3=	1,3	мм	максимальная деформация одного витка пружины
12. F3=	138,6	Н	сила пружины при максимальной деформации
13. Задай L2	17,0	мм	длина пружины при рабочей деформации
14. Nрасч=	9,6	-	расчётное число рабочих витков пружины
15. Выбери N	10,0	-	число рабочих витков пружины
16. C=	10,7	Н/мм	жёсткость пружины
17. L0=	25,1	мм	длина пружины в свободном состоянии
18. L3=	12,1	мм	длина пружины при максимальной деформации
19. F2=	86,4	Н	сила пружины при рабочей деформации
20. Задай L1	21,2	мм	длина пружины при предварительной деформации
21. F1=	41,6	Н	сила пружины при предварительной деформации
22. N1=	11,5	-	полное число витков пружины
23. A=	5,4	°	угол подъёма витка пружины
24. Lразв=	293,9	мм	длина развёрнутой пружины
25. Q=	0,004	кг	масса пружины

Рис. 2. Расчет исследованной пружины сжатия прямоугольного сечения

Литература

1. Белков Е. Г., Лавриненко Ю. А., Соломатов М. Г. Оптимальный угол приложения усилия шагообразования при безоправочной навивке пружин. //Вестник Южно-Уральского государственного университета № 6 (15). Сер. «Машиностроение», Вып. 2. Изд-во ЮУрГУ. 2002. С. 41–45.
2. Лавриненко Ю. А. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.9: в 2 ч. Ч.1.Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 421–428.
3. Математическое моделирование процесса упрочнения пружин клапана двигателей автомобилей // Заготовительные производства в машиностроении. 2017. Том 15. №7. С. 302–310.
4. Мясников Ю. Н. Надёжность и техническая диагностика судовых энергомеханических систем (НТДИКА) / Мясников Ю.Н. – СПб.: Изд. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2008. 183 с.
5. Мясников Ю. Н. Междисциплинарные инновационные технологии в судостроении. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019; 1(387). С. 184–196.
6. Оскома А. А. Статистический метод диагностирования компрессоров воздуха высокого давления, как эффективный способ повышения безопасности их эксплуатации. Межвузовский сборник научных трудов “Проблемы безопасности на транспорте”. Материалы конференции ППС государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования. С.-Пб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова, 1997 г. 2 с.
7. Оскома А. А., Суриков Д. Г. Инновационный способ (технология) изготовления пружин как средство повышения надежности машин и механизмов. // Интернаука ISSN: 2542–0348. Москва, 2020. С. 51– 52.
8. Суриков Д. Г. Конструкторско-технологические методы повышения надежности планетарных редукторов мехатронных приводов трубопроводной арматуры. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. 2016 г.
9. Суриков Д. Г. Разработка методики предупреждения отказов механических трансмиссий мехатронных приводов трубопроводной арматуры // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: Орел ГТУ, 2015. – №5. – С. 296–304.
10. Ширяев В. В. О создании нового поколения трубопроводной арматуры для АЭС. Тезисы докладов международной конференции «Проблемы внедрения перспективных разработок и инноваций в арматуростроении». 29 октября 2014, Москва, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО», с. 1.

Поверхностно-модифицированные наночастицы диоксида титана с улучшенными оптическими свойствами

Петрова Ю. Ю., Булатова Е. В., Зеленцов Д. О.

Сургутский государственный университет,
г. Сургут, Россия

Аннотация
Получены образцы наноразмерного диоксида титана, поверхностно модифицированные молекулярными отпечатками перилендиимидного красителя N, N′-бис(3-пентил) перилен-3,4,9,10-бис(дикарбоксимида) (EP-PDI). Образцы композитов TiO_2@EP-PDI охарактеризованы методами лазерной дифракции, инфракрасной спектроскопии, дифференциального термического анализа. Сорбционная емкость при повторном связывании EP-PDI после отмывки образцов раствором этанол: уксусная кислота достигает 0.04 мкмоль/г. Показано, что ширина запрещенной зоны, найденная методом спектроскопии диффузного отражения, композитов в присутствии импринтированного красителя снижается по сравнению с неимпринтированным композитом на 0.03-0.05 эВ.

Ключевые слова
Наночастицы диоксида титана, перилендиимидные красители, поверхностный молекулярный импринтинг.

Перилендиимидные (PDI) красители – акцепторы известных органических полупроводниковых систем [1]. Их часто используют в органических фотовольтаических ячейках, в которых достигаются низкие значения ширины запрещённой зоны, однако PDI имеют большую склонность к самоагрегации. Сенсибилизированные красителями солнечные элементы являются отличным альтернативным источником электроэнергии. В качестве полупроводника в таких элементах используют диоксид титана (TiO_2). Преимущества его применения, по сравнению с другими материалами, – химическая стойкость, нетоксичность и невысокая стоимость. Главной же его особенностью является значительная фотоактивность.

В работе применили метод поверхностного молекулярного импринтинга [2] для модификации поверхности наночастиц TiO_2 отпечатками перилендиимидного красителя N, N′-бис(3-пентил) перилен-3,4,9,10-

бис(дикарбоксимида) (EP-PDI), обладающего акцепторными свойствами. Молекулярно-импринтированные композиты (МИП TiO_2@EP-PDI) получали золь-гель методом с использованием бутоксида титана в качестве прекурсора с соотношением прекурсор: темплат 1:81. Для характеризации композитов использовали методы лазерной дифракции, инфракрасной спектроскопии с Фурье преобразованием, дифференциальной сканирующей колориметрии и термогравиметрического анализа. Средний диаметр ($D_{ср}$) частиц EP-PDI композита (TiO_2@EP-PDI) составил от 6 до 9 мкм (таблица 1). На ИК-спектрах идентифицированы полосы валентных колебаний алифатических и ароматических С-Н связей, деформационных колебаний алифатических С-Н связей, а также валентных колебаний карбонильной и двойной связей. Дифференциальный термический анализ проводили в окислительной среде (воздух). В области 460°С наблюдали экзотермический максимум, который можно объяснить окислительной деструкцией красителя.

Ширину запрещенной зоны ($E_{1/2}$) оценивали методом спектроскопии диффузного отражения [3]. Показано, что после поверхностного молекулярного импринтинга ширина запрещенной зоны по сравнению с исходными наночастицами TiO_2 возрастает как у неимпринтированных (НИП), так и импринтированных (МИП) композитов TiO_2@EP-PDI (таблица 1), что, вероятно, связано с увеличением размеров частиц. При этом $E_{1/2}$ МИП TiO_2@EP-PDI по сравнению с НИП композитами снижается, что определяет батохромный сдвиг поглощения ($\Delta\lambda$) в видимую область на 3-7 нм. Удаление темплата прокаливанием образцов при 400ºС приводит к увеличению $E_{1/2}$ МИП TiO_2@EP-PDI до значения $E_{1/2}$ НИП образца, что подтверждает полное удаление темплата прокаливанием.

Таблица.

Ширина запрещенной зоны ($E_{1/2}$) образцов TiO_2@EP-PDI

Образцы		$D_{ср}$, мкм	$E_{1/2}$, эВ	$\pm\delta$, эВ	$\Delta\lambda$, нм
TiO_2 активированный		2.5	3.04	0.010	
TiO_2@EP-PDI после синтеза	МИП	8.9	3.110	0.009	6.9
	НИП	6.0	3.165	0.003	
TiO_2@EP-PDI прокаленные при 400ºС	МИП	-	3.137	0.002	3.5
	НИП	-	3.165	0.001	

Сорбционная емкость по отношению к красителю-темплату EP-PDI после отмывки образцов раствором этанол: уксусная кислота (9:1 об./об.) достигает 0.04 мкмоль/г, а к другому PDI красителю

1-H-пирроло-N,N′-бис(3-пентил) перилен-3,4,9,10-бис-(ди-карбоксимид)-5-гексил-11-1H-1,2,3-триазол-1-ил-пентановой кислоты (PDI-Taz-C_5OOH) – 0.75 мкмоль/г. Образцы МИП TiO_2@EP-PDI показали высокую селективность по отношению к темплату (максимальный коэффициент селективности α_{max} 13.5).

После прокаливания при 400ºС образцы TiO_2@EP-PDI теряют специфичную способность к связыванию темплата, что, вероятно, связано с изменением структуры поверхности, поскольку при данной температуре начинается фазовый переход диоксида титана из полиморфной модификации анатаза в рутил [4]. Сорбционная емкость образцов по отношению к PDI-Taz-C_5OOH также в этом случае снижается до 0.50 мкмоль/г.

Литература

1. Zhan C., Yao J. More than Conformational “Twisting” or “Coplanarity”: Molecular Strategies for Designing High-Efficiency Nonfullerene Organic Solar Cells // Chem. Mater. 2016. Vol. 28, № 7. C. 1948–1964.
2. Huang Z., Zhang Z., Q. Xia C., Li, Y. Yun. Surface molecularly imprinted polymer microspheres based on nano-TiO2 for selective recognition of kaempferol // J. Appl. Polym. Sci. – 2017. – Vol. 134, № 23. – Art. 44888.
3. Lopez R., Gomez R. Band-gap energy estimation from diffuse reflectance measurements on sol–gel and commercial TiO_2: a comparative study // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2012. – V. 61, №. 1. – C. 1-7.
4. Hanaor D. A. H., Sorrell C. C. Review of the anatase to rutile phase transformation // J. Mater. Sci. 2011. V. 46. C. 855–874.

Обоснование к проектированию третьей технологической линии для завода по сжижению природного газа

Чубова С. Д.[1], Баранов А. Ю.[2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Работа посвящена обоснованию проекта третьей технологической линии на заводе по производству СПГ. Актуальность темы связана с тем, что в каждом конкретном случае есть спорные аспекты, которые ставят под сомнение целесообразность наращивания объёмов сжижения. Компания «Сахалин Энерджи» предоставила исходное данные, которые могут быть использованы в расчетах для обоснования рентабельности новой технологической линии, чтобы руководство компании могло принять окончательное инвестиционное решение.

Ключевые слова
Сжиженный природный газ (СПГ), линия по сжижению, экономическая эффективность.

В последние годы в мире значительно увеличивается спрос на сжиженный природный газ, поэтому многие компании стремятся увеличить его производство и занять лидирующие позиции на рынке. Строительство технологической линии по сжижению представляется нетривиальной задачей, так как существуют аспекты, которые могут сделать проект нерентабельным и даже убыточным.

Особого внимания требуют рынки сбыта СПГ. Компания уже имеет постоянное число импортеров сжиженного газа в Азиатско-Тихоокеанском регионе, с которыми заключены долгосрочные контракты, поэтому сбыт новых партий СПГ не является проблемой. Компания СЭ имеет репутацию надежного поставщика и производителя качественной продукции. Многие специалисты газовой отрасли прогнозируют значительный рост спроса СПГ во всем мире, но лидирующие позиции будут занимать страны Южной и Юго-Восточной Азии, поэтому новые партии СПГ будут поставляться именно в этот регион.

Еще одним важным аспектом является оценка рисков проекта, ее желательно провести еще на начальных этапах планирования проекта.

Риском с наибольшим влиянием и высокой степенью вероятности возникновения является прекращение подачи газа на сжижение, так как у компании нет собственного источника природного газа и планируется закупка газа у независимого поставщика. Для нивелирования этого риска целесообразно заключение долгосрочного контракта на поставку газа с фиксированными условиями. Существуют риски, связанные со строительством самой линии, так как компания СЭ использует зарубежные технологические разработки. Единственным доступным способом предупреждения данного риска является импортозамещение. Российские машиностроительные компании освоили производство витых теплообменных аппаратов, которые являются основой технологий, используемых в циклах сжижения природного газа.

В экономической части проекта показано, что в случае предупреждения описанных выше рисков он будет рентабельным и окупится за 3 года с момента ввода в эксплуатацию. Даже с учетом ссуды в 8 миллиардов долларов, которую готовы предоставить иностранные инвесторы, и газа, который придется закупать, проект выглядит экономически эффективным. В таблице представлены вводные данные для оценки проекта.

Таблица.

Вводные данные проекта новой технологической линии сжижения

Наименование	Значение
Производительность линии	7,5 млрд $м^3$/год
Инвестиционные затраты	8 млрд долл.
Кредит	5 лет, 2,5%
Срок реализации проекта	5 лет
Цена покупки газа за тыс. $м^3$	1000 долл.
Цена продажи газа за тыс. $м^3$	1500 долл.
Затраты на сжижение газа	10% от цены газа

Проект является рентабельным и даже высокодоходным, на это указывают следующие показатели: 1) чистый дисконтированный доход (NPV) положительный; 2) индекс доходности (PI) больше 1, то есть на каждый вложенный доллар компания получит 1,37; 3) период окупаемости проекта по окончании строительства составит примерно 3 года.

Важным аспектом проекта является выбор технологий подготовки газа и сжижения. Известно, что газ будет поставляться с другого месторождения, поэтому его состав и свойства могут существенно отличаться от уже сжижаемого на заводе газа. Следует детально изучить состав газа из нового источника, чтобы подобрать соответствующую технологию

очистки и сжижения газа. На Сахалине завод не менее чем полгода работает при низких температурах окружающей среды, это необходимо учесть при выборе технологии ожижения. Планируемый объем производства составляет больше 5 млн тонн в год, поэтому нельзя использовать отечественные технологические разработки, так как такого опыта пока не существует. Логично будет использовать технологию с использованием смешанных хладагентов DMR, по которой уже работают две технологические линии, так как она наиболее эффективна в условиях низких температур окружающей среды.

Подводя итог, можно утверждать, что даже при спорных исходных данных проект является высокодоходным и может быть рекомендован к внедрению. Эффективность и рентабельность проекта существенно повысит сокращение сроков реализации, а также ожидаемый рост цен на СПГ в регионе Юго-Восточной Азии.

Литература

1. Федорова Е. Б., Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М. РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. 159 с.
2. Мещерин И. В., Анализ технологий получения СПГ // Neftegaz.RU. 2018. № 10. С. 96–106.
3. Колбикова Е., Тимонин И., Мировой рынок СПГ: иллюзия избытка. – [Электронный источник] URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/542/vygon_consulting_lng_world_balance_2018.pdf. (дата обращения 10.07.2021).

Системный анализ способов определения свойств СПГ

Родькин Я. Э., Зайцев А. В., Рябова Т. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В данной работе произведен анализ имеющихся эмпирических методов определения теплофизических и термодинамических параметров сжиженного природного газа в процессе хранения и транспортировки. Определен порядок итерационного расчета для вычисления свойств парожидкостной смеси.

Ключевые слова
СПГ, термодинамические свойства, итерационный расчет.

Работа выполнена в рамках проекта Университета ИТМО № 620149.

Сжиженный природный газ (СПГ) представляет собой перспективное направление развития энергетического сектора России и мира в целом. Возобновляемые источники энергии не могут полностью заменить традиционные, в связи с этим встает вопрос реализации имеющихся запасов с учетом направленности на снижение выбросов загрязняющих веществ и углеродного следа [1].

Следующим определяющим вопросом является возможность обеспечения стабильного экспорта и внутритерриториального распределения углеводородного сырья, что осложняется, в частности, геополитической ситуацией на мировой арене и ландшафтными особенностями местности.

В связи с этим сжиженный природный газ выходит на передовые позиции, так как не имеет привязки к трубопроводным сетям и может быть доставлен автомобильным, железнодорожным или водным видами транспорта.

Однако следует помнить о теплофизических особенностях СПГ. Поддержание криогенной температуры в емкости хранения или транспортировки – довольно сложный процесс, прямо зависящий от внешних условий [2]. Таким образом, в результате теплообмена с окружающей средой нарушается тепловое равновесие в криогенной емкости, что приводит к испарению более легких фаз и конденсации более тяжелых, и, как следствие, к изменению компонентного состава перевозимого груза.

Для проведения расчетов по определению состава применяются различные методики.

В ГОСТ Р 56851–2016 приведен метод расчета термодинамических свойств СПГ. Для расчета термодинамических свойств смесей типа СПГ применяются параметры бинарного взаимодействия компонентов СПГ, рассчитанных на основе комплексной обработки данных о плотности и скорости звука бинарных смесей метана с другими компонентами СПГ. Расчет производится по уравнению состояния GERG-2008 в диапазоне температур от 100 до 140 К и давлений до 5 МПа.

В эмпирических исследованиях для описания параметров системы используются различные уравнения состояния, наиболее используемыми из которых являются:

– Менделеева – Клапейрона

$$PV = \nu RT; \quad (1)$$

– Клазиуса

$$\left(P + \frac{a}{T(\nu+c)^2}\right)(V - b) = RT; \quad (2)$$

– Ван-дер-Ваальса

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT; \quad (3)$$

– Редлиха — Квонга

$$P = \frac{RT}{(V-b)} - \left(\frac{a}{T^{0,5}V(V+b)}\right); \quad (4)$$

– Пенга – Робинсона

$$P = \frac{RT}{(V-b)} - \frac{a(T)}{V^2+2bV-b^2}; \quad (5)$$

где P – давление, V – молярный объем, T – температура, R – универсальная газовая постоянная, ν – число молей газа, a, b, c - константы.

Последнее уравнение позволяет с высокой точностью описывать модель системы пар – жидкость вблизи критической точки, что представляет особый интерес при расчете криогенных систем.

Для описания состояния СПГ в резервуаре может быть привлечена равновесная модель расчета, согласно которой при сохранении постоянства объема системы справедливо уравнение

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = Q + \sum_k G_k h_k, \quad (6)$$

где U – полная внутренняя энергия системы, Дж; τ – время, с; Q – теплоприток в систему, Вт; G_k – расход k-го потока, кг/с; h_k – удельная энтальпия k-го потока, сбрасываемого из криогенного сосуда или направляемого в него, Дж/кг [3].

В интегральном виде уравнение преобразуется:

$$U = uM_0 + c_w T_w M_w, \quad (7)$$

где u – удельная внутренняя энергия парожидкостной среды, Дж/кг; M_0 – масса парожидкостной среды, находящейся в резервуаре, кг; c_w –

удельная теплоемкость резервуара, Дж/(кг·К); T_w – температура резервуара, К; M_w – масса резервуара, кг [3].

Для расчета также могут быть применены различные программные продукты, такие как HYSYS, Comsol, MOLAS и т.п.

В случае описания изменения нестационарной системы с течением времени необходимо использовать итерационные расчетные модели, в которых начальными данными в нулевой момент времени принимаются исходные значения параметров системы, а для каждой последующей итерации – конечные результаты предыдущего временного шага.

Таким образом, появляется возможность, изменяя исследуемый временной промежуток (Δt), прогнозировать свойства системы пар–жидкость в любой конкретный момент времени. На рис. 1 представлена физическая интерпретация модели, где n – количество моль вещества, V – объем соответствующей фазы.

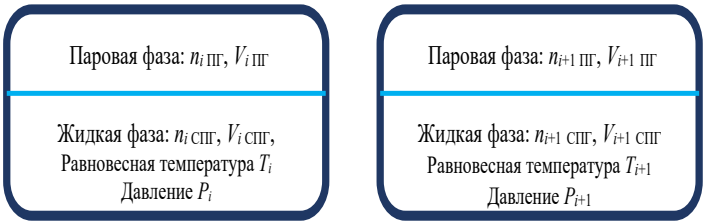


Рис. 1. Графическое отображение изменений параметров с шагом Δt

Результатами итерационного расчета является определения параметров состояния смеси в конечный момент времени. Совокупно процесс проведения расчетов можно представить в виде общей структуры (рис. 2).

Детализация процессов, происходящих внутри емкости, способствует изучению способов поддержания необходимого уровня давления и сокращения потерь криотоплива, помогает определить перспективные направления совершенствования конструкций и материалов.

Таким образом, последовательное выполнение многоитерационного расчета позволит определить параметры смеси как в узловых точках, так и в конкретный момент времени.

Однако существуют внешние факторы, которые необходимо учитывать при выполнении расчетов. Вследствие разомкнутости системы следует учитывать параметры окружающей среды, такие как давление и температуру окружающего воздуха, а также стоит учитывать, что при транспортировании возникают дополнительные динамические силы, воздействующие на жидкость в резервуаре [4].

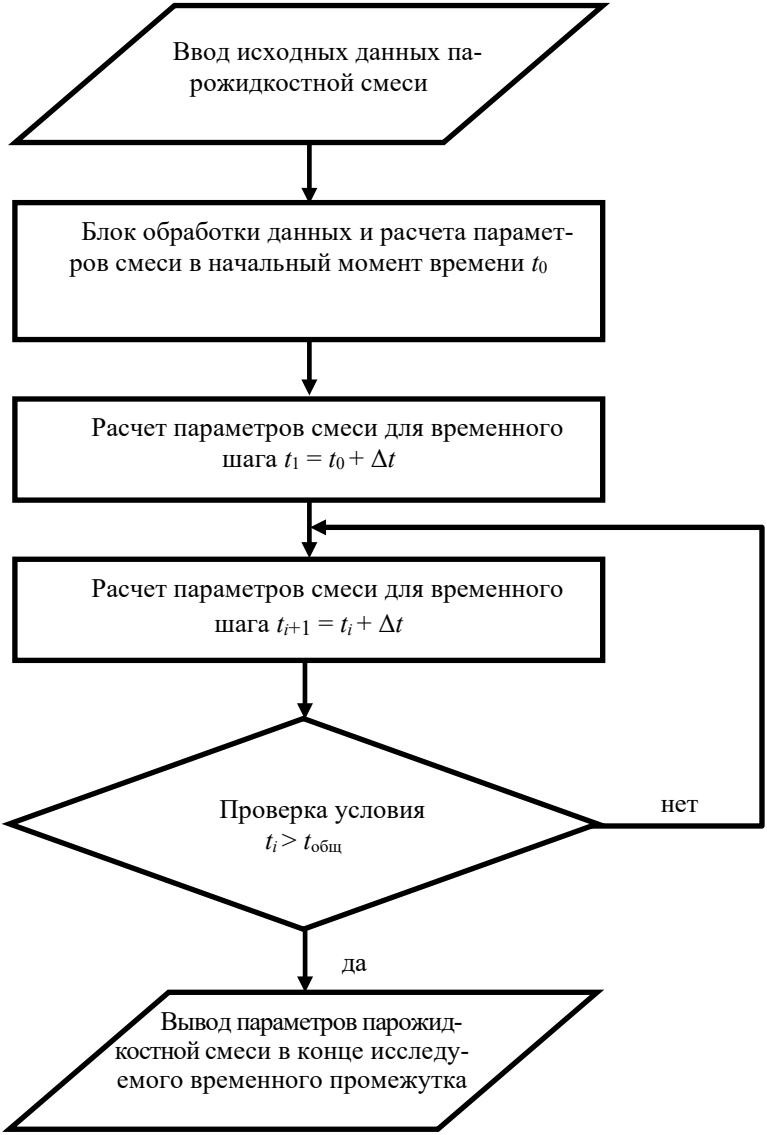


Рис. 2. Блок-схема проведения итерационного расчета

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о необходимости разработки математического аппарата для расчета параметров смеси в емкости хранения/транспортирования с учетом воздействия внешних факторов.

Литература

1. Мещерин И. В., Глобализация рынка природного газа / И. В. Мещерин. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. 199 с.
2. Изотов Н. И. Сжиженный природный газ. Технологии и оборудование. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. 306 с.
3. Горбачев С. П., Медведков С. П. Изменение компонентного состава СПГ при его длительной транспортировке и хранении, методы кондиционирования // Газовая промышленность. 2018 г. № 10. С. 56–66.
4. Evangelos K. Boulougouris, Leonidas E. Chrysinas. LNG Fueled Vessels Design Training. 2015. 151 p.

Моделирование измерения теплопроводности методом лазерной вспышки с помощью тонкопленочного модуля

Макарова Е. С., Новотельнова А. В., Асач А. В., Тхоржевский И. Л., Фомин В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Проведено моделирование измерения теплопроводности методом лазерной вспышки с помощью тонкопленочного модуля. С использованием компьютерной модели проведена оценка влияния различных факторов на результаты измерения температуропроводности тонких образцов. Показано, что нанесение графитового покрытия приводит к увеличению неопределенности измерений: для металлических образцов до 7%, для теплоизоляционных материалов до 40%.

Ключевые слова
Температуропроводность, теплопроводность, метод лазерной вспышки.

Введение

Оценка теплофизических свойств объектов, имеющих толщину менее 100 мкм, представляет сложную техническую задачу. Большинство измерительных методов накладывают ограничения на спектр исследуемых материалов измерения или требуют сложной подготовки образца. Метод лазерной вспышки зарекомендовал себя как быстрый и точный метод для измерения температуропроводности различных материалов. Короткое время измерения (менее нескольких секунд) для получения отклика от лазерного импульса в сочетании с оптической системой детектирования минимизирует тепловые потери с образца [1-3]. В основе метода лежит определение коэффициента температуропроводности материала. Для этого одну сторону образца облучают лазерным импульсом и на другой стороне регистрируют изменение температуры [3]. Используя результаты измерений временной зависимости температуры, зная значения плотности (ρ) и удельной теплоемкости (ср) материала, можно определить коэффициент теплопроводности (к) по формуле:

$$\kappa = 1.36976 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{h_s^2}{\pi^2 t_{1/2}}, \quad (1)$$

где h_s – высота образца, $t_{1/2}$ – время достижения половины максимальной температуры на обратной стороне образца.

При толщине образцов несколько десятков микрометров возникают сложности с определением температуропроводности, связанные с быстрым ростом температуры на обратной стороне образца и конечностью лазерного импульса. Поэтому использование стандартного метода Паркера для тонких образцов приводит к значительной неопределенности измерения

В конце 80-х годов впервые был предложен новый метод лазерной вспышки для измерения температуропроводности тонких образцов, который заключается в продольном измерении теплопроводности. Этот метод позволяет увеличить «эффективную» толщину образца, за счет радиального направления распространения теплового потока. Более детальная и упрощенная методика расчета коэффициента температуропроводности была представлена в работе.

Моделирование

Для оценки влияния различных факторов на неопределенность измерений были созданы математические модели в программной среде Comsol Multiphysics.

Для построения геометрической модели образца были использованы размеры тонкопленочного модуля, входящего в комплект поставки установки NETZSCH LFA 457 MicroFlash. Диаметр образца составлял d_0=20-25 мм, диаметр нагреваемой области d_1=5 мм. Диаметры экрана и области детектирования d=9,5 мм и d_2=12 мм соответственно (рис. 1). Исследовалось проведение измерения образцов, обладающих различными теплофизическими свойствами. В первой группе материалы образцов обладали высокими теплопроводящими способностями (висмут с коэффициентом теплопроводности κ = 7,9 Вт/(м·К), сурьма – κ = 24,3 Вт/(м·К), золото – κ = 317 Вт/(м·К), медь – κ = 400 Вт/(м·К), алюминий – κ = 236 Вт/(м·К)). Вторая группа образцов обладала низкими значениями теплопроводности (полиимид с коэффициентом теплопроводности κ = 0,15 Вт/(м·К), слюда – κ = 0,5 Вт/(м·К), полиэтилен – κ = 0,38 Вт/(м·К), полиамид – κ = 0,26 Вт/(м·К)).

В компьютерной модели рассматривался однородный изотропный цилиндрический образец. На области нагрева и области детектирования наносился дополнительный графитовый слой толщиной h_1. Одна из сторон образца облучалась импульсом лучистой энергии, имеющим распределение по времени в форме Гаусса. Мощность импульса подбиралась таким образом, чтобы рост температуры на обратной стороне образца не превышал 2 К. Измерения моделировались в атмосфере обдувки газообразным азотом, коэффициент теплоотдачи от поверхности моделируемого образца α = 5 Вт/(м^2· К).

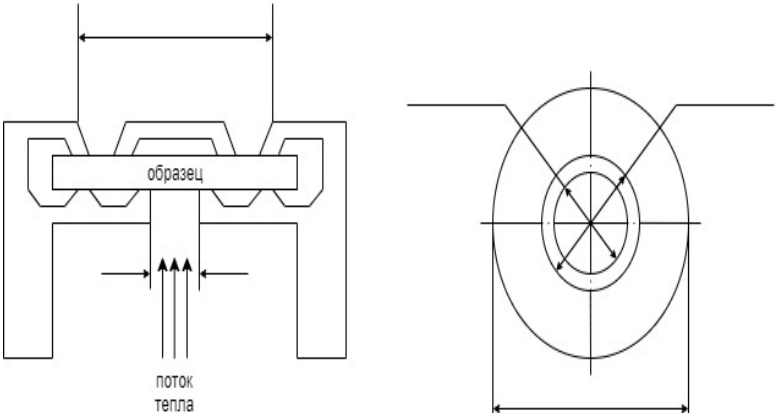


Рис. 1**.** Схема держателя для измерения тепловых свойств тонких пленок и основные параметры для моделирования

Поток энергии от лазерного импульса распространяется в объеме образца посредством теплопроводности по закону Фурье

$$\mathbf{q} = -\kappa\nabla T, \quad (2)$$

что приводит к повышению температуры на противоположной стороне образца. Здесь $\mathbf{q}$ - вектор плотности теплового потока, T- температура.

Распределение температуры в заданной области пространства и ее изменение во времени описывается основным уравнением теплопроводности:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{q} = 0. \quad (3)$$

Граничные условия для облучаемой поверхности:

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = q_b, \quad (4)$$

где $\mathbf{n}$ - вектор нормали к поверхности теплообмена, q_b – плотность теплового потока от импульса лучистой энергии. Для остальных поверхностей было использовано граничное условие радиационного теплообмена и конвекционного теплообмена.

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \varepsilon\sigma(T_{amb}^4 - T^4), \quad (5)$$

$$q_0 = \alpha \cdot (T_{ext} - T). \quad (6)$$

Здесь σ - постоянная Стефана–Больцмана, ε - степень черноты тела, T_{amb} - температура окружающей среды, T_{ext} - температура газообразного азота. Значение ε принималось равным 0,9. Значение T_{amb} было принято равным 293,15 K.

Расчет неопределенности измерений проводился по формуле:

$$\delta = \frac{s}{\bar{\kappa}} \cdot 100\% \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\left(k_c - \bar{k}\right)^2 + \left(k_t - \bar{k}\right)^2}{2}}, \quad (8)$$

где $\bar{\kappa}$- среднее арифметическое табличного (k_t) и расчетного (k_c) значений коэффициентов теплопроводности.

Результаты моделирования

В модифицированном методе анализируется изменение температуры, вызванное распространением теплоты в радиальном направлении от области облучения импульсом. В методе Паркера в классическом исполнении области облучения и анализа находятся на противоположных сторонах образца. Результаты моделирования показали, что по сравнению с обычным методом Паркера, где время измерения подъема температуры для образцов толщиной менее 100 мкм сопоставимо со временем лазерного импульса, время отклика температуры в модифицированном методе значительно возросло. Это связано с различными путями распространения тепла к области анализа. При исследовании тепловых свойств в радиальном направлении существенную роль играет не только толщина образца, но и его радиус. Для образцов с коэффициентом теплопроводности выше 7 Вт/(м·К) время температурного отклика составляет около 0,5 с, для теплоизоляторов с коэффициентом теплопроводности ниже 0,5 Вт/(м·К) – 2-3 с.

В работе было показано, что зависимость коэффициента температуропроводности α от $1/t_{1/2}$ является пропорциональной:

$$\alpha = \frac{K}{t_{1/2}}, \quad (9)$$

где *K*- постоянная, которая зависит от размеров экранов.

Благодаря данной модификации время измерения температурного отклика тыльной стороны образца увеличилось. Результаты моделирования показали (рис. 2), что для большинства веществ с высоким коэффициентом теплопроводности наблюдается линейная зависимость между двумя этими величинами, как и представлено в работе. Для веществ с низким коэффициентом теплопроводности наблюдаются небольшие отклонения.

Для материалов с коэффициентом теплопроводности выше 100 Вт/(м·К), таких как золото, медь, алюминий, коэффициент *K* имеет одинаковую характерную зависимость от толщины образца и не зависит от материала образца (рис. 3, а). Для данных материалов наблюдается незначительное увеличение коэффициента *K* при толщине образца менее 20 мкм.

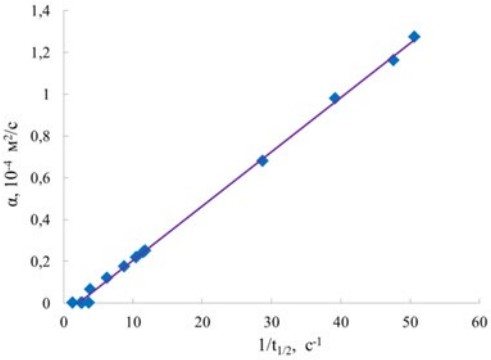


Рис. 2. Зависимость коэффициента температуропроводности α от $1/t_{1/2}$

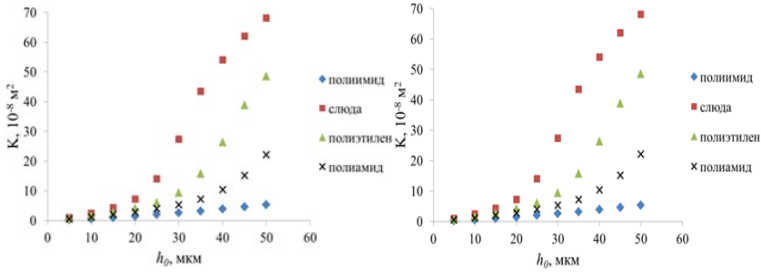
Для материалов с теплопроводностью ниже 100 Вт/(м·К), таких как висмут и сурьма, наблюдается незначительное уменьшение величины коэффициент К по сравнению с золотом, медью и алюминием. Отличие коэффициентов возрастает при толщине образца менее 20 мкм.

Для теплоизоляционных материалов при толщине менее 15 мкм коэффициент *K* не зависит от материала и толщины образца (рис. 3б). При увеличении толщины наблюдается рост коэффициента *K,* который зависит не только от толщины, но и от материала образца.

Средняя толщина графитового покрытия $h_1 = 10$ мкм [8]. Увеличение толщины графитового покрытия приводит к росту неопределенности измерения коэффициента теплопроводности (рис. 4). Для металлических образцов неопределенность измерений не превышает 7-10%, для теплоизоляционных материалов наблюдается значительный рост неопределенности измерений до 40%.

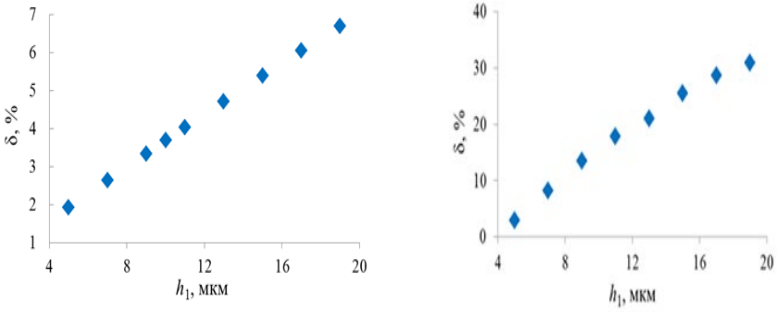
Заключение

Результаты проведенного моделирования показали, что для большинства металлических образцов с коэффициентом теплопроводности выше 30 Вт/(м·К), можно с достаточной точностью определить эталонный коэффициент *K*, который необходим для дальнейших расчетов коэффициента температуропроводности неизвестного образца. Для образцов с низкой теплопроводностью, коэффициент *K* зависит не только от толщины образца, но и от свойств материала образца. Это вызывает значительные трудности для измерения теплофизических свойств тонких образцов с низкой теплопроводностью из-за невозможности достаточно точно определить эталонный коэффициент *K* для расчета.



а) б)

Рис. 3. Зависимость коэффициента K толщины образца:
а) - для материалов с высокой теплопроводностью;
б) – для теплоизоляционных материалов



а) б)

Рис. 4. Зависимость неопределенности измерений от толщины графитового покрытия h_1: а) - для материалов с высокой теплопроводностью;
б) – для теплоизоляционных материалов

Нанесение графитового слоя приводит к росту неопределенности измерения, для металлических образцов при толщине слоя графитового покрытия 20 мкм неопределенность измерения не превышает 7 %. Однако для теплоизоляционных материалов неопределенность измерений повышается и может достигнуть 40 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90210.

Литература

1. Shinzato K., Baba T., A laser flash apparatus for thermal diffusivity and specific heat capacity measurements // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2001. 64(1). pp. 413–422.
2. Baba T., Taketoshi N., Yagi T. Development of ultrafast laser flash methods for measuring thermophysical properties of thin films and boundary thermal resistances // Japanese Journal of Applied Physics– 2011. – 50(11). – 11RA01.
3. 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. 32 (9). Pp. 167–168.
4. Corbin S. F., Turriff D. M., Thermal diffusivity by the laser flash technique // Characterization of Materials. – 2002. – Vol. 1. – Pp. 383–392.
5. 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. 60 (3). C. 317–321.
6. Shibata H., Ohta H., Waseda Y., New Laser-Flash Method for Measuring Thermal Diffusivity of Isotropic and Anisotropic Thin Films // Materials Transactions, JIM. 1991. Vo.32, No.9. C. 837–844.
7. Нищев К. Н., Новопольцев М. И., Беглов В. И., Окин М. А., Лютова Е. Н., Измерение температуропроводности тонких металлических слоев методом лазерной вспышки // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2015. –№ 4 (36). С. 101–110.
8. Lim K. H., Kim S. K. Chung M. K., Improvement of the thermal diffusivity measurement of thin samples by the flash method // Thermochimica Acta. – 2009. Т. 494. №. 1-2. Pp. 71–79.

The stereoisomeric peculiarities for liquid thermal conductivity of halopropens

Tsvetkov O. B., Mitropov V. V., Laptev Yu. A.

ITMO University,
Saint Petersburg, Russia

The attention of refrigeration industry recently increased for new family of organic compounds namely the olefins family refrigerants. The analysis of experimental data on the thermal conductivity in the liquid saturation line of 2,3,3,3-tetrafluoropropene, trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene, cis-1,3,3,3-tetrafluoropropene, trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene and cis-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene has been performed [1-6].

In this manuscript we survey available data and thermal conductivity correlations along the saturation line. Proposed correlations for the thermal conductivity were compared with the published experimental data. The calculations carried out in terms of agreement with experimental results indicate the influence of trans- and cis-isomerism on the thermal conductivity of halopropenes.

A prediction method for the stereoisomeric peculiarities for liquid state of propene family HCFO refrigerants is proposed. The ratio for calculation of thermal conductivity of cis- and trans-isomers of the considered haloolefins is suggested.

The equation taking into account this peculiarity allows, in principle, to estimate a priori the thermal conductivity of trans isomers of haloolefins, and to calculate thermal conductivity of cis isomers. The accuracy of such predictions, of course, can be judged only after the appearance of new experimental works on halopropenes.

Calculations of thermal conductivity R-1234ze(Z) and R-1234ze(E) give pre-conditions not to exclude a priori, at least, estimates of thermal conductivity of many still not investigated new propenes.

References

1. Alam M. J., Islam M. A., Kariya K., Miryara M. Measurement of thermal conductivity and correlations at saturated state of refrigerant trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (R-1233zd(E)) // Int. J. Refrig. – 2018. – Vol. 90. – Pp. 174–180.

2. Alam M. J., Yamaguchi K., Hori Y., Kariya K., Miyara A. Measurement of thermal conductivity and viscosity of cis-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R-1224yd(Z)) // Int. J. Refrig. – 2019. – Vol. 104. – Pp. 221–228.
3. Ishida H., Mori S., Kariya K., Miyara A. Thermal conductivity measurements of low GWP refrigerants with hot-wire method // 24th Int. Congress of Refrigeration (ICR), Yokohama, August 16–22, 2015, Japan.
4. Perkins R. A., Huber M. L. Measurement and correlation of the thermal conductivity of 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze(E)) // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – Vol. 56, №12. – Pp. 4868–4874.
5. Perkins R. A., Huber M. L., Assael M. J. Measurements and correlation of the thermal conductivity of trans-1-Chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233ze(E)) // J. Chem. Eng. Data. – 2017. – Vol. 62. – P. 2659–2665.
6. Grebenkov A. J., Hulse R., Pham H., Singh R. Physical properties and equation of state for trans-1,3,3,3-tetra fluoro propene // 3rd IIR conference on thermophysical properties and transfer processes of Refrigerants. Boulder, CO, 2009, USA.

Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода

Цветков О. Б., Митропов В. В., Лаптев Ю. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Рассматриваются экологические и энергооптимальные ориентиры экономики мирового сообщества, индустрии холода и низкотемпературной энергетики.

Рассматриваются экологические и энергооптимальные ориентиры экономики мирового сообщества, индустрии холода и низкотемпературной энергетики в контексте стратегических инициатив климатического саммита 2015 г. и Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу 2016 г. Доминантным условием устойчивого развития энергетического сектора на долгосрочную перспективу становятся вопросы изменения климата, проблемы антропогенных выбросов парниковых газов. Отмечены приоритетные тенденции развития глобальной энергетики, их роль в геополитике, экономике, в социальном прогрессе. Показана неразрывность вопросов энергетической безопасности, проблем энергоносителей, изменений в мировой энергетической политике в условиях современной парадигмы энергетического перехода, поскольку антропогенные выбросы диоксида углерода могут вызвать климатические изменения на планете. Присутствие в стратосфере Земли следов хладагентов – галогенопроизводных предельных углеводородов создает опасность разрушения озонового слоя Земли рабочими веществами техники низких температур. Неотложные меры по сохранению нашей планеты от пагубного ультрафиолетового излучения были приняты в сентябре 1986 г. и основаны на запрете хладагентов, содержащих хлор и бром в своей молекуле.

Галопроизводные предельных углеводородов признаны виновниками глобального потепления. Потенциал глобального потепления каждого из этих соединений может в тысячи, десятки тысяч раз превышать потенциал диоксида углерода. К тридцатым годам XXI века их место займут природные хладагенты и галоолефины [1].

Отмечено, что каждая низкотемпературная энергосистема по системе ИСО должна быть оценена величиной выбросов парниковых га-

зов за все время ее существования. Техника низких температур производит, по данным 2021 г., 7,9% мирового выброса парниковых газов, оцениваемых в 39 млрд тонн диоксида углерода.

Наступающий энергетический переход – новая парадигма. Одно из предлагаемых сегодня решений – производство энергии за счет возобновляемых источников – солнце, ветер, вода (кроме крупных ГЭС), термальные источники и биотопливо. Доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем балансе мирового энергопотребления ~ 7–9%, энергосектор дает 60–70% выбросов диоксида углерода.

Трансформация рынка топлива связана с развитием решений на основе водорода. Водородная энергетика – отрасль энергетики на основе использования водорода в качестве средства для аккумулирования, транспортировки, производства и потребления энергии.

Традиционный способ производства водорода – с использованием угля, более чистые способы – использование природного газа и электролиз с использование ВИЭ [2].

Литература

1. Coulomb. D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering// Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 3–7.
2. Радченко Р. В., Мокрушин А. С., Тюльпа В. В. Водород в энергетике. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 229 с.

Анализ методологии расчета локального теплообмена M. M. SHAH для условий миниканалов

Апицына О. С., Малышев А. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Представлено сопоставление экспериментальных значений локального теплообмена при кипении в миниканале с расчетом по оригинальной методике M.M. Shah. Представлена модернизированная версия методики с применением как расходных, так и истинных параметров.

Ключевые слова
Локальный теплообмен, коэффициент теплоотдачи, кипение в миниканалах.

Повышение эффективности работы теплообменных аппаратов – главный тренд снижения энергопотребления тепло-хладэнергетическими комплексами, что является основной мотивацией развития новых технологий аппаратостроения.

Перспективными можно считать миниканальные теплообменные аппараты, аппараты типа Micro-Plate, а также Spin Sell. Новые технологии активно применяются во многих сферах промышленности, но пока не получили широкого распространения в низкотемпературной технике. Данная проблема приводит к повышению требований к точности современных методик расчета теплообмена при кипении жидкостей в испарителях разного типа, а также их универсальности в реалиях быстроразвивающейся техники.

Наиболее точных результатов расчета теплоотдачи при движении рабочего вещества в стесненном пространстве можно добиться, используя коэффициент локальной теплоотдачи, отражающий изменение состояния рабочего вещества по мере движения потока [1]. При этом в качестве общего уравнения теплопереноса рассматривается зависимость

$$q_{\text{общ}} = q_{\text{кип}} + q_{\text{конв}} + q_{\text{исп}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{кип}}$ – составляющая пузырькового кипения на поверхности трубы, $q_{\text{конв}}$ – конвективная составляющая теплоотдачи, обусловленная вынуж-

денным движением жидкости, поступающей в трубу; $q_{\text{исп}}$ – составляющая конвективного испарения от межфазовой поверхности, которая обусловлена динамикой паросодержания по ходу кипящего потока.

Методология расчета локального теплообмена, разработанная M. Shah, может быть рассмотрена в соответствии с исходным уравнением теплопереноса (1). В основе данного метода расчета лежит конвективный теплообмен при вынужденном движении насыщенной жидкости в стесненном пространстве и четыре безразмерных критерия:

а) Число Фруда для жидкой фазы отражает влияние однофазной конвекции (вторая составляющая уравнения 1)

$$Fr' = \frac{(w\rho)^2}{(\rho'^2 g D_h)}. \quad (2)$$

б) Составляющая конвективного испарения выражена безразмерным параметром *N* и зависит от параметра конвекции *Co* и Fr'

$$Co = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0,8} \left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0.5}. \quad (3)$$

Для вертикальных труб с любым значением *Fr'* и горизонтальных труб с $Fr' \geq 0{,}04$ значение $N = Co$. Для горизонтальных труб с $Fr' \leq 0{,}04$ учитывается расслоение потока

$$N = 0{,}38(Fr')^{-0,3}Co. \quad (4)$$

в) Вклад пузырькового кипения в процесс теплоотдачи отражен в параметре кипения

$$Bo = \frac{q}{w\rho \cdot r}. \quad (5)$$

г) Критерий, учитывающий процесс парообразования в потоке

$$\psi_0 = \psi(1-x)^{0,8}. \quad (6)$$

Параметр ψ вычисляется в зависимости от полученных безразмерных критериев.

1. В случае, если *N*> 1,0, то получаем параметр ψ в режиме пузырькового кипения:

$$\psi_{nb} = 230Bo^{0,5}; Bo > 0{,}3 \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

$$\psi_{nb} = 1 + 46Bo^{0,5}; Bo < 0{,}3 \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

2. В случае, если 0,1 <N ≤ 1,0, то ψ рассчитывается для режима подавления пузырькового кипения

$$\psi_{bs} = FBo^{0,5}\exp(2{,}74N^{-0,1}) \quad (9)$$

3. В случае, если $N \leq 0{,}1$,

$$\psi_{bs} = FBo^{0,5} \exp(2{,}47N^{-0{,}15}), \quad (10)$$

где F – константа, зависящая от числа Bo.

Режим конвективного кипения вычисляется одинаково для всех вышеперечисленных случаев

$$\psi_{cb} = 1{,}8N^{-0{,}8} \quad (11)$$

В качестве ψ принимается наибольшее значение при сравнении параметров ψ_{nb} и ψ_{cb} либо ψ_{bs} и ψ_{cb}.

Локальный коэффициент теплоотдачи двухфазного потока выражается как

$$\alpha = \alpha_w \psi_0, \quad (12)$$

где коэффициент теплоотдачи жидкой фазы потока представлен уравнением Dittus-Boelter

$$\alpha_w = 0{,}023 \frac{\lambda'}{D_h} Re'^{0,8} Pr'^{0,4}. \quad (13)$$

Для сопоставления были взяты экспериментальные данные, отражающие теплообмен в микроканалах представленные в работе [3].

При использовании данной методологии в оригинальном исполнении можно заметить, что при малых значениях скорости $w\rho$ и массового паросодержания x теплоотдача в процессе будет определяться параметром ψ_{nb}, что соответствует начальным участкам процессов в миниканалах [4]. Однако при росте скорости и паросодержания параметр ψ практически сразу переходит в режим конвективного кипения, выраженный через обратную зависимость от параметра конвекции, что не может в должной мере отражать процессы, протекающие в миниканалах. Результаты расчета отражены на рис. 1, большая часть полученных значений не укладывается в погрешность 30%.

Наиболее точно картину течения потока в миниканалах отражает параметр ψ_{bs} поскольку он учитывает взаимное влияние пузырькового кипения и конвекции за счет экспоненциальной зависимости. Таким образом, для нахождения параметра ψ в данной методологии рекомендуется применять выражения (9) и (10).

Исследованиями А.А. Малышева, К.В. Киссер, Ф. Куадио доказано, что наибольшую точность расчета теплообмена при кипении в трубах и каналах обеспечивают методы, основанные на истинном объемном паросодержании или, иначе говоря, на скольжении фаз. На этих исследованиях основана методология комплексного анализа тепло-гидродинамических процессов при кипении в трубах и миниканалах [5]. С учетом

данных исследований методология расчета M. Shah была модернизирована путем внедрения истинных параметров.

Уравнение (6) преобразовано путем замены массового расходного паросодержания на истинное:

$$\psi_0 = \psi(1-\varphi)^{0,8}. \quad (14)$$

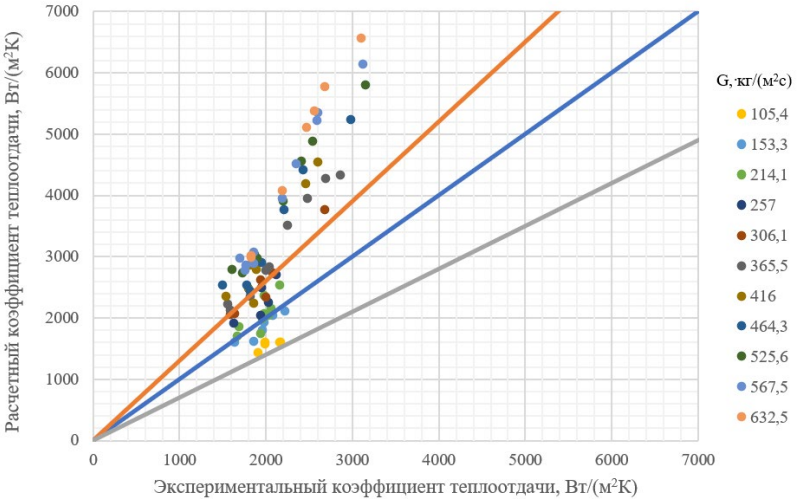


Рис. 1. Сравнение экспериментальных значений коэффициента теплоотдачи в микроканалах с рассчитанными по методологии M. Shah

Расчет числа Рейнольдса в уравнении (13) производится с помощью истинной скорости жидкой фазы, а гидравлический диаметр заменен на эквивалентный:

$$\alpha_w = 0,023\frac{\lambda'}{d'_{\text{экв}}}Re'^{0,8}Pr'^{0,4}, \quad (15)$$

$$d'_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(1-\varphi)f_{\text{сеч}}}{0,785}}. \quad (16)$$

На рис. 2 представлено сравнение результатов расчета по расходным и истинным параметрам с применением параметра ψ_{bs}. Можно заметить, что в обоих случаях расчеты дают удовлетворительные результаты в границах погрешности в 30%. При этом расходные параметры

дают наибольшие отклонения при повышении x. При любых массовых скоростях и x> 0,23 отклонения выходят за границы погрешности.

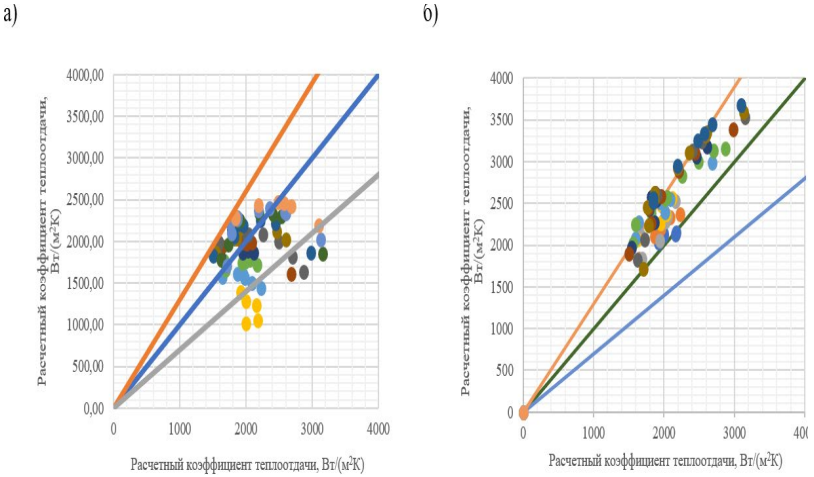


Рис. 2. Сравнение экспериментальных значений коэффициента теплоотдачи в микроканалах с рассчитанными по модернизированной методологии M. Shah с применением расходных (а) и истинных (б) параметров

Результаты расчетов по истинным параметрам дают завышенные параметры коэффициента теплоотдачи, причем отклонение растет с ростом массовой скорости потока.

По результату анализа расчетных данных видно, что адаптированная методология M. Shah может быть применима для поиска локального коэффициента теплоотдачи в микроканалах. В случаях больших значений массового паросодержания более применим метод с использованием истинных параметров, а в случаях больших массовых скоростей с использованием расходных.

Литература

1. Малышев А. А., Малинина О. С., Калимжанов Д. Е., Сухов П. С., Куадио К. Ф. Сравнительный анализ расчета теплообмена при внутриканальном кипении хладагентов // Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 34–39.

2. Ейдеюс А. И., Никишин М. Ю., Кошелев В. Л. Теплоотдача при кипении хладагента в змеевиковых воздухоохладителях // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. №29. С. 31–38.
3. Khovalyg D. M., Baranenko A. V. Two-phase flow dynamics during boiling of R134a refrigerant in minichannels // Technical Physics. 2015. Vol. 85. No 3. pp. 34 – 41.
4. Malyshev A. A., Zaitsev A.V., Kouadio K. F. and Kisser K. V. Experimental research of hydrodynamic characteristics during boiling of refrigerants in mini-channels using true parameters of phases. August 2019. AIP Conference Proceedings 2141(1):030068. DOI: 10.1063/1.5122118.
5. Малышев А. А., Киссер К. В., Куадио К. Ф. Комплексные экспериментальные исследования тепло- гидродинамических процессов кипящих хладагентов в мини- (микро) каналах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Холодильная техника и кондиционирование. 2017. № 2. С. 12–17.

Анализ влияния заполняемости помещения людьми на уровень концентрации углекислого газа

Кропис Ю. Н., Сулин А. Б.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Система вентиляции с управлением по требованию (DCV) считается энергоэффективным решением вентиляции. Индикаторами для работы данной системы служат разные показатели, одним из таких является уровень концентрации углекислого газа (CO_2). Однако, эффективность работы системы может снижаться из-за возникновения дополнительного притока воздуха в помещение. В ходе данной работы была выявлена взаимосвязь уровня концентрации CO_2 в помещении и открывания двери, а также показана необходимость анализа концентрации CO_2 в удаляемом воздухе.

Ключевые слова
Вентиляция с управлением по требованию, концентрация углекислого газа, адаптивная система вентиляции.

Введение

Согласно современным тенденциям и требованиям нормативных документов с целью экономии энергии новые здания и сооружения строятся с воздухонепроницаемыми оболочками. В связи с этим возникает необходимость обеспечивать надежную и, в тоже время, энергоэффективную вентиляцию. К такому виду вентиляции относится вентиляция с управлением по потребности (DCV) – система, обеспечивающая вентиляцию в соответствии с потребностями, которые тесно связаны с количеством людей в помещении.

Было доказано, что в качестве индикатора потребности в вентиляции можно использовать концентрацию углекислого газа (CO_2). В своем исследовании Nassif предложил многозонную DCV систему, в которой контролировалась концентрация CO_2 в приточном воздухе [1]. Yang доказал, что комбинация DCV на основе CO_2 с циклом экономайзера потока наружного воздуха на основе энтальпии может обеспечить приемлемый уровень качества воздуха в помещении и более низкое потребление энергии теплообменником [2]. Fan с коллегами показали, что вентилятор с рекуперацией энергии (ERV), интегрированный со стратегией

управления спросом на CO_2, может снизить потребление энергии вентиляции на 60 % – 70 % в реальном офисном здании [3]. Однако стоит отметить, что снижение расхода воздуха в условиях низкой занятости хотя и приводит к экономии энергии, но часто ухудшает распределение воздуха в помещении и эффективность вентиляции. В связи с этим Hesaraki и Holmberg в своей работе предлагают, что даже в период отсутствия людей следует обеспечивать минимальный расход приточного воздуха [4].

Хотя предыдущие исследования доказали, что DCV имеет потенциал для снижения энергии, потребляемой вентиляцией в зданиях, DCV не всегда энергоэффективна. Это обусловлено тем, что в обслуживаемых помещениях люди могут вносить изменения в качество работы системы жизнеобеспечения, осуществляя естественную вентиляцию самостоятельно, например, открывая окна или двери на длительный промежуток времени. Чтобы предотвратить эту проблему, в качестве альтернативы вентиляции жилых помещений было предложено управление вентиляцией на основе CO_2, при котором потребность в вентиляции автоматически определяется на основе уровней концентрации CO_2.

В связи с этим целью данной работы было проведение ряда экспериментов для анализа закономерностей изменения уровня концентрации CO_2 в зависимости от количества людей в помещении, а также установить влияние продолжительности открытия дверей на концентрацию CO_2. На основе полученных данных планируется разработка адаптивной системы DCV с независимой регуляцией воздухообмена для каждого обслуживаемого помещения.

Материалы и методы

Целью измерений было выявить закономерность изменения уровня CO_2 в зависимости от количества людей в помещении и открытия дверей. Для этого в учебной аудитории Университета ИТМО были проведены в течение двух дней натурные измерения. Исследуемое помещение представляет собой типичную аудиторию, циркуляция воздуха в котором осуществлялась приточно-вытяжной вентиляцией с расходом 176 м³/ч на притоке и 132 м³/ч на вытяжке. С помощью видеокамеры фиксировалось, как менялась заполняемость помещения, а также положение двери в коридор. В аудитории были установлены датчики CO_2, по одному датчику в приточном и вытяжном воздуховодах. С их помощью регистрировались значения концентраций CO_2 в воздухе. На рисунке 1 показаны результаты полевых измерений.

Для рассматриваемого помещения было проведено математическое моделирование изменения уровня концентрации по уравнению (1) [5]:

$$C_{CO_2 in} = C_{CO_2 in(t=0)} + \frac{T_{in}}{p_{in}}\left(gN\frac{R}{\mu_{CO_2}V} + C_{CO_2 out}\frac{p_{out}}{T_{out}}ACH\right)t, \quad (1)$$

где C_{co2in} и C_{co2out} – концентрации углекислого газа внутреннего и наружного воздуха, соответственно, ppm; T_{in} и T_{out} – температуры внутреннего и наружного воздуха, соответственно, К; p_{in} и p_{out} – давления внутреннего и наружного воздуха, соответственно, Па; g - выделение CO_2 человеком, г/(ч*чел); N – количество людей в помещении; R – газовая постоянная; μ_{CO2} – молекулярная масса CO_2; АСН – кратность воздухообмена в помещении, $ч^{-1}$; t – время, ч.

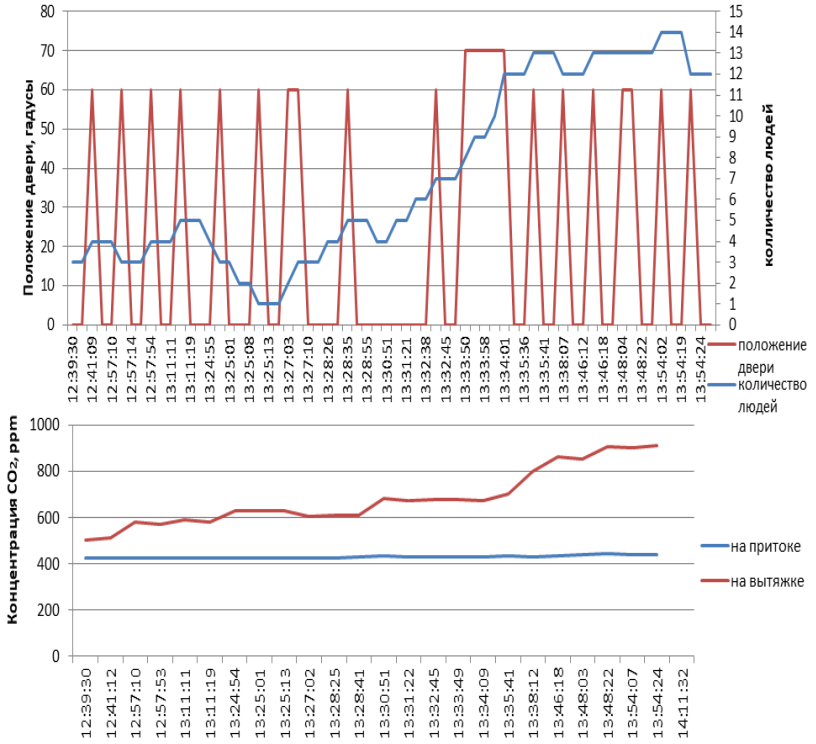


Рис. 1. Графики изменения концентрации CO_2 приточного и вытяжного воздуха, заполняемости помещения и положение двери

Во время эксперимента в учебной аудитории находились студенты первого курса бакалавриата, примерный возраст студентов находится в диапазоне 17 – 21 год. В данном возрастном диапазоне в состоянии покоя выделение CO_2 человеком составляет величину порядка 0,0044 л/с.

Результаты и обсуждение

Полученные данные эксперимента были сопоставлены с теоретическими данными и представлены на рисунке 2.

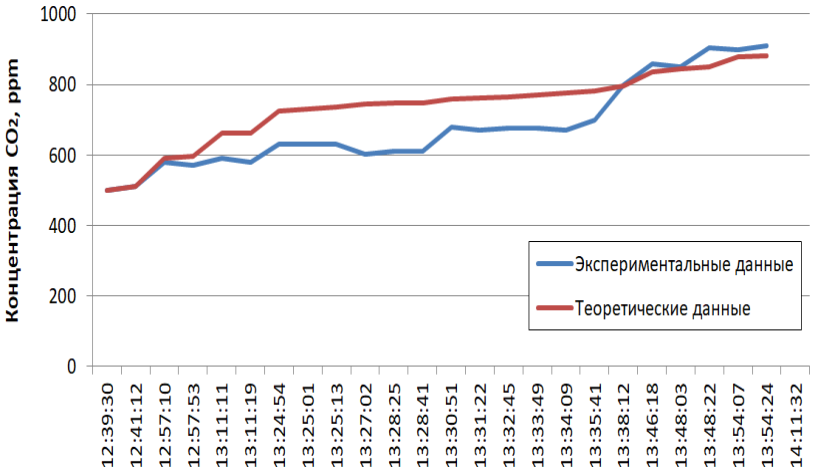


Рис. 2. График изменения концентрации CO_2 вытяжного воздуха

В результате проведенного эксперимента и выполненных вычислений установлено, что открывание дверей существенно влияет на уровень концентрации CO_2 в помещении за счет возникновения дополнительного притока воздуха, т.е. осуществления естественной вентиляции. Однако, при увеличении плотности людей в помещении экспериментальные данные приближаются к теоретическим, что свидетельствует о снижении влияния инфильтрации через открытую дверь на концентрацию CO_2.

Заключение

Полученные результаты доказывают необходимость анализа удаляемого воздуха из помещения для обеспечения энергоэффективной работы DVC системы. В связи с этим рекомендуется устанавливать датчик измерения уровня концентрации CO_2 в вытяжном воздуховоде с целью избежания влияния конфигурации помещения на получаемые данные.

Литература

1. Nassif N. A robust CO2-based demand-controlled ventilation control strategy for multi-zone HVAC systems //Energy and buildings. 2012. Т. 45. С. 72-81.

2. Yang X. B. et al. Evaluation of four control strategies for building VAV air-conditioning systems //Energy and Buildings. 2011. Т. 43. №. 2-3. С. 414–422.
3. Fan Y. et al. Field-based study on the energy-saving effects of CO2 demand-controlled ventilation in an office with application of energy recovery ventilators //Energy and buildings. – 2014. – Т. 68. – С. 412–422.
4. Hesaraki A., Holmberg S. Demand-controlled ventilation in new residential buildings: consequences on indoor air quality and energy savings //Indoor and Built Environment. – 2015. – Т. 24. – №. 2. – С. 162–173.
5. Rodero A., Krawczyk D. A. Carbon dioxide human Gains—A new approach of the estimation //Sustainability. 2019. Т. 11. №. 24. С. 7128.

Однокаскадная абсорбционная холодильная машина с солнечным коллектором комбинированного типа

Камара С., Сулин А. Б.

Университет ИТМО,

г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Системы охлаждения на основе солнечной энергии считаются логичным решением задач по борьбе с изменением климата. Тепловая эффективность солнечного коллектора комбинированного типа и производительность системы одноэффективного абсорбционного охлаждения H_2O/LiBr определяются в зависимости от погодных условий города Бамако. Для эффективного использования системы температура генератора устанавливается на уровне 85°C, а температура конденсатора и абсорбера - на уровне 40°C при температуре испарения 10°C.

Ключевые слова

Абсорбционное охлаждение, солнечный коллектор, солнечная энергия.

Введение

Солнечная энергия (СЭ) изобильна, неисчерпаема и не влияет на окружающую среду [1]. Страны с высоким солнечным потенциалом проявляют особый интерес к использованию СЭ, например, такие как Мали с ежемесячным потенциалом СЭ 205 кВтч/м^2 [2].

СЭ используется для производства электроэнергии, а также в системах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения вместе с абсорбционными холодильными машинами в соответствии с рекомендациями Киотского протокола. Поскольку спрос на охлаждение увеличивается с увеличением интенсивности солнечного излучения, солнечное охлаждение определенно является логичным решением [1], [3], [4].

В литературе представлен обзор различных систем солнечного охлаждения, их технологий проектирования и эксплуатации, а также сравнительное исследование с точки зрения коэффициента преобразования (COP), энергоэффективности и стоимости [4], [3], [5].

Комбинация термоэкономического анализа и многоцелевой оптимизации системы солнечного охлаждения NH_3/H_2O производительностью 10 кВт с одним каскадом представлена в [6]. Исследования однокаскад-

ных абсорбционных охлаждающих машин (ОАОМ) H_2O/LiBr, работающих на теплоте от солнечного коллектора, описаны, например, в [7], [8], [9], [10].

Цель данного исследования состоит в обосновании эффективной работы ОАОМ H2O/LiBr, подключенной к солнечному коллектору комбинированного типа (СККТ), который использует горячий потенциал Солнца и холодный потенциал Космоса.

Описание

Солнечный коллектор комбинированного типа

Мы предлагаем СККТ с одним радиатором для солнечного нагрева и ночного охлаждения. Днем СККТ нагревает воду в баке 1 за счет тепловой энергии, генерируемой солнечным излучением, а ночью снижает температуру воды в баке 2 за счет теплового излучения в Космос (рисунок 1).

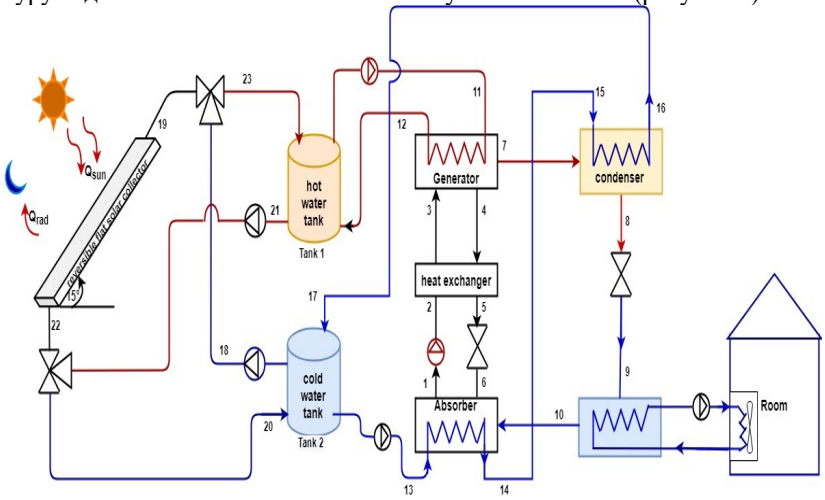


Рис. 1. Структура абсорбционной системы охлаждения с СККТ

СККТ состоит из остекления, селективного поглотителя и теплоизоляции. В этом исследовании мы будем рассматривать солнечный селективный поглотитель, уже изученный в работах [11] и [12]. Эта солнечная поглощающая пластина на основе титана состоит из алюминиевой подложки толщиной 400 мкм и солнечного поглощающего покрытия толщиной 200 нм. Эта композитная пластина называется собирающей пластиной TPET. Задний изоляционный слой изготовлен из пенополиуретана толщиной 50 мм. Собирающая пластина имеет площадь 1700 мм×1008 мм и толщину около 0.4 мм.

Цикл абсорбционной системы охлаждения

В правой части рисунка 1 показана схема, соответствующая циклу одноступенчатого абсорбционного охлаждения H_2O/ LiBr. Горячая вода из СККТ через накопительный бак используется в генераторе для испарения водяного пара из слабого раствора. Водяной пар из генератора состояния (7) конденсируется в конденсаторе до состояния (8), а затем проходит через расширительный клапан до состояния (9) и направляется в испаритель. В испарителе вода снова испаряется под низким давлением, поглощая тепло из окружающей среды и обеспечивая охлаждающий эффект, необходимый для перехода в состояние (10).

Горячий крепкий раствор, выходящий из генератора в состоянии (4), по пути к абсорберу проходит через теплообменник раствора и выходит в состоянии (5) для обмена теплом с холодным слабым раствором, выходящим из абсорбера. В абсорбере крепкий раствор поглощает водяной пар, выходящий из испарителя в состоянии (10), и становится слабым раствором. Слабый раствор перекачивается через теплообменник раствора и поступает в генератор в состоянии (3). Солнечная энергия, собираемая коллектором, накапливается в накопительном баке 1 для подачи в генератор.

В этом исследовании будет рассмотрен режим работы однокаскадной абсорбционной холодильной машины мощностью 17.6 кВт марки YAZAKI, работающей от СККТ. Требуемая площадь солнечного коллектора составляет 50 - 60 м^2.

Математическое моделирование

Математическое моделирование всей системы охлаждения требует отдельного моделирования абсорбционной системы и СККТ.

Моделирование СККТ

Работа в дневное время

Из уравнений энергетического баланса и формул, уже разработанных для аналогичных исследований, таких как в [1, 10, 12], и в [14-18], мы находим следующее выражение для термической эффективности предложенного нами СККТ:

$$\eta_{th} = 0.73 - 6.69\frac{T_{fi} - T_a}{G} \quad , \tag{1}$$

где η_{th}- термическая эффективность СККТ, T_{fi} - температура воды на входе в коллектор, К, T_{fa}- температура окружающей среды, К, G - тепловой поток от солнечной радиации, Вт/м^2.

Массовый расход СККТ рассчитывается на основе удельного массового расхода в соответствии с [13] [14] :

$$m_c = 0.02 * A_c \, , \tag{2}$$

где $\dot{m}_c$ и A_c представляют собой массовый расход и площадь СККТ соответственно. Единичная площадь исследованного солнечного коллектора составляет 1.71 м^2

Работа в ночное время

Мощность охлаждения СККТ во время его ночной работы определяется следующим выражением [12]

$$P_{cool} = \frac{\dot{m}_c c_p (T_{fi} - T_{fo})}{A_c} \quad , \tag{3}$$

где P_{cool}- мощность охлаждения СККТ, T_{fi} и T_{fo} - температуры воды на входе и выходе из коллектора, соответственно, c_p – удельная теплоемкость рабочей жидкости со значением 4185 кДж/(кг · К), $\dot{m}_c$ и A_c представляют собой массовый расход и площадь СККТ соответственно.

Моделирование процесса однокаскадного абсорбционного охлаждения

Моделирование основано на балансах массы и энергии для каждого элемента цикла. Предполагается, что режим работы стационарный.

Основные формулы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Баланс массы и энергии

Обозначение	**Формула**
Баланс массы и энергиигенератора	$\begin{cases} \dot{m}_{ws} = \dot{m}_r + \dot{m}_{ss} \\ \dot{m}_{ws} * X_{ws} = \dot{m}_{ss} * X_{ss} \end{cases}$ (4) (5) $\begin{cases} \dot{m}_{ws} = \dfrac{X_{ss}}{X_{ss} - X_{ws}} \dot{m}_r \\ \dot{m}_{ss} = \dfrac{X_{ws}}{X_{ss} - X_{ws}} \dot{m}_r \end{cases}$ (6) (7) $\begin{cases} \dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_9 = \dot{m}_{10} = \dot{m}_r \\ \dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_{ss} \\ \dot{m}_3 = \dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m}_{ws} \end{cases}$ (8) (9) (10) $\dot{Q}_g = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3$ (11)
Баланс энергии теплообменика	$T_5 = T_4(1 - X_{SHE}) + X_{SHE} T_2$ (12) $h_3 = \dfrac{\dot{m}_4}{\dot{m}_2}(h_4 - h_5) + h_2$ (13)
Баланс энергии абсорбера	$\dot{Q}_a = \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_1 h_1$ (14)
Баланс энергии конденсора	$\dot{Q}_c = \dot{m}_7 (h_7 - h_8)$ (15)
Баланс энергии испарителя	$\dot{Q}_e = \dot{m}_9 (h_{10} - h_9)$ (16)

COP при охлаждении	$\varepsilon = COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g}$	(17)
COP Карно	$\varepsilon_c = COP_c = \left(\frac{T_g - T_a}{T_g}\right)\left(\frac{T_e}{T_c - T_e}\right)$	(18)
Эффективность	$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c}$	(19)
COP системы	$COP_{syst} = \varepsilon * \eta = \frac{\dot{Q}_e}{A_c * G_t}$	(20)

Результаты и обсуждение

Для моделирования используются данные о погоде Бамако, столице Республики Мали (широта северная 12.65°, долгота восточная 8°, высота над уровнем моря 337 м), а также характеристики СККТ и температурные диапазоны для основных компонентов машины с однокаскадным абсорбционным охлаждением.

Средняя дневная температура воздуха в летний период в Бамако колеблется от 35 °C до 40 °C. Температура конденсации θ_K для водяного конденсатора определяется следующим выражением:

$$\theta_K = \theta_h + 10\ ℃,$$

где θ_h - температура влажного термометра для окружающего воздуха. Предполагается, что температура в конденсаторе и абсорбере одинакова. В данном исследовании мы варьировали температуру на разных компонентах, чтобы найти эффективные рабочие значения.

Когда температура генератора составляет 90°C при $\theta_K = \theta_a = 40$ °C, холодильный коэффициент является максимальным (ε=0.83) при $\theta_E = 7$ и 12 °C, но COP системы максимален при $\theta_E = 7$ °C.

С другой стороны, если поддерживать температуру генератора на уровне 90°C и изменить температуру конденсатора и поглотителя на 35°C, COP составит 0,82 при $\theta_E = 7$°C, но COP системы будет низким и составит 0,44.

При температуре $\theta_G = 85$ °C на генераторе и температуре конденсатора и абсорбера $\theta_K = \theta_a = 40$ °C максимальный COP составляет 0.87 при $\theta_E = 10$ °C, а устойчивость системы также высока при значении $\varepsilon_{syst} = 0.64$. При той же температуре генератора изменим температуру на конденсаторе и абсорбере, $\theta_K = \theta_a = 35$ °C. Тогда максимальный COP составляет 0.85 при $\theta_E = 10$ °C, но при низком COP системы около 0.46. Различные результаты, полученные в ходе моделирования, приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2.

Для $\theta_G = 90°C$.

$T_G/T_c/T_a$ [°C]	90/40/40				90/35/35			
T_E[°C]	ε	ε_c	η	ε_{syst}	ε	ε_c	η	ε_{syst}
5	0.80	1.09	0.73	0.58	0.79	1.40	0.56	0.44
7	0.83	1.17	0.71	0.59	0.82	1.52	0.54	0.44
10	0.81	1.30	0.62	0.50	0.80	1.72	0.47	0.37
12	0.83	1.40	0.59	0.49	0.82	1.88	0.44	0.36

Таблица 3.

Для $\theta_G = 85°C$

$T_G/T_c/T_a$ [°C]	85/40/40				85/35/35			
T_E[°C]	ε	ε_c	η	ε_{syst}	ε	ε_c	η	ε_{syst}
5	0.77	1.00	0.77	0.59	0.80	1.29	0.62	0.49
7	0.82	1.07	0.77	0.63	0.83	1.40	0.59	0.49
10	0.87	1.19	0.73	0.64	0.85	1.58	0.54	0.46
12	0.83	1.28	0.65	0.54	0.84	1.73	0.49	0.41

Заключение

Комплексный анализ ОАОМ H2O/LiBr с СККТ для региона с жарким климатом позволил определить эффективные рабочие параметры ее различных компонентов. Для эффективного применения ОАОМ необходимо установить температуру генератора на 85 °C, а температуру конденсатора и абсорбера на 40°C при температуре испарения рабочего хладагента $\theta_E = 10°C$. В результате COP системы составит 0.64 при холодильном коэффициенте 0.87.

Литература

1. Bellos E. et al., Energetic, exergetic and financial evaluation of a solar driven absorption chiller–A dynamic approach, Energy Conversion and Management 137. 2017. Pp. 34–48.
2. Européenne C., SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE PHOTOVOLTAQUE (PVGIS), en ligne.

3. Kim D. S., Infante Ferreira C. A., Solar refrigeration options – a state-of-the-art review//International Journal of Refrigeration, Vol. 31, Issue 1, 2008, Pages 3–15, ISSN 0140–7007.
4. Ali Shirazi et al., Solar-powered absorption chillers: A comprehensive and critical review, Energy Conversion and Management, Volume 171, 2018, Pages 59–81, ISSN 0196–8904.
5. Abdul Ghafoor, Anjum Munir, Worldwide overview of solar thermal cooling technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 43, 2015, Pages 763–774, ISSN 1364–0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.073.
6. Javad Asadi et al., Thermo-economic analysis and multi-objective optimization of absorption cooling system driven by various solar collectors, Energy Conversion and Management, Volume 173, 2018, Pages 715–727, ISSN 0196–8904.
7. Ochoa A. A. V., et al. "The influence of the overall heat transfer coefficients in the dynamic behavior of a single effect absorption chiller using the pair LiBr/H2O." Energy Conversion and Management 136. 2017. pp. 270–282.
8. Li, Ming, et al. "Experimental investigation on the performance of a solar powered lithium bromide–water absorption cooling system." International journal of refrigeration 71. 2016. Pp. 46–59.
9. Prasartkaew, Boonrit. "Performance test of a small size LiBr-H2O absorption chiller." Energy Procedia 56. 2014. pp. 487 – 497.
10. Saleh, A., and M. Mosa. "Optimization study of a single-effect water–lithium bromide absorption refrigeration system powered by flat-plate collector in hot regions." Energy conversion and management 87. 2014. Pp. 29–36.
11. Hu, Mingke, et al., Field test and preliminary analysis of a combined diurnal solar heating and nocturnal radiative cooling system // Applied energy, 2016, vol.179, pp. 899–908.
12. Hu, Mingke, et al. "Numerical study and experimental validation of a combined diurnal solar heating and nocturnal radiative cooling collector, Applied Thermal Engineering, vol.145, 2018, pp. 1–13.
13. Kalogirou, Soteris A. Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press, 2013.
14. Duffie, John A., and William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.
15. Allan, James, et al. "Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors." Energy Science & Engineering, vol. 3.4, 2015, pp. 310–326.

16. Ji, Jie, et al. "Experimental investigation of tri-functional photovoltaic/thermal solar collector." Energy conversion and management, vol. 88, 2014. pp.650–656.
17. Brahimi, Etude de performances d’un capteur solaire plan à eau, hal-01825548, 2016.
18. Löf, George OG, and Tybout Richard Alton "The design and cost of optimized systems for residential heating and cooling by solar energy, Solar Energy, vol. 16.1, 1974. pp. 9–18.

Теплоемкость нерафинированного подсолнечного масла с различной концентрацией микрокомпонентов

Волков С. М. [1], Крылов В. А. [2], Федоров А. В. [1,2],

Тамбулатова Е. В.[2], Федоров А. А.[2], Прохорова Л. Т.[1]

1 – ВНИИЖиров,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Для построения адекватных математических моделей процессов тепловой обработки подсолнечных масел, балансовых энергетических расчетов необходимы уточнённые данные по теплоемкости в зависимости от состава растительных масел. Установлена зависимость удельной теплоемкости от содержания микрокомпонентов в подсолнечном масле при температурах 20–140 °С.

Ключевые слова
Теплоемкость, подсолнечное масло, макрокомпоненты, микрокомпоненты, триацилглицерины, микрокомпоненты, α-токоферол, фосфатиды.

Растительные масла на 93–98% состоят из триацилглицеринов высших насыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот, которые могут быть определены в качестве макрокомпонентов растительных масел. В этой смеси триацилглицеринов растворены важные биологически активные вещества - фосфатиды (фосфолипиды) (около 3%), представленные в основном глицерофосфолипидами, играющими важную роль во внутриклеточных процессах организма человека; α – токоферол (витамин Е) (до 0,2%), который не синтезируется в организме человека, но выполняет во внутриклеточных процессах важнейшую антиокислительную функцию; стерины (около 0,3%); моноацилглицерины (около 1%); диацилглицерины (около 2%); воск (до 0,4); свободные жирные кислоты (до 2%) и ряд других химических веществ. Эти компоненты растительных масел принято называть сопутствующими или микрокомпонентами.

Биохимическая роль различных компонентов растительных масел в организме человека изучена достаточно хорошо [2], однако характер их

влияния на структуру жидкого состояния растительных масел и их теплофизические свойства системно не исследованы. Подсолнечное масло ценится за высокое содержание ненасыщенных жирных кислот и наличие относительно большого количества витамина Е и фитостеролов [3]. Растительные масла состоят из триглицеридов высших жирных кислот. Массовая доля триглицеридов в маслах 93–98%. Остальные вещества, растворенные в масле, принято называть сопутствующими. Одними из самых важных являются фосфорсодержащие вещества - фосфатиды или фосфолипиды. Вместе с тем количественное содержание микроэлементов влияет на его физические свойства.

В производственном цикле подсолнечное масло подвергается многократному интенсивному нагреву и остыванию, то есть переменному тепловому воздействию. В процессах динамической теплообработки наиболее важным теплофизическим свойством подсолнечного масла является теплоемкость. Максимально объективные данные по этой физической величине в зависимости от ее состава и температуры необходимы не только для расчета энергетического баланса. Правильный расчет теплообмена позволяет обеспечить необходимый высокий температурный градиент и понизить верхний уровень рабочих температур, что положительно сказывается как на энергоэффективности процессов, так и на качестве готового продукта.

В работе показано [3], что удельная теплоемкость однозначно зависит не только от жирнокислотного состава растительных масел, но и от содержания сопутствующих веществ. Авторы [4] в представленных результатах своих исследований воспользовались комплексным подходом к изучению реологических и теплофизических свойств растительных масел, охватывающим большой практический диапазон режимных параметров.

Состав жиров и жировых продуктов существенно влияет на формирование физических и физико-химических свойств. По многочисленным публикациям на эту тему [5, 6, 7] очевиден повышенный интерес к ней. В статье [8] более подробно рассматриваются проблемы переноса массы и энергии в сложных средах. Но для этого все равно необходимы подробные экспериментальные данные по теплоемкости продуктов. Это подтверждает актуальность выбранной нами области исследования.

В современных энергоэффективных процессах маслопереработки все большее внимание уделяется сохранению уникальных природных свойств растительных масел, связанных с наличием в нем разнообразных микрокомпонентов.

Подсолнечные масла высокоолеинового и линолевого типов отличаются широким спектром концентраций содержащихся в них компонен-

тов. Это важное свойство наряду с их доступностью позволяет использовать образцы этих масел в качестве исследовательских моделей состава более редких видов растительных масел для системного исследования характера зависимостей теплофизических свойств растительных масел не только от их макрокомпонентов - триацилглицеринов различного состава, но и от их микрокомпонентов. Так в работе [9] впервые были получены результаты о характере зависимости удельной теплоемкости от макрокомпонентов жирнокислотного состава высокоолеиновых типов подсолнечных масел в сравнении с подсолнечными маслами линолевого типа во всём диапазоне изменения содержания МЖК и ПНЖК. Применение этой же методики позволило обнаружить и исследовать характер зависимости удельной теплоёмкости подсолнечного масла линолевого типа от содержания в нём фосфатидов в интервале концентраций 18–968 мг/100 г, а также установлена зависимость эффективной динамической вязкости от концентрации фосфатидов для тех же образцов подсолнечного масла [10].

В соответствие с системной программой изучения зависимости удельной теплоемкости от состава растительных масел нами были приготовлены и исследованы образцы подсолнечного масла линолевого типа с различным содержанием α – токоферола в интервале концентраций 39–452 мг/100 г. Концентрации соответствовали содержанию этого микрокомпонента подсолнечного масла в природных образцах.

На рисунке 1 и на рисунке 2 представлены зависимости удельной теплоемкости нерафинированного подсолнечного масла от концентрации α – токоферола и фосфатидов [10] при температурах 40 °С и 100 °С соответственно.

Полученные зависимости показывают, что удельная теплоёмкость для модельных образцов нерафинированного подсолнечного масла, содержащих α – токоферол в интервале концентраций 39–452 мг/100 г, увеличивается при повышении концентрации этого микрокомпонента. Однако это увеличение по сравнению с аналогичными данными для фосфатидов, существенно меньше. Такой характер влияния концентраций α – токоферола на удельную теплоёмкость подсолнечного масла может иметь следующие объяснения:

- различие структурных формул α – токоферола и глицерофосфолипидов: α-лецитина и кефалина. Структурная формула существенно влияет на энергию ван-дер-ваальсовых взаимодействий микрокомпонентов с триацилглицеринами в трёхмерном пространстве жидкой фазы подсолнечного масла.
- различная степень ионизации атома водорода в гидроксильных группах α – токоферола и глицерофосфолипидов: α – лецитина и кефалина, что, в свою очередь, влияет на энергию их

водородных связей с молекулами триацилглицеринов, выступающих в роли растворителя.

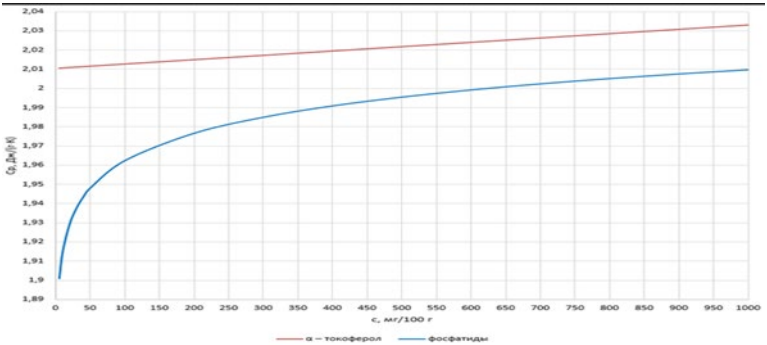


Рис. 1. Зависимость удельной теплоемкости нерафинированного подсолнечного масла от концентрации α – токоферола и фосфатидов при температуре 40 °С

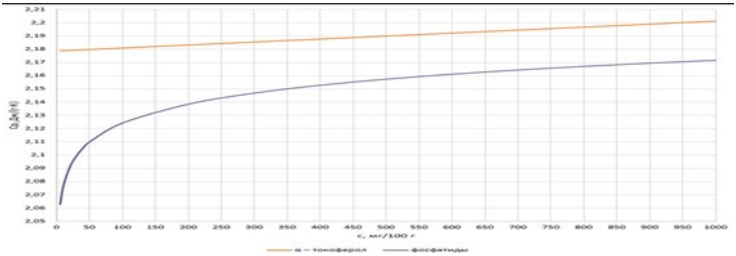


Рис. 2. Зависимость удельной теплоемкости нерафинированного подсолнечного масла от концентрации α – токоферола и фосфатидов при температуре 100 °С

Исследования характера зависимости теплофизических свойств растительных масел позволяют улучшать энергоэффективность технологических процессов не только за счет более точных измерений численных значений этих величин, но и за счет определения граничных условий процессов тепломассообмена, которые определяются с использованием адекватной модели структуры жидкого состояния растительных масел.

Литература

1. Sánchez-Muniz FJ, Bastida S, Bened J (2016). Sunflower Oil. Encyclopedia of Food and Health. Pp. 217–226.
2. Spring O. Sesquiterpene lactones in sunflower oil //LWT. 2021. Т. 142. С. 111047.
3. Santos J. C. O. et al. Comparative study of specific heat capacities of some vegetable oils obtained by DSC and microwave oven //Journal of thermal analysis and calorimetry. – 2005. – Т. 79. – №. 2. – С. 283–287.
4. Остриков А. Н. Клейменова Н. Л., Болгова И. Н., Копылов М. В. Исследование теплофизических и реологических свойств пищевых растительных масел //Ползуновский вестник. – 2021. – №. 2. – С. 36–43.
5. Cruz-Forero, D.; González-Ruiz, O; López-Giraldo, L. Calculation of thermophysical properties of oils and triacylglycerols using an extended constituent fragments approach. Ciencia, TecnologíaandFuturo**5(1)**, pp. 67–82, doi:10.29047/01225383.212. 2012.
6. Edwin, E.; Garcia, R.; Jane, S.R.; Telis-Romero, J. Thermophysical properties of cotton, canola, sunflower and soybean oils as a function of temperature. International Journal of Food Properties**16(7)**, pp. 1620–1629, doi:10.1080/10942912.2011.604889. 2013.
7. Sonkamble, A.; Sonsale, R.P.; Kanshette, M.S.; Sarode, A.V. Relaxation dynamics and thermophysical properties of vegetable oils using time-domain reflectometry. European Biophysics Journal**46**. 2017. Pp. 283–291, doi:10.1007/s00249-016-1165-7.
8. Saleem M.; Hossain M.A; Saha S.C.; Gu. Y.T. Heat transfer analysis of viscous incompressible fluid by combined natural convection and radiation in an open cavity. Mathematical Problems in Engineering. 2014. Pp. 1–14. doi:10.1155/2014/412480.
9. Федоров А. В., Баранов И. В., Тамбулатова Е. В., Волков С. М., Прохорова Л. Т., Крылов В. А. Исследование температурных зависимостей удельной теплоемкости рафинированных подсолнечных масел от их состава методом дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1(70). С. 52–63.
10. Fedorov A.V., Volkov S. M., Novoselov A. G., Fedorov A. A., Tambulatova E. V. and Krylov V. A. Influence of Phosphatide Content in the Unrefined Sunflower Oil on Its Thermal and Rheological Properties. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 852. 2021. 012032 doi: 10.1088/1755-1315/852/1/012032.

Оптимальное проектирование низкотемпературного пластинчато-ребристого теплообменника

Шерматова Ф. М., Зайцев А. В., Артемьев Д.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Процесс проектирования теплообменного аппарата заключается в создании расчетной модели многопоточного аппарата с многокомпонентными теплоносителями, описанной в работе, анализе и выборе критериев оптимальности, исследовании влияния всех возможных взаимных направлений потоков и непосредственно выборе оптимальных по заданным критериям конструктивных и режимных параметров.

Ключевые слова
Теплообменный аппарат, моделирование, эксергетический анализ, коэффициент теплопередачи, параметры оптимизации, критерии оптимизации.

В воздухоразделительных установках, ожижителях природного газа и других криогенных технологических системах наибольшее распространение получили витые, кожухотрубные и пластинчато-ребристые теплообменники. При проектировании таких аппаратов следует учитывать большое количество конструктивных и режимных параметров, от которых, в конечном счете, зависит эффективность теплообменника и эффективность всей установки. Полный цикл оптимального проектирования теплообменников включает выбор критериев оптимальности, математическое моделирование, создание и отладку расчетной модели, анализ результатов и выработку рекомендаций.

Для составления критериев оптимальности возможно применение следующих характеристик: массогабаритные – объем, поверхность, линейные размеры, масса; производительность – тепловая мощность, расход теплоносителя; гидравлические – потеря напора; экономические; термодинамические – на основе законов сохранения энергии; смешанные – на основе комплексных критериев. Большинство перечисленных характеристик в размерном или безразмерном виде непосредственно являются целевым функциями при оптимизации. Однако критерии, составленные на основе законов термодинамики, отличаются разнообразием.

В [1] получено расчетное уравнение для оценки эффективности работы теплообменников с учетом гидродинамической обстановки в аппарате и направления потоков относительно друг друга с помощью теплового КПД η_T. Однако этот критерий применим для двухпоточных рекуперативных аппаратов с теплоносителями в однофазном состоянии без учета потерь, обусловленных необратимостью процессов теплообмена и гидравлическим сопротивлением. В качестве альтернативы в [1] для двухпоточных теплообменников в рамках определенных ограничений температур и с учетом необратимости процессов предлагается применение эксергетического КПД η_E [1, 2].

В [3] в качестве показателя эффективности предлагают применять тепловую нагрузку аппарата по отношению к максимально возможной нагрузке противоточного теплообменника, вычисленной при аналогичной величине числа единиц переноса по среднеарифметической разнице температур потоков.

Обширный обзор результатов применения различными авторами метода минимизации генерации энтропии (EGM) проведен в [4]. Показано применение метода к потоку внутри трубы, к обтеканию поверхности потоком, к отдельным элементам теплоэнергетических установок без обобщения и приведения метода к универсальному виду.

Основным ограничением использования приведенных выше критериев при проектировании теплообменников является невозможность с их помощью оценивать эффективность современных многопоточных аппаратов. Многие предлагаемые критерии не применимы в случае необходимости учета наличия фазовых переходов теплоносителей. Вероятно, именно поэтому с целью исключения этих и других ограничений, как показывает анализ последних публикаций, в качестве энергетического показателя эффективности применяется эксергетическая оценка. Например, в [5] для оценки эффективности отдельного многопоточного аппарата в составе установки вводится три эксергетических и три эксерго-экономических характеристики.

Для определенности будем рассматривать теплообменные аппараты, применяемые при ожижении природного газа: витые, кожухотрубные и пластинчато-ребристые. Теплоносители в теплообменниках – это многокомпонентные углеводородные смеси. Взаимное расположение и фазовое состояние потоков любое. Каждый из потоков, может быть, в одном из трех фазовых состояний: жидкость, двухфазная смесь на линии насыщения, пар.

Балансы плотности энергии (Вт/м2) для однофазного и двухфазного потоков приведены в уравнениях (1) и (2):

$$c_p G \frac{dT}{dF} = k\Delta T, \quad (1)$$

$$rG \frac{dx}{dF} = k\Delta T, \quad (2)$$

где левая часть уравнения – это количество теплоты, затрачиваемое на нагрев (охлаждение) однофазного потока в уравнении (1) или на испарение (конденсацию) теплоносителя в уравнении (2) на участке поверхности теплопередачи dF; правая часть уравнения – количество передаваемой потоку теплоты от других потоков; T – температура, К; G – расход теплоносителя, кг/с; c_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); F – площадь поверхности теплопередачи, м^2;r – теплота парообразования, Дж/кг; x – массовое паросодержание; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К).

В общем случае каждый поток может обмениваться теплотой со всеми другими потоками. Обозначим двухфазные потоки индексами от 1 до m, а однофазные – от $(m + 1)$ до n. Пусть для определенности ($i \le m$). Тогда для потока i, контактирующего через стенку с потоком j можно записать:

$$r_i G_i \frac{dx_i}{dF_i} = \sum_{j=1}^{i-1} k_{ij}\left(T_i - T_j\right) + \sum_{j=i+1}^{n} k_{ij}\left(T_i - T_j\right) \text{ при } i \le m \quad (3)$$

$$c_{pi} G_i \frac{dT_i}{dF_i} = \sum_{j=1}^{i-1} k_{ij}\left(T_i - T_j\right) + \sum_{j=i+1}^{n} k_{ij}\left(T_i - T_j\right) \text{при } i > m. \quad (4)$$

Здесь dF_i – площадь поверхности теплопередачи от i-го потока к j-му на протяжении dl вдоль i-го потока.

Можно предположить, что, поскольку давление потока вдоль малого участка dF изменяется незначительно, то температуру двухфазного потока на линии насыщения можно считать константой, задаваемой на входе потока в этот участок аппарата. Тогда уравнения (3) и (4) составляют замкнутую систему относительно m массовых паросодержаний и $(n – m)$ неизвестных температур.

Перейдя от бесконечно малых приращений dF к конечным разностям, получаем систему разностных уравнений для расчета теплообменного аппарата. Укрупненный алгоритм решения можно описать следующим образом:

1. Задание конструктивных параметров аппарата, задание исходных характеристик входящих потоков.
2. Задание начального приближения рассчитываемых температур и паросодержаний.
3. Рассмотрение i-го потока.
4. Рассмотрение элемента dF_i вдоль движения потока. Расчет изменения паросодержания (3) или температуры (4) вдоль элемента dF_i.
5. Повтор п. 4 для всех потоков.
6. Переход к следующему шагу вдоль потока и повтор пунктов 3–5 вплоть до рассмотрения всех участков теплообменника вдоль потока.
7. Сравнение полученных на данной итерации массивов температур и паросодержаний с предыдущей итерацией. Окончание расчета при

совпадении результатов с заданной точностью или, в противном случае, переход к новой итерации (п. 2).

В качестве примера рассмотрим трехпоточный теплообменник, применяемый в цикле со смешаым хладагентом в составе ожижителя природного газа (рис. 1). В табл. 1 приведены параметры потоков на входе.

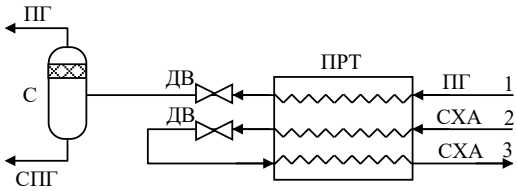


Рис. 1. Трехпоточный теплообменник в составе технологической схемы ожижителя природного газа:
ПРТ – пластинчато-ребристый теплообменник; С – сепаратор;
ДВ – дроссельный вентиль; ПГ – природный газ;
СПГ – сжиженный природный газ; СХА – смешанный хладагент

Таблица 1.

Параметры потоков на входе в теплообменник

Поток	**Температура, К**	**Давление, кПа**	**Мольный расход, кмоль/ч**	**Массовый расход, кг/с**	**Паровая фракция**
1	219,30	6650	3381,79	15,835	0,98
2	218,23	6000	4733,48	47,651	0
3	106,00	200	3753,51	28,513	0,07

В расчетах принимались следующие конструктивные параметры пластинчато-ребристого теплообменника: количество каналов для каждого потока $m_к = 10$; высота сечения канала (пластины) $h_к = 0{,}6$ м; расстояние между пластинами $\Delta = 0{,}01$ м; шаг оребрения $\delta = 0{,}006$ м; шаг вдоль потока $dl = 0{,}04$ м; толщина стенки $\delta_с = 0{,}002$ м; материал стенки – алюминий. Следует отметить, что все значения конструктивных параметров и данные таблице 1 являются параметрами оптимизации и могут варьироваться при поиске оптимального решения.

Разработанная модель теплообменного аппарата, реализованная в виде компьютерной программы, удобна для проведения оптимизационных расчетов. В первую очередь при этом следует задаться характери-

стиками аппарата, не подлежащим изменению, и параметрами оптимизации – конструктивными и режимными параметрами, варьируемыми при поиске наилучшего решения.

При варьировании конструктивных параметров (поперечное сечение, число и размер каналов, длина, шаг оребрения) получена слабая зависимость получаемого количества влаги в паре (G_{LNG}) на выходе потока 1 от конструктивных параметров аппарата. Например, при варьировании длины аппарата от 0,4 м до 2,0 м получено линейное увеличение G_{LNG} всего на 0,086 кг/с СПГ. Изменение геометрии сечения при заданных расходах с целью увеличения коэффициентов теплопередачи приводит к нивелирующим изменениям скорости потоков и эффект сжижения газа оказывается еще меньше.

Дальнейшая оптимизация проводилась по энергетическим критериям, варьируя режимные параметры. Параметрами оптимизации являются входные температуры и расходы: G_1 = 10–40 кг/с; $G_2 = G_3$ = 10–40 кг/с; $T_1 = T_2$ = 200–230 К; T_3 = 100–120 К. Давления потоков соответствуют их фазовым состояниям.

Сравнение результатов применения перечисленных выше критериев при оптимизации ТОА по величине расходов теплоносителей показывает их слабую корреляцию между собой (рис. 2). Для рассматриваемого примера расход потока 2 практически не влияет на эффективность аппарата (рис. 2, b). Кроме того, холодильный коэффициент ε_{Kx} не чувствителен к изменению расхода теплоносителей и не может применяться в качестве критерия оптимальности. Тепловой и эксергетический КПД падают с ростом охлаждаемого потока G_1 (рис. 2, a) и растут с увеличением расхода охлаждающей жидкости G_3 (рис. 2, c). При этом главная цель теплообменника – ожижение потока 1 – достигается гораздо более эффективно в первом случае (G_{LNG} = 4,77 кг/с), чем во втором (G_{LNG} = 1,32 кг/с). Поэтому наиболее подходящим критерием эффективности для рассматриваемого варианта следует признать эксергетическую эффективность ε (отношение эксергии продукта к эксергии исходного вещества), корректно отражающую качественные и количественные показатели теплообменного аппарата.

Поиск наилучшего сочетания расходов, греющего и охлаждающего потоков для достижения оптимальных показателей аппарата по различным критериям (многопараметрическая многокритериальная оптимизация) производится методом исследования пространства параметров [7], основанным на построении и анализе допустимого множества решений с помощью таблиц испытаний.

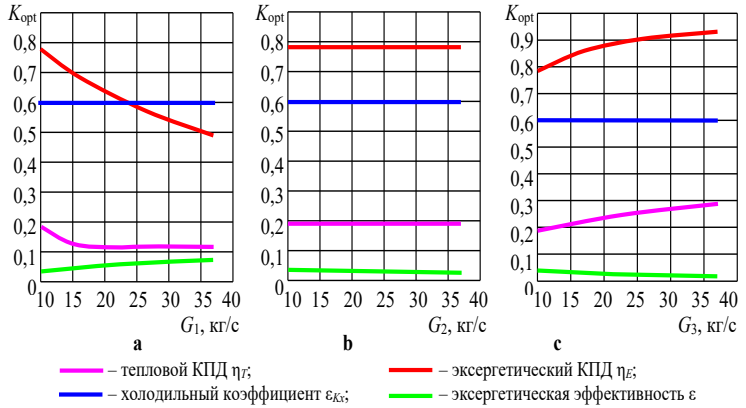


Рис. 2. Влияние расхода теплоносителей на показатели эффективности:
a – влияние потока G_1; b – влияние потока G_2;
c – влияние потока G_3; η_T – тепловой КПД [1];
η_E – эксергетический КПД [1, 2]; ε_{Kx} – холодильный коэффициент [6];
ε – эксергетическая эффективность [5]

Анализ фрагмента такой таблицы приведен в таблице 2.

Таблица 2.

Таблица испытаний пространства параметров

Параметры оптимизации		Производительность	Критерии оптимальности		
G_1	G_3	G_{LNG}	η_T	η_E	ε
10	13,946	1,31	0,208	0,831	0,03
32,668	23,76	4,22	0,087	0,72	0,051
25,983	16,569	3,36	0,094	0,693	0,052
11,411	30,366	1,5	0,243	0,904	0,021
30,379	38,041	3,94	0,11	0,816	0,037
21,505	25,582	2,79	0,131	0,808	0,037
34,929	11,037	4,5	0,111	0,528	0,071
11,604	25,891	1,52	0,227	0,887	0,023
30,134	10,231	3,89	0,116	0,546	0,068
21,502	12,005	2,78	0,103	0,664	0,054

Не останавливаясь подробно на множестве решений, выделим два варианта: достижение максимального значения теплового и эксергетического КПД при значениях G_1 =11,411 кг/с и G_3 = 30,366 кг/с, и достижение максимального значения эксергетической эффективности и производительности теплообменного аппарата при G_1 = 34,929 кг/с и G_3 = 11,037 кг/с. Другие компромиссные Парето-оптимальные решения могут быть предложены при уточнении поставленной задачи, введении дополнительных ограничений или применении дополнительных критериев оптимальности.

Литература

1. Чабаева Ю. А., Булеков А. П., Сажин В. Б. и др. Критерии эффективности теплообменников // Успехи в химии и химической технологии. Т. XXVI. 2012. № 5 (134). С. 112–115.
2. Сажин Б. С., Булеков А. П., Сажин В. Б. Эксергетический анализ работы промышленных установок М., 2000. 297 с.
3. Ahmad Fakheri. Heat Exchanger Efficiency. Journal of Heat Transfer, SEPTEMBER 2007. Vol. 129. P. 1268—1276.
4. Bejan A., Entropy generation minimization: the new thermodynamics of finite-size devices and finite-time processes, J. Appl. Phys. 79. 1996. Pp. 1191–1218.
5. Mehdi Mehrpooya, Seyed Ali Mousavi, Majid Asadnia, Andrew Zaitsev, Romin Sanavbarov. Conceptual design and evaluation of an innovative hydrogen purification process applying diffusion-absorption refrigeration cycle (Exergoeconomic and exergy analyses). Journal of Cleaner Production. Volume 316, 2021, 128271. DOI.org/10.1016/j.jclepro. 2021.128271.
6. Архаров А. М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 507 с.
7. Соболь И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. 175 с.

Установка для производства сжиженного природного газа на газораспределительной станции

Кравченко Ю. А. [1], Спиридонова А. П. [1], Баранов А. Ю. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Газораспределительные станции (ГРС) являются потенциальным источником дешёвого сжиженного природного газа (СПГ). В работе рассмотрены способы получения СПГ на ГРС, а также проблемы, связанные с его очисткой и осушкой. Предложена схема получения СПГ с использованием скрытой теплоотводящей способности магистрального природного газа.

Ключевые слова
Газораспределительные станции, ГРС, сжиженный природный газ, СПГ, получение СПГ, энергоэффективность.

Газораспределительные станции (ГРС) служат для понижения давления в магистральном трубопроводе до безопасного давления в городской сети. Давление в магистральном трубопроводе находится в пределах 5,5–7,5 МПа, а давление в городской сети 0,6–1,2 МПа. Вне зависимости от назначения и производительности ГРС среди основных ее элементов можно выделить: блок очистки газа, одоризации газа, редуцирования газа, предотвращения гидратообразования, учета газа и переключения газа [4]. На рисунке 1 представлена технологическая схема газораспределительной станции.

За счет существующего перепада давления между магистральным и распределительным газопроводами реализуется технология производства сжиженного газа на ГРС [1, 3]. Использование скрытой теплоотводящей способности (СТОС) магистрального природного газа (МПГ) позволяет без дополнительных затрат энергии переводить в жидкое состояние от трёх до пятнадцати процентов газа, поступающего в городскую сеть низкого давления. Схема модернизации ГРС с использованием криогенного блока получения СПГ представлена на рисунке 2. Процессы снижения давления и восстановления температуры потока ПГ до уровня, близкого к атмосферному, осуществляется в блоке получения СПГ 3, продукционный СПГ сливается в криогенное хранилище

4 и отгружается потребителю через вентиль выдачи 5. Таким образом, внедрение блока получения СПГ исключает затраты части газа на подогрев перед его подачей в городскую сеть.

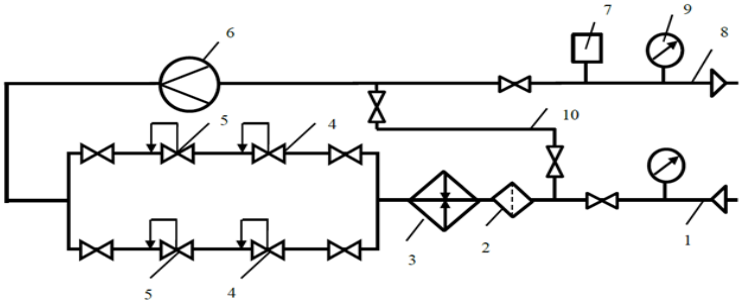


Рис. 1. Технологическая схема газораспределительной станции (ГРС): 1 – входной трубопровод; 2 – фильтр; 3 – подогреватель газа; 4 – контрольный клапан; 5 – регулятор давления; 6 – расходомер газа; 7 – одоризатор; 8 – выходной трубопровод; 9 – манометр; 10 – байпас

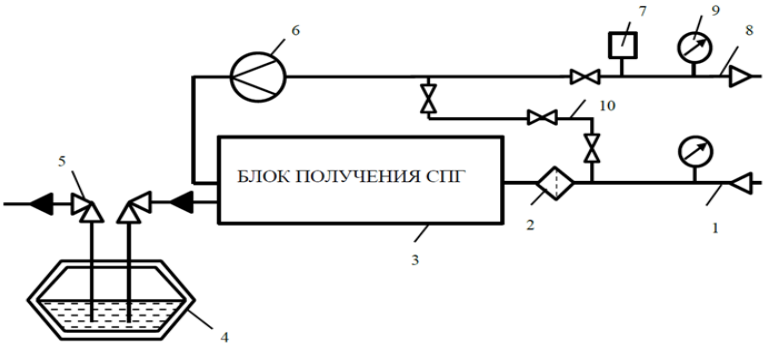


Рис. 2. Технологическая схема ГРС с установкой ожижения газа: 1 – входной трубопровод; 2 – фильтр; 3 – блок получения СПГ; 4 – накопитель СПГ; 5 – вентиль выдачи СПГ; 6 – расходомер газа; 7 – одоризатор; 8 – выходной трубопровод; 9 – манометр; 10 – байпас

Практическая реализация этой технологии осложняется тем, что для полной утилизации СТОС надо пропустить через ожижитель весь поток МПГ, направляемый в городскую сеть. Для выполнения этой задачи весь поток газа надо очистить от высококипящих примесей, прежде

всего от диоксида углерода и паров воды [2]. Учитывая то, что основная часть очищенного потока после блока ожижения поступит в городскую газовую сеть и будет сожжена, очистка и осушка всего потока представляются нерентабельными. В Университете ИТМО разработана технологическая схема получения СПГ с использованием СТОС на газораспределительных станциях, в которой для удаления высококипящих примесей используется процесс их вымораживания на теплоаккумулирующей насадке. Показана эффективность такого способа очистки природного газа, разработана математическая модель тепломассообменного аппарата периодического действия, в котором реализуется процесс очистки. Намечена программа численных экспериментов по оценки работоспособности нового технологического решения в условиях переменного расхода МПГ через ГРС.

Литература

1. Акулов Л. А. Установки и системы низкотемпературной техники. Ожижение природного газа и утилизация холода сжиженного природного газа при регазификации. СПб.: СПбГУНиПТ, 2006.
2. Федорова Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. 159 с.
3. Горбачев С. П. Оценка эффективности малотоннажного производства СПГ на газораспределительных станциях. Материалы конференции в рамках выставки «Газовая промышленность России. Актуальные аспекты 2007» GasSUF – 2007 (Москва 25–27 сентября 2007 г.) – М.: ООО ИРЦ Газпром. 2008. С. 160.
4. Газонаполнительные и газораспределительные станции: Учебное пособие. / Под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. 2002. 335 с.

Обоснование принципов построения мобильных судовых криогенных резервуаров для хранения СПГ

Иванов Л. В[1]., Баранов А. Ю[2].

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В статье представлена методика подбора типа, формы, размера, количества, а также толщины тепловой изоляции для малотоннажных судов-газовозов. Методика основывается на максимизации объема перевозимого СПГ. Лимитирующими критериями при выборе формы, размера и других параметров выступают геометрические параметры трюмного пространства судна, максимально допустимая осадка судна, а также минимальные значения допустимого времени бездренажного хранения СПГ в резервуаре.

Ключевые слова
Танки типа С, бездренажное хранение, задача оптимизации, водных транспорт СПГ.

Сжиженный природный газ (СПГ) является энергоэффективным, экологичным и дешевым видом топлива. СПГ является рациональным альтернативным топливным ресурсом для снабжения отдаленных населенных пунктов на крайнем севере. В настоящее время подобные населенные пункты снабжаются дизельным топливом (ДТ) и углем в рамках «северного завоза». Транспортные издержки в некоторых случая достигают 70% в структуре стоимости доставляемого топлива [1]. Это обусловлено большими расстояниями между местом производства топлива и местом его конечного потребления. СПГ уже производится в северных регионах России – на заводах ЯмалСПГ, проекте АрктикСПГ-2, налажено среднетоннажное производство в Якутии. Уменьшение плеча доставки энергоресурса значительно снижает стоимость доставки топлива. Из-за неразвитости автодорожной и железнодорожных систем в отдаленных северных регионах наиболее рациональным способом доставки СПГ является водный транспорт. Большинство снабжаемых населенных пунктов находится на побережьях крупных сибирских рек (Оби, Енисей, Лена). Подобные системы доставки развиты в некоторых

зарубежных странах, таких как Япония, Малайзия, Греция. Однако специфика российских условий не позволяет эффективно применять иностранные технические решения. К специфике российских условий относится сезонность доставок, отсутствие крупных единичных потребителей, большие расстояния между потребителями, неразвитость бункеровочной системы и малые значения допустимой осадки судов [2]. В статье представлена методика проектирования судовых резервуаров СПГ, позволяющая создать эффективное решение для специфических российских условий эксплуатации. Статья основывается на российских и иностранных нормативных документах РРР (Российского Речного Регистра) и DNVGL (сертификационного общества DNV). Методика подходит как для проектирования новых проектов судов, так и для модернизации уже существующих корпусных проектов.

Выбор типа и формы танков определяется по известным параметрам трюмного пространства. Допустимое пространство, в котором могут располагаться криогенные танки, зависит от объема танков, длины и ширины судна, толщины двойного борта и двойного дна судна. Трюмное пространство складывается из двух составляющих: надпалубного и подпалубного. По нормативам безопасности, резервуары призматической формы не могут выступать над поверхностью палубы. В свою очередь, непризматические танки типа С могут выступать над палубой не более, чем на 3 м или на половину своей высоты (в зависимости от того, что меньше). График зависимости использования трюмного пространства представлен на рисунке 1 [3].

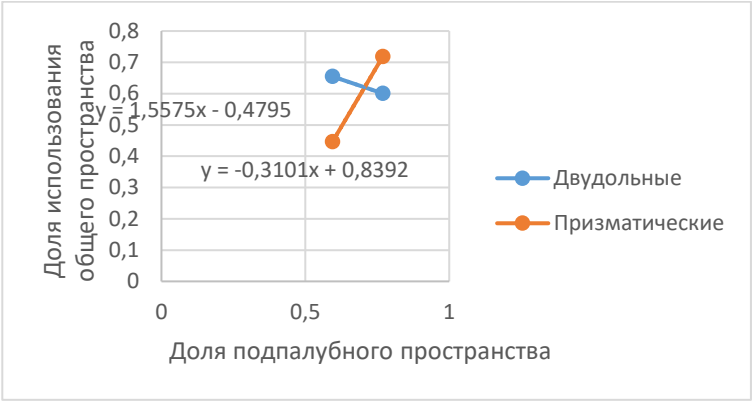


Рис. 1. График зависимости использования трюмного пространства

По графику зависимости видно, что доля подпалубного пространства, после которого становится выгоднее использование призматических танков, составляет 0,7.

По аналитическим исследованиями определено, что оптимальное расстояние между центрами долей в двудольном танке варьируется от 0,35r до 0,75r [4]. Это соотношение получено из анализа напряжений, толщины стенок и стоимости сооружения танков подобной конструкции.

Габаритный диаметр танков принимается равным сумме высоты надпалубного и подпалубного грузового пространства:

$$D_{\text{г}} = H_{\text{н}} + H_{\text{п}} \quad (1)$$

Форма танков принимается из условия:

- $\frac{B_{\text{тр}}}{D_{\text{г}}} < 1{,}35$ – цилиндрические;
- $1{,}35 < \frac{B_{\text{тр}}}{D_{\text{г}}} < 1{,}8$ – двудольные;
- $\frac{B_{\text{тр}}}{D_{\text{г}}} > 1{,}8$ – мультидольные.

Максимальная длина танка принимается из условия:

$$l_{\text{тмакс}} \leq L \cdot 0{,}2. \quad (2)$$

Максимально допустимое давление в резервуаре зависит от толщины его стенок. Методика расчета максимально допустимого давления приведена в документе DNVGL [5].

Время бездренажного хранения определяется по методике, описанной в статье [6].

Оптимизация при проектировании системы хранения груза для описываемых малотоннажных танкеров сводится к задаче максимизации объема перевозимого СПГ. Существуют определенные лимитирующие критерии, на основании которых можно сразу же отбросить часть вариантов. Ограничительными критериями являются геометрические параметры трюмного пространства, которые влияют на максимальные габариты танка вместе с тепловой изоляцией, на тип, форму и количество танков. Вторым лимитирующим критерием является максимально допустимая осадка корпусного проекта судна. Этот критерий ограничивает максимальный вес системы хранения груза: вес металлических конструкций резервуара, вес тепловой изоляции, а также массу перевозимого СПГ. Третьим ограничительным критерием является минимальное время бездренажного хранения. По нормативам безопасности минимальное время бездренажного хранения должно составляет не менее 15 суток.

Время бездренажного хранения зависит от двух основных параметров: от максимально допустимого избыточного давления внутри резервуара, а также от толщины и материала тепловой изоляции.

В свою очередь, объем перевозимого СПГ зависит от толщины теплоизоляционного слоя и общего объема металлоконструкций танка: стенок и разделительной перегородки.

Для поиска оптимального технического решения промоделированы различные варианты танков: с толщиной изоляции от 100 мм до 500 мм. Для каждого из этих вариантов рассчитаны минимальные значения толщины стенок и полусферических днищ. После этого рассчитаны варианты с большей толщиной стенок и, следовательно, рассчитанные на большее время бездренажного хранения.

На рис. 2 изображена трехмерная модель двудольного танка с толщиной изоляции 300 мм.

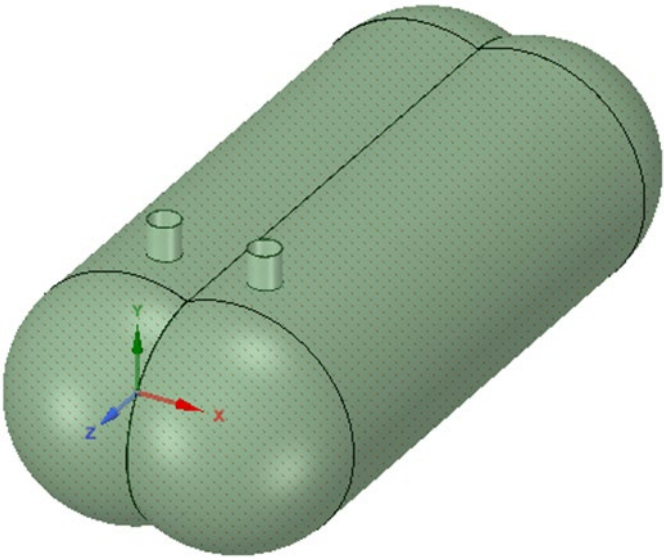


Рис. 2. Трехмерная модель танка

Для расчета осадки в загруженном состоянии приблизительно определим водоизмещение опорожненного судна:

$$m_{LWT} = -4{,}44 \cdot 10^{-6} \cdot (L \cdot B \cdot H)^2 + 0{,}195 \cdot L \cdot B \cdot H. \quad (3)$$

Дедвейт будет складываться из массы груза и массы системы хранения СПГ.

$$m_{DWT} = m_{\text{сум}} + m_{\text{СПГ}}, \quad (4)$$

где $m_{\text{СПГ}}$ – масса СПГ в танках.

Водоизмещение судна:

$$\Delta = m_{LWT} + m_{DWT}. \quad (5)$$

В таком случае осадка:

$$T = \Delta \cdot (L \cdot B \cdot C_B \cdot p_v)^{-1}. \quad (6)$$

Для расчетов лимитирующей осадки в данном проекте принято значение 3,4 м, а не 3,5 м, на которые рассчитано судно. Это оправдано дополнительным дедвейтом от веса топлива, команды и необходимого дополнительного оборудования, такого как криогенные насосы и испарители.

Рассчитанные варианты танков при толщине изоляции 100 мм приведены в таблице.

Таблица.

Рассчитанные варианты танков с изоляцией 100 мм

Толщина стенки тела танка, мм	Объем перевозимого СПГ, м^3.	Общий вес системы танков, т	Осадка судна, м.	Максимально допустимое давление, МПа	Время бездренажного хранения, сут
20	6264,70	586,93	3,167	0,335	11,57
22	6256,01	654,94	3,198	0,368	12,80
24	6249,06	709,53	3,222	0,402	13,95
26	6242,06	764,08	3,246	0,436	15,00
28	6235,06	818,63	3,271	0,469	15,99
30	6227,44	878,09	3,297	0,503	16,88
32	6220,49	932,60	3,321	0,536	17,70
34	6213,50	987,11	3,346	0,570	18,43
36	6206,54	1041,58	3,370	0,603	19,08
38	6198,92	1100,92	3,396	0,637	19,64
40	6191,97	1155,47	3,421	0,670	20,12
42	6184,55	1213,36	3,446	0,704	20,52

В таблице выделены параметры, которые являются исключающими для того или иного варианта. Значение времени бездренажного хранения принято 20 часов, поскольку это соответствует автономности проекта судна, с которого были взяты параметры размерений корпуса и трюма (RSD62).

В приведенном примере танков с изоляцией толщиной 100 мм при достижении установленного лимита осадки максимальное избыточное давление внутри танка составило 0,637 МПа. Максимальное время бездренажного хранения в этом случае составляет 19,64 суток. График зависимости времени удержания от максимально допустимого давления в танках представлен на рис. 3.

Описанная методика проста в применении и позволяет проектировать наиболее эффективные мобильные резервуары для малотоннажных танкеров. Методика позволяет учитывать специфику района работы и подходит как для новых проектов судов, так и для модернизации существующих корпусов.

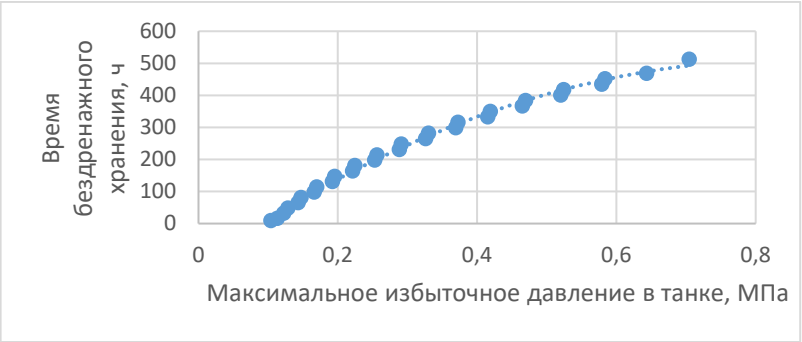


Рис. 3. График зависимости времени бездренажного хранения СПГ от максимального избыточного давления в танке

Литература

1. Книжников А. Ю., Климентьев А. Ю. Перспективы и возможности использования СПГ в арктических регионах России // Конференция Взгляд WWF России – М. 2018.
2. Иванов Л. В., Баранов А. Ю. Анализ технических и логистических решений, применяемых при транспорте СПГ малотоннажными газовозами // Газовая промышленность – 2021. – №4(815). С. 80–86.
3. Иванов Л. В., Баранов А. Ю., Малышева Т. А., Андреев А. М. Методика подбора криогенных резервуаров для модернизации проектов малотоннажных судов // Вестник Международной академии холода – 2021. – №1(178). С. 40–45. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-40-45.
4. Mohammadreza Salarkia, Sa'id Golabi, Behzad Amirsalari Optimum Design of Liquified Natural Gas Bi-lobe tanks using finite element, genetic algorithm and neural network //J. Appl. Comput. Mech., 6(4) – 2020 DOI: 10.22055/JACM.2019.14801.
5. DNVGL-CG-0135 Liquefied gas carriers with independent cylindrical tanks of type C – 2016.
6. Баранов А. Ю., Валентинова К. А., Иванов Л. В. Моделирование испарения сжиженного природного газа в мобильных резервуарах

[Modelling of liquefied natural gas evaporation in mobile reservoirs] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics] – 2020. – Т.20. - №4(128). – С. 595–602 DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-4-595-602.

Эффективность спирального компрессора в системах, использующих R744 и R290

Пронин В. А., Кованов А. В., Цветков В. А., Михайлова Е. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Спиральная технология, традиционно нашедшая применение в системах климатики, тепловых насосах, коммерческом холоде и др. холодильном оборудовании, вынуждена адаптироваться к изменениям, происходящим в данных сферах. Такие изменения связанны с отказом от гидрофторуглеродов в пользу применения натуральных хладагентов с низким потенциалом глобального потепления. В области холодильных машин средней производительности, где используется спиральный компрессор, в силу своих эксплуатационных свойств, получили распространение пропан (R290) и диоксид углерода (R744). Учитывая такое состояние дел, будущее спирального компрессора отчасти обуславливается возможностью его применения в системах, использующих данные натуральные хладагенты. А эффективность применения компрессора зависит от возможности оптимально адаптировать технологию или создать новые образцы с учётом свойств природных хладагентов. Принимая во внимание этот факт, темой нашего изучения в рамках данной работы является исследование текущего состояния применения спирального компрессора в холодильных системах, использующих R290 и R744, выявление и систематизация перспективных путей исследования данной технологии, а также поиск способов оптимизации и совершенствования его характеристик.

Ключевые слова
Спиральный компрессор, диоксид углерода (R744), пропан (R290), коэффициент подачи, эффективная мощность.

Борьба за восстановление благоприятного экологического фона планеты заставила преимущественное число стран мира принять законодательные акты, ограничивающие выброс вредных веществ, неизбежность исполнения которых уже не вызывает сомнений. Будущее предприятий, использующих в своей деятельности холодильное оборудование, зависит от того, насколько быстро и гибко они смогут адаптироваться к применению зелёных технологий, в частности, отказаться от использования гидрофторуглеродов с высоким потенциалом глобаль-

ного потепления. Однако следует отметить, что современные предприятия сейчас более ориентированы на сокращение эксплуатационных издержек, в частности, за счёт оптимизации работы энергоёмкого оборудования. Характерным примером может являться распространённое предприятие ритейла, где энергопотребление коммерческого и технологического холодильного оборудования, составляет около одной трети всей потребляемой им электроэнергии.

Учитывая факты экологической безопасности и энергоэффективность, выбор натурального хладагента зависит от степени влияния рабочего вещества на термодинамическое совершенство холодильной системы и должен быть ориентирован на минимизацию внутренних необратимых потерь в цикле [1]. Для теоретического холодильного цикла при постоянных температурах источников зависимость потерь можно выразить произведением коэффициентов, учитывающих потери от дросселирования η_g и перегревания рабочего вещества при сжатии η_n.

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_n. \quad (1)$$

В то же время определяющим для возможности использования хладагента в конкретной сфере применения парокомпрессионной холодильной машины (ПХМ), являются эксплуатационные характеристики рабочего тела. Так, например, аммиак *R*717 имеет нулевой потенциал глобального потепления (ПГП), однако это вещество токсичное с умеренной воспламеняемостью. Аммиак не смешивается с маслом и, следовательно, не будет растворять его в картере компрессора, к тому же он опасен для цветных металлов, например, меди и латуни, при поглощении влаги. Следовательно, использование *R*717 в системах коммерческого холода и климатехники, в области средней производительности, осложнено рядом вышеуказанных факторов. К тому же вследствие высокой электропроводности *R*717 затруднено создание полугерметичных и герметичных компрессоров. Ограничение в использование *R*600a продиктовано ограниченностью заправки из-за класса опасности и узкой областью работы компрессора на данном хладагенте. Применение изобутана возможно в машинах малой производительности, где успешно работают ротационные и поршневые компрессоры. *R*290 также имеет ограничение в количестве заправки из-за класса опасности A3, однако более широкая область работы в сочетании с возможностью применения косвенного охлаждения и удалённая организация машинных отделений позволяет использовать данный хладагент, достигая большей производительности. Наиболее перспективным представляется применение CO2 (*R*744), т. к. по эксплуатационным свойствам он

сопоставим с ГФУ хладагентами и не имеет ограничений по классу опасности.

В таком ключе всё большее распространение начинает получать применение тепловых насосов с использованием пропана в качестве хладагента, а также транскритических холодильных машин, использующих диоксид углерода и рассчитанных одновременно на несколько температур кипения. Компрессор, как в тепловом насосе, так и в холодильной машине, является основным энергоёмким элементом, требующим точного расчёта и конструирования. В силу ряда преимуществ применение именно спирального компрессора (СПК) в таких системах оправдывает себя. А факт серийного производства моделей СПК, работающих на *R*290 и *R*744 говорит об уверенности и заинтересованности производителей в данных технологиях, рабочие области компрессора с применением *R*290 и *R*744 представлены на рисунке.

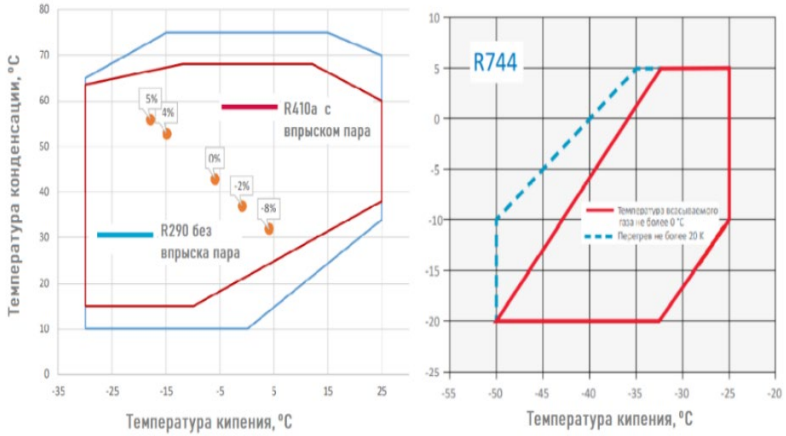


Рисунок. Области работы спирального компрессора с использованием хладагентов *R*290, *R*744, *R*410A [2]

Сравнительно небольшой вес и габариты, надёжность в силу простоты конструкции и малого количества деталей, малая вибрация и шумность сделали его незаменимым для применения как раз в тепловых насосах, системах климатехники, в т.ч. на транспорте. Здесь СПК имеет не только высокую энергетическую эффективность (его эффективный КПД достигает 86%), но и преимущества в объёмных показателях. Конкурентоспособность СПК в коммерческих холодильных системах по отношению к другим компрессорам объёмного принципа действия также доказана временем. Однако с понижением температуры кипения, что

вызывает рост степени повышения давления, СПК требует интенсификации процессов внутреннего теплообмена, достигается это за счёт впрыска жидкости или пара в полость сжатия.

Суммарную эффективность компрессора на режиме его работы можно определить с помощью холодильного коэффициента [1]:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{N_e} \quad , \tag{2}$$

где Q_0, кВт — холодопроизводительность спирального компрессора:

$$Q_0 = \frac{V_c \cdot \lambda \cdot q_0 \cdot n}{\vartheta_{вс}} \quad , \tag{3}$$

где V_c — объём всасываемого пара, м^3/с;

n — число оборотов вала компрессора, с-1;

λ — коэффициент подачи;

q_0 — удельная холодопроизводительность, кДж/кг;

$\vartheta_{вс}$ — удельный объём всасываемого пара, м^3/кг и N_e — эффективная мощность, затрачиваемая на сжатие рабочего вещества и на преодоление сил трения, кВт:

$$N_e = N_i + N_{тр}. \ , \tag{4}$$

где N_i – индикаторная мощность, это мощность, расходуемая на сжатие рабочего тела, кВт.

$N_{тр}$ – мощность трения, это мощность, затрачиваемая на преодоление сил механического трения в механизме движения, в т. ч. в противоповоротном устройстве (ППУ), кВт.

Из выражений (2–4) видно, что эффективность холодильного компрессора зависит как от его конструкции, так и от свойств рабочего тела.

Основные объёмные потери, влияющие на производительность СПК и учитываемые коэффициентом подачи, можно записать в виде произведения сомножителей [3]:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_{др} \cdot \lambda_{пл}, \tag{5}$$

где λ_c — коэффициент, учитывающий расширение невытесненного объёма рабочего тела. В процессе нагнетания часть рабочего вещества остаётся невытесненной, особенно при наличии клапана. Этот объём рабочего тела практически не влияет на полноту наполнения ячеек всасывания и расширяется до давления внутреннего сжатия;

$\lambda_{др}$ — коэффициент дросселирования, учитывает газодинамические потери давления в процессе всасывания и нагнетания. В силу конструкции СПК местные сопротивления существуют, но крайне малы;

$\lambda_{пл}$ — коэффициент плотности, оценивающий протечки рабочего тела через неплотности и зазоры в компрессоре. Спиральные элементы входят в бесконтактное сопряжение с друг другом и имеют рабочие зазоры, что вызывает протечки через них рабочего тела. Процесс сжатия в СПК проходит при переменной массе рабочего вещества и теплообмене. Соответственно, степень политропы в процессе сжатия будет меняться, а в зависимости от интенсивности теплообмена будет отклоняться от изоэнтропы. Следует отметить, что коэффициент плотности $\eta_{пл}$, учитывающий энергетические потери от перетечек рабочего вещества, связан с объёмными потерями и численно равен соответствующему коэффициенту объёмных потерь $\lambda_{пл}$.

Для расчета процессов с переменной массой следует выделить систему дифференциальных уравнений, предложенных проф. Мамонтовым М. А. [3] и апробированную в работах Косачевского В. А., Фоменко М.В., при расчете и анализе влияния некоторых общих параметров СПК на его термодинамические показатели. Эти уравнения базируются на энергетическом балансе термодинамической системы переменной массы и уравнении состояния газа и записаны в виде:

$$\frac{dP}{d\varphi} = \frac{k-1}{\omega \cdot V}\left(\omega \cdot \frac{d\theta}{d\varphi} + m_{\text{пр}} \cdot i_{\text{пр}} - m_{\text{ут}} \cdot i - \frac{k}{k-1}\omega \cdot p \cdot \frac{dV}{d\varphi}\right);$$
$$\frac{dT}{d\varphi} = \frac{(k-1)\cdot T}{p \cdot V \cdot \omega} \cdot \left[\omega \cdot \frac{d\theta}{d\varphi} + \frac{k-1}{k}\left(m_{\text{пр}} - m_{\text{ут}}\right) \cdot i + m_{\text{пр}} \cdot \left(i_{\text{пр}} - i\right) - p \cdot \omega \frac{dV}{d\varphi}\right], \quad (6)$$

где θ - внешнее подведенное тепло; $m_{пр}$, $m_{ут}$ - секундный массовый приход и расход газа, $i_{пр}$, i - удельный секундный приход и расход энергии с присоединяемой и отделяемой массой: φ - угол поворота ротора; V - объём рабочей полости; k - показатель адиабаты.

Рассматривая, применение *R*744 и *R*290 в парокомпрессионных холодильных машинах, в частности с использованием спирального компрессора, отметим, что пропан является рабочим веществом среднего давления, а диоксид углерода - веществом высокого давления, что влечёт за собой различие в конструкции компрессора для данных хладагентов. Нормальная температура кипения пропана, например, близка к нормальной температуре кипения *R*22, положения их критических точек также близки, это указывает на близость их рабочих термодинамических циклов. Можно заключить, что термодинамические свойства *R*290 близки к свойствам ГФУ хладагентов, что позволяет адаптировать СПК к работе на *R*290 с минимальными изменениями [4]. Термодинамические и теплофизические свойства *R*744 позволяют использовать его в более широком диапазоне температурных режимов, чем пропан. Преимущества диоксида углерода перед ГФУ хладагентами - низкая температура кипения при атмосферном давлении, что даёт преимущество

СПК в использовании в низкотемпературных системах в субкритическом цикле [5]. Более высокие показатели удельной теплоты парообразования пропана и диоксида углерода в сравнении с ГФУ и показывают, что удельный массовый расход циркулирующего в холодильной системе пропана или CO2, необходимый для обеспечения требуемой холодопроизводительности, будет меньше. Удельный массовый расход хладагента, сжимаемого компрессором, зависит от объемной производительности V_c коэффициента подачи λ и плотности пара на входе в компрессор ρ.

$$M = V_c \lambda \rho. \quad (7)$$

Так как коэффициент подачи компрессора зависит и от вида хладагента, следует учитывать его реальные свойства, используя коэффициента сжимаемости вещества. А сам вопрос объёмных потерь, если допустить, что коэффициенты λ_c и $\lambda_{др}$ оба равны единице, будет сводиться к определению протечек рабочего тела в процессе сжатия, т.е. коэффициенту $\lambda_{пл}$. Вынесем данный вопрос условно за скобки, т.к. он требует особого внимания и отдельного рассмотрения, именно на нём сосредоточена наша дальнейшая работа, направленная на совершенствование методики расчёта объёмных потерь в СПК. Тогда, обращаясь вновь к уравнению (7) и рассмотривая компрессор, адаптированный к пропану, видим, что удельный массовый расход рабочего тела в нём становится пропорциональным коэффициенту плотности пара, т.е. он, например, будет примерно в два раза меньше, чем *R*22. Значения холодопроизводительности одного и того же компрессора при работе на пропане и *R*22 отличаются незначительно, в пределах 10-15%. Чем ниже плотность хладагента, тем меньше падение давления в теплообменных аппаратах, трубопроводах, клапанах компрессора, и это способствует снижению энергозатрат на работу холодильной системы в целом, это преимущество можно отнести к работе компрессора на CO2.

Пропан — это хладагент среднего рабочего давления, причём степень повышения давления может быть меньше ряда ГФУ при одинаковых температурах кипения T_0 и конденсации $T_к$, мы также отмечали, что при таких условиях применение СПК наиболее выгодно, т.к. здесь он имеет лучшие характеристики в сравнении с другими типами компрессоров объёмного принципа действия. Т.е. применение СПК на пропане при высоких температурах конденсации, особенно в тепловых насосах, становится выгодным. Сравнивая удельную адиабатическую работу сжатия на единицу объема всасываемого рабочего вещества, можно констатировать, что пропан требует энергии меньше на 10-20% чем тот

же *R*22. Т.е. при адаптации СПК для работы на пропане электродвигатель компрессора будет испытывать меньшую нагрузку [4].

В отличие от пропана, CO2 является веществом высокого давления с низкой критической точкой, эта особенность влияет на конструкцию и рабочие характеристики оборудования и должна являться предметом изучения. Главным образом, высокая разность между давлениями нагнетания и всасывания увеличивает нагрузки в компрессоре, а, следовательно, и затраты эффективной мощности на преодоление механических потерь в каждой паре трения [6]. При этом протечки рабочего вещества через зазоры между спиралями в процессе сжатия также увеличиваются, в этом случае роль динамической вязкости рабочего тела неоднозначна.

Можно сделать выводы, что применение спирального компрессора весьма эффективно особенно в тепловых насосах, использующих в качестве рабочего вещества пропан. Это подтверждается высокими адиабатным КПД, необходимостью меньшей мощности на привод компрессора и высокими объёмными показателями. В холодильных системах с CO2 применение СПК также выгодно в субкритическом цикле для получения низких температур, где изменения конструкции компрессора будут незначительны, а эффективность в силу незначительной степени повышения давления выше других типов компрессоров объёмного принципа действия. Разработка СПК для транс-критики, не менее актуальная тема, т.к. в силу преимуществ данной технологии может решать вопросы надёжности и экономичности холодильной установки. В свою очередь, система кондиционирования воздуха с тепловым насосом, работающая в транскритическом цикле CO2, в будущем является перспективной технологией для электромобилей, а также для бустерных холодильных машин, имеющих высокий потенциал теплоты конденсации.

В части совершенствования спиральной технологии в отношении применения натуральных хладагентов особое место занимает вопрос исследования коэффициента подачи как характеристики объёмных потерь. Учитывая свойства диоксида углерода, его высокие рабочие давления, а также специфику работы холодильного спирального компрессора с изменяемой производительностью, актуальным становиться также вопрос учёта большего количества факторов на процесс протечек в рабочей части компрессора.

Литература

1. Бараненко А. В., Бухарин Н. Н., Пекарев В. И., Сакун И. А., Тимофеевский, Л. С., Холодильные машины. – СПб.: Политехника, 1997. 992 с.

2. Emerson. Каталог спиральных компрессоров Copeland Scroll. URL: https://copeland.su/katalog_spiralnih_kompressorov_copeland_scroll (дата обращения: 08.10.2021).
3. Ибрагимов Е. Р. Повышение эффективности спирального компрессора сухого сжатия: дис… канд. техн. наук: 05.04.06 – Казань, 2009. 136 с.
4. Byrne P., Ghoubali R., Miriel J. Development of a scroll compressor model for propane. The 10th Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, 2012. P. GL–206 2.
5. Zheng S., Wei M., Song P., Hu C., Tian R. Thermodynamics and flow unsteadiness analysis of trans-critical CO2 in a scroll compressor for mobile heat pump air-conditioning system. Applied Thermal Engineering, 2020. Pp. 175–187.
6. Purohit N., Sharma V., Fricke B., Gupta D. K., Dasgupta M. S. Parametric analysis and optimization of CO2 trans-critical cycle for chiller application in a warm climate. - J. Applied thermal engineering, 2019, Vol. 150. Pp. 706–719.

Исследование способов синтеза водорода как один из этапов реализации концепции водородного будущего

Кайсина В. В., Кустикова М. А., Ишутина Е. О.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В статье представлен краткий аналитический обзор современного состояния, возможностей и тенденций развития отрасли водородной энергетики. Отмечается активное инвестирование в данную отрасль, финансирование грантов и НИОКР, направленных на создание «водородного» будущего. По результатам теоретических исследований и изучения достижений в пилотных проектах, можно сделать обобщающий вывод об основных преимуществах и перспективах развития. Отражены изменения в части процессов декарбонизации и низкоуглеродного развития. Результаты исследования могут быть использованы в процессе разработки и реализации концепции водородной энергетики.

Ключевые слова
Способы получения водорода, зелёный водород, голубой водород, декарбонизация, изменение климата, низкоуглеродная экономика.

Формирование водородного будущего подкреплено необходимостью реализации Парижского соглашения, предусматривающего принятие странами (подписавшими соглашение) обязательство по сокращению вредных выбросов и осуществления совместной работы по адаптации к последствиям изменения климата. В целях борьбы с глобальным изменением климата ведущие страны мира и крупные корпорации устанавливают в своих долгосрочных стратегиях цели по снижению «углеродного следа». Учитывая, что в ближайшем будущем развитие водородных технологий приведёт к тому, что водород будет использоваться в качестве источника энергии в большем кругу отраслей (рисунок) [1], в мировой энергетике «запущен» процесс глобального энергетического перехода, связанный в первую очередь с декарбонизацией и низкоуглеродным развитием.

Рисунок. Перспективные направления использования водорода

В результате теоретического анализа выделены промышленные секторы, использование водорода в которых позволит осуществить декарбонизацию; исследованы способы получения «серого», «голубого», «зелёного», «жёлтого» и «бурого» водорода. В результате сравнения различных способов синтеза водорода выявлены их основные недостатки и преимущества, позволяющие определить необходимость перехода на производство «зеленого» и «голубого» водорода с целью сокращения «углеродного следа». Отражены изменения технологий, применяемых предприятиями мирового сообщества в стремлении реализации политики декарбонизации. По результатам анализа представлены прогнозы развития водородного будущего, экономические проблемы и трудности, с которыми сталкиваются промышленные предприятия при становлении на путь низкоуглеродного развития.

Литература

1. Готовность российских компаний к развитию водородной экономики. Результаты опроса КПМГ/ АО «КПМГ», 2021 – 12 с. [Электронный источник] URL: https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2021/04/ru-ru-readiness-of-russian-companies-for-hydrogen-economy-development.pdf (дата обращения: 10.08.2021).

Абсорбция и адсорбция вредных примесей при повышенном давлении природного газа

Майкова Т. С.[1], Баранов А. Ю.[2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Извлечение высококипящих примесей из потока магистрального природного газа является важнейшим этапом подготовки к его сжижению. К вредным примесям относятся диоксид углерода, сероводород, сероокись углерода, сероуглерод, вода и другие. В природном газе может находиться до 3% кислых газов, особенно высоко содержание диоксида углерода. Вредные примеси ухудшают работу теплообменных аппаратов, поэтому от них нужно избавляться. Чтобы достичь в процессе очистки соответственных требований для сжиженного природного газа (СПГ), применяются методы абсорбция и адсорбция. Адсорбенты обладают малой поглощающей способностью (10% по массе), поэтому адсорбционная очистка от CO2, H2S нерентабельна. Эффективным методом удаления кислых газов является химическая абсорбция жидкими абсорбентами. Процесс абсорбции CO2, H2S идет непрерывно. Абсорбент поглощает диоксид углерода, сероводород в абсорбере. После абсорбционной очистки от кислых газов природный газ поступает в блок адсорбционной осушки. Синтетические цеолиты блока осушки способны поглощать углекислый газ, поэтому физическая адсорбция завершает удаление вредных примесей.

Ключевые слова
СПГ, абсорбция, адсорбция, кислые газы, диоксид углерода, углекислый газ.

Удаление кислых газовых компонентов (углекислый газ и сероводород) является важнейшим этапом в процессе очистки природного газа перед его сжижением. Присутствие вредных примесей понижает теплотворную способность природного газа, вызывает коррозию, а также увеличиваются транспортные расходы. Сероводород и углекислый газ имеют высокую температуру кристаллизации по сравнению с метаном, и поэтому должны быть почти полностью удалены из природного газа перед его сжижением.

В настоящее время эффективным способом очистки природного газа является метод абсорции. В качестве абсорбентов используют водные растворы алканоламинов [2].

При абсорбции вредных примесей равновесная концентрация природного газа в абсорбенте зависит не только от природы самого газа и абсорбента, но и от температуры, давления и концентрации абсорбата.

Описание условий равновесия между газом и жидкостью возможно с помощью закона Генри, это практически реализуется, если протекает абсорбция трудно растворимых газов, либо осуществляется поглощение из газовых смесей с низким содержанием абсорбата.

Уравнение закона Генри имеет вид:

$$y_A = \frac{E}{P} x_A \,, \qquad (1)$$

где y_A – молярная доля абсорбата в газовой над его раствором в условиях равновесия, моль абсорбата/моль смеси;

x_A – молярная доля абсорбата в растворе, моль абсорбата/моль раствора;

E – константа растворимости (константа Генри), Па·моль раствора/моль абсорбата;

P – общее давление газовой смеси, Па.

E не зависит от общего давления в системе, но зависит от природы абсорбента и поглощаемого газа, и температуры системы [1].

Предполагается, что абсорбция протекает при постоянной температуре и давлении. На рисунке 1 изображены линии равновесия при изменении давления природного газа.

Линия равновесия на диаграмме $y_A - x_A$ изображается как прямая. При постоянной температуре угол наклона линии равновесия уменьшается с ростом давления.

Многие технологические газы насыщены капельной влагой и парами воды, которые могут негативно влиять на протекание технологических процессов, поэтому процесс осушки является неотъемлемым этапом подготовки газа перед его сжижением.

Типичная установка адсорбционной осушки с высокотемпературной регенерацией адсорбента включает два адсорбера с неподвижным слоем адсорбента, каждый из которыхпроходит попеременно следующие стадии:

1) Очистку газа (адсорбция влаги на адсорбенте и выдача осушенного газа).

2) Регенерацию адсорбента [3].

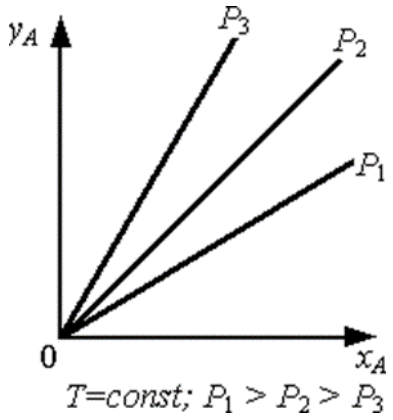


Рис. 1. Изменение положения линии равновесия для системы газ-жидкость при изменении давления

Осушка газов при высоком давлении позволяет добиться чрезвычайно хороших показателей по точке росы при относительно небольших расходах регенерирующего газа. Связано это с особенностями процесса адсорбции. Чем выше давление рабочей среды, тем выше парциальное давление примеси, а значит, и выше адсорбционная емкость адсорбента.

Таким образом, с увеличением давления возрастает растворимость, вследствие чего улучшается очистка газа, снижается расход воды. Однако при использованиивысоких давлений увеличивается расход энергии, поэтому на практике для удаления вредных примесей из газов применяют давление в пределах 1,6-3,0 МПа [4].

Технология удаления кислых газов нужна для крупнотоннажного производства СПГ. В Университете ИТМО разрабатывается новая технология сжижения природного газа при высоких давлениях порядка 15-20 МПа. Для оценки энергоэффективности изменений условий абсорбции вредных примесей необходимо провести численное исследование работы блока в новых технологических условиях.

Литература

1. Куприянова Г. А., Уточкина Е. А. Растворы. Свойства растворов: учебное пособие для студентов медицинских вузов – Благовещенск 2020. 144 с.
2. Фёдорова Е. Б. Современное состояние развитие мировой природного газа: технологии оборудование. имени И. М. Губкина, 2011. 159 с.

3. Мановян А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. М.: Химия, 1999. 567 с.
4. Ветошкин А. Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – с.: ил., библиогр.

Исследование энергоэффективности применения погружного насоса с альтернативным приводом в системах отгрузки сжиженного природного газа

Давыденко М. И [1]., Баранов А. Ю [2].

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Цель исследования - анализ энергоэффективности применения в системе отгрузки сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ погружного насоса с альтернативным (не электрическим) приводом. Анализ существующих систем отгрузки СПГ из резервуаров-хранилищ проводится с целью выявления критических (аварийных) элементов системы, подлежащих модернизации, и возможных вариантов модернизации структурных элементов. Проанализирована работа системы отгрузки СПГ из резервуаров-хранилищ, описаны основные характеристики системы. На основе проведенного исследования разработан метод повышения энергоэффективности системы отгрузки, модернизация конструкции погружного насоса для сжиженного природного газа (ПНСПГ). Были изучены основные типы приводов погружных насосов в целях выбора наиболее оптимального варианта модернизации систем отгрузки СПГ. В качестве модернизации была выбрана замена электропривода на гидравлическую турбину в составе ПНСПГ. Проанализированы возможные режимы работы насосной установки после модернизации. Представлено математическое описание основных режимов работы модернизированной конструкции. В дальнейшем необходимо провести параметрический расчет гидротурбины, а также расчет напряженно-деформированного состояния лопастей гидротурбины.

Ключевые слова
Сжиженный природный газ; крупнотоннажные хранилища; погружной насос отгрузки; центробежный насос гидравлическая турбина.

Использование погружных насосов в системе бункеровки СПГ обусловлено нерентабельностью линии отбора жидкости через боковую теплоизоляционную конструкцию танкера или резервуара. Погружной насос удален от окружающей среды на 30 м, что снижает теплопередачу окружающей среды и позволяет использовать один трубопровод для подачи и отбора жидкости из резервуара [1].

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 30 м насос должен иметь напор более 0,2 МПа. Расход СПГ из одного резервуара составляет 3 тысячи $м^3$/час. Номинальный расход СПГ обеспечивается за счет работы двух насосов с подачей 1250–2000 $м^3$/час (0,3 – 0,55 $м^3$/с).

Эксплуатация выявила ряд преимуществ погружных криогенных насосов, в частности, было преодолено негативное влияние уплотнений вращающихся элементов, которое вызывало утечки перекачиваемой жидкости, упрощена конструкция подшипников, электродвигатель в криогенной жидкости работал очень устойчиво. Идеальные условия отвода теплоты, выделяемой в обмотках электродвигателя за счет испарения части криогенной жидкости, позволили существенно уменьшить габаритные размеры электрического двигателя по отношению к аналогичным насосам, работающим в условиях воздушного охлаждения. Специфические свойства криогенных жидкостей благоприятно сказались на работе подшипников [2]. Хотя вязкость криогенных жидкостей сравнительно небольшая, поэтому плохо подходит в качестве смазывающего материала, однако хорошая теплоотводящая способность компенсирует этот недостаток, в связи с чем продолжительность непрерывной работы подшипников очень велика.

Рабочие колеса погружных насосов имеют закрытую конструкцию с одинарным всасыванием, в которой используется смешанное всасывание потока с использованием осевых и радиальных усилий. Электропривод погружных насосов рассчитан на работу от сети с частотой 50-60 Гц. Для управление погружным насосом возможно использовать частотно-регулирующий привод, что позволит изменять скорость вращения рабочего колеса насоса и регулировать производительность и создаваемый насосом напор.

Исходя из эксплуатационных характеристик существующих марок погружных насосов для отгрузки СПГ, основным видом данных насосов является центробежный насос с электрическим приводом. Однако наличие электропривода значительно повышает аварийность системы, насосы требуют полной ревизии и при поломке или отказе не подлежат ремонту и требуют полного вывода из эксплуатации. Кроме того, в большинстве из них используются подшипники качения, что также повышает аварийность системы и значительно снижает ее ремонтопригодность.

Нельзя не отметить то, что при погружении агрегата и насоса в криогенную жидкость в значительной степени устраняются неизбежные проблемы с уплотнением вала и утечками перекачиваемой жидкости,

так как весь агрегат находится в криогенной емкости. Это обстоятельство значительно упрощает эксплуатацию погружных насосов.

Анализ опыта эксплуатации хранилищ показывает, что СПГ насосы являются наиболее критичным узлом, который значительно повышает производственные риски. Необходимо выявить наиболее «слабые» места центробежного насоса для СПГ и разработать всевозможные варианты повышения его надежности. Это положение позволяет подойти к вопросу повышения надежности глубже, т.е. с учетом возможности внесения в конструкцию насоса принципиальных изменений, которые могут в последствии использоваться при производстве отечественных агрегатов.

Анализируя существующие конструкции ПНСПГ, а также основные проблемы, связанные с их эксплуатацией в условиях отгрузки и накопления СПГ, можно определить возможность внесения в конструкцию насоса принципиальных изменений, которые могут впоследствии способствовать исключению существующих эксплуатационных недостатков ПНСПГ и использоваться при производстве отечественных агрегатов.

Анализ характеристик, а также преимуществ и недостатков различных видов насосов на основании данных научно-технической литературы показал, что наиболее оптимальным для использования в качестве насоса в условиях работы с СПГ является центробежный насос. Учитывая, что порядка 95% всех используемых погружных насосов на сегодняшний день в качестве рабочего органа имеют рабочее колесо центробежного насоса, а также ввиду отсутствия альтернативы среди других видов насоса по совокупности удовлетворительных значений определяющих характеристик, рассматривать возможность изменения вида насоса в конструкции ПНСПГ не представляется возможным. Использование альтернативных видов рабочих колес может привести к снижению общей эффективности работы системы, возникновению дополнительных аварийных ситуаций и повышению эксплуатационных издержек.

Учитывая отсутствие вариантов замены рабочего колеса в составе ПНСПГ на альтернативное центробежному, повышение эффективности работы системы можно произвести посредством замены электрического привода. Электропривод, погруженный в жидкости, приводит к снижению ремонтопригодности – в случае поломки любого узла требуется полная замена насосного агрегата [3, 4]. В конструкции электродвигателя присутствует множество трущихся частей, работа которых в условиях сверхнизких температур ненадежна и значительно повышает аварийность системы в целом.

Недостаточно изученным 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. Объемный гидропривод способен на большее усилие при прочих равных условиях, чем гидродинамический, кроме того, он компактнее и легче. Именно поэтому объемные гидроприводы применяются сейчас в большинстве вариантов гидронасосов [5, 6].

Использование гидравлического привода для погружных насосов позволит исключить высокую аварийность, необходимость использования подшипников, а также обеспечит использование в качестве рабочей жидкости перекачиваемый из танкера СПГ. Таким образом, в качестве модернизации конструкции ПНСПГ заменим электрический привод на гидравлический.

Стоит отметить, что технологическая схема производства СПГ содержит скрытый источник механической энергии, который можно использовать для привода ПНСПГ. «Жидкостной детандер» (гидротурбина) снижает давление потока СПГ, равное давлению магистрального потока ПГ (6,5 МПа), до давления, близкому к атмосферному. Поток жидкости совершает механическую работу над гидротурбиной, которая, в свою очередь, вращает электрогенератор и возвращает часть энергии, затраченной на сжатие ПГ при подаче в магистральный газопровод. Поток СПГ под давлением 7 МПа обладает значительным запасом механической энергии, которую можно использовать для привода в движение рабочего колеса ПНСПГ.

Поток жидкости отбирается через регулирующий вентиль в дополнительную магистраль, которая проходит параллельно основной магистрали подачи жидкости в криогенную накопительную цистерну (емкость) и находится с ней в одной изоляции, что снижает подвод теплоты к этому дополнительному технологическому потоку. Соответственно, в насосный агрегат СПГ приходит в недогретом состоянии, т.е. его свойства соответствуют свойствам традиционной жидкости (воде). Если подать этот поток на гидротурбину, соосно размещённую с ПНСПГ, вся энергия жидкостного потока перейдёт в энергию вращения рабочего колеса турбины и, соответственно, в энергию вращения рабочего колеса насоса. После сброса давления поток СПГ может быть направлен либо в накопительную емкость, либо в трубопровод выдачи СПГ в танкер [7, 8]. Управление гидроприводом обеспечивается запорной арматурой. Использование СПГ в качестве рабочей жидкости исключет проблемы уплотнения подшипников, так как переток жидкости со стороны привода на сторону нагнетания не ухудшает работу насоса.

Поток СПГ, прошедший через турбину, сбрасывается в накопительную емкость для СПГ в танкер. Использование СПГ в качестве источника механической энергии значительно упрощает конструкцию

ПНСПГ. Устраняются проблемы уплотнения подшипников, так как переток жидкости из турбины в рабочее колесо не влияет на производительность насоса.

Для оценки работоспособности агрегата ПНСПГ с приводом от гидротурбины необходимо составить математическую модель работы рабочего колеса гидротурбины в условиях отгрузки СПГ из крупнотоннажной накопительной емкости.

Энергия, затрачиваемая на вытеснение единицы массы СПГ за пределы хранилища, зависит от наполненности резервуара. Уровень СПГ в хранилище является функцией времени. Уравнение для расчета энергии вытеснения СПГ выглядит следующим образом:

$$E_{\text{выт}} = g \cdot (Y_{max} - y_{\text{спг}}), \qquad y_{\text{спг}} = f(\tau)\ , \tag{1}$$

где Y_{max} – максимальная высота емкости, $Y_{max} = 27$ м; $y_{\text{спг}}$ – уровень СПГ с емкости в каждый момент времени.

Уровень СПГ в накопительной емкости изменяется в пределах от 10% до 90% максимального уровня заполнения. Для емкостей накопления СПГ проекта «Балтийский СПГ» максимальный уровень налива составляет 24 метра; минимальный – 3 метра.

Процесс отгрузки СПГ из накопительной емкости может осуществляться двумя способами:

- при постоянном расходе СПГ высокого давления на рабочем колесе гидротурбины и переменном расходе в линии выдачи;
- при постоянном расходе в линии выдачи и переменном расходе СПГ высокого давления на турбине.

В случае постоянного расхода СПГ высокого давления на турбине полная мощность турбины зависит исключительно от уровня СПГ в накопителе в данный момент времени. Приращение мощности турбины определяется приращением разности уровней СПГ «до» и «после» перемещения массы СПГ в линию выдачи.

Постоянный расход СПГ высокого давления на турбине приводит к возникновению переменного расхода в линии выдачи. Изменения уровня СПГ одинаково влияет на изменение как мощности турбины, так и мощности насоса. При этом полная мощность насоса зависит от величины расхода на выдаче в заданный момент времени.

Система уравнений, описывающая режим работы агрегата с гидроприводом, для первого варианта эксплуатации, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} m_{\text{тур}} = const \\ N_{\text{тур}} = m_{\text{тур}} \cdot N_{\text{тур}}^{\text{уд}} = \dfrac{m_{\text{тур}} \cdot g}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{тур}}} \cdot \dfrac{\delta y_{\text{спг}}}{\delta \tau} \\ N_{\text{нас}} = \eta_{\text{нас}} \cdot N_{\text{тур}} = \dfrac{m_{\text{тур}} \cdot g}{\eta_{\text{тур}}} \cdot \dfrac{\delta y_{\text{спг}}}{\delta \tau} \\ m_{\text{нас}} = \dfrac{N_{\text{нас}}}{\rho \cdot g \cdot y_{\text{н}}}, \end{cases}$$

где $y_{\text{н}}$ – напор насоса.

В случае использования режима эксплуатации насосного агрегата с переменным расходом потока высокого давления на турбине, линия выдачи, СПГ работает в номинальном режиме при постоянном режиме. Мощность, развиваемая насосом в процессе работы, является функцией уровня СПГ в накопительной емкости.

В процессе отгрузки величина потенциальной энергии, которую необходимо передать массе СПГ для перемещения в линию выдачи увеличивается, следовательно, потребляемая насосом мощность с течением времени увеличивается. Регулирование величины расхода потока СПГ высокого давления через рабочее колесо турбины должно происходить таким образом, чтобы с учетом КПД составных элементов агрегата на валу насоса обеспечивалась необходимая мощность, а расход в линии выдачи оставался постоянным в течение всего процесса отгрузки.

Система уравнений, описывающая режим работы агрегата с гидроприводом, для второго варианта эксплуатации имеет следующий вид:

$$\begin{cases} m_{\text{нас}} = const \\ N_{\text{нас}} = m_{\text{нас}} \cdot N_{\text{тур}}^{\text{уд}} = \dfrac{m_{\text{нас}} \cdot g}{\eta_{\text{нас}}} \cdot \dfrac{\delta y_{\text{спг}}}{\delta \tau} \\ N_{\text{тур}} = \dfrac{N_{\text{нас}}}{\eta_{\text{тур}}} = \dfrac{m_{\text{нас}} \cdot g}{\eta_{\text{тур}} \cdot \eta_{\text{тур}}} \cdot \dfrac{\delta y_{\text{спг}}}{\delta \tau} \\ m_{\text{тур}} = \dfrac{N_{\text{нас}}}{\rho \cdot g \cdot Y_{\text{тур}}}, \end{cases}$$

где $Y_{\text{тур}}$- напор в линии подачи СПГ в емкость.

С помощью полученных систем уравнений представляется возможным расчет основных характеристик двух режимов работы модернизированного насосного агрегата в процессе отгрузки СПГ из накопителя.

После верификации предполагается усложнить математическое описание процессов, протекающих в ПНСПГ, и перейти к исследованию работы гидропривода с переменным расходом СПГ высокого давления.

Литература

1. Голубева И. А., Мещерин И. В. Производство сжиженного природного газа: вчера, сегодня, завтра // Мир нефтепродуктов. 2016. № 6. с. 4–13.
2. David A. Coyle, Vinod H. Patel Process and pump services in the LNG industry. 2018. pp. 179–185.
3. Teregulov R. K. Perfection of technologies for production and storage of liquefi ed natural gas: Candidate thesis (engineering) // Ufa State Petroleum Technological University. 2009.
4. Rush S., Hall L. Tutorial on cryogenic submerged electric motor pump 2018. pp. 57–62.
5. Осипов П. Е. Гидравлика, гидравлические машины и и гидропривод: Уч. Пособие. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесная промышленность. 2011.
6. Weisser G. L. Modern Submersible Pumps for cryogenic liquids // Word Pump. 2014.
7. Hylton E. H. State of the Art Submerged cryogenic motor pump and turbine generators // Proceeding of Gastech. Conference, Houston, Texas. 2010.
8. Дурнов П. И. Насосы и компрессоры. // М: Машгиз. 2014. 938 с.

Энергомоделирование здания: общий анализ структуры коттеджа

Никитина В. А., Сулин А. Б.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Энергомоделирование является инструментом для сохранения ресурсов, времени и экологичного пути развития. Здания потребляют колоссальное количество энергии и жилые загородные дома- не исключение. Очень часто причиной энергетических и финансовых потерь является ошибочный расчёт инженерных систем здания и некорректный выбор составляющего материала для ограждающих конструкций. Вследствие этого в проект закладывается некачественный тепловой контур дома, что особенно может ощущаться в зимнее время года в северной части России. Проведённое исследование является примером для анализа как уже имеющихся, так и проектируемых зданий и сооружений.

Ключевые слова
Энергомоделирование, энергосбережение, ограждающие конструкции, тепловой комфорт.

Введение

Примерно 70–75% от всей потребляемой энергии в России уходит на отопление зданий и сооружений [1]. Для отопления используется топливо, которое чаще всего получают в процессе обработки невозобновляемых ресурсов планеты. А из возобновляемых источников на данный момент либо не удаётся получить требуемое количество энергии, либо сам переход на такой вид получения энергии является финансово затратным. Выходом из такой ситуации может стать комбинированный подход, то есть совмещение способов получения энергии. Но проблему теплопотерь это не решит, а исправлять изначально нужно источник проблемы. Чтобы снизить энергопотребление, необходимо повысить тепловую эффективность строительных конструкций при помощи обоснованного подбора теплоизоляционных материалов, прибегать к методам теплоутилизации [2]. В идеальном сценарии такая проблема может быть решена на начальном этапе, когда здание только проектируется. Для решения данной проблемы рационально использовать методы и инструменты энергомоделирования.

Объект и метод исследования

В представленном исследовании рассмотрено двухэтажное здание (рис. 1), которое расположено в городе Санкт-Петербург. Объект оснащён системой вентиляции, кондиционирования и отопления. Для обеспечения нормируемых параметров микроклимата дополнительно установлены радиаторы в комнатах. В здании предусмотрена постоянная температура воздуха 21°C, при условии, что как минимум один человек находится в доме. В будние дни люди находятся в здании с 20:00 до 8:00, в выходные дни 24 часа в сутки. Модель не имеет реального прототипа и является цифровым объектом изучения. Для исследования используется программа OpenStudio, которая является инструментом для энергомоделирования [3].

Рис. 1. Внешний вид и план здания

Для здания выбраны материалы для ограждающих конструкций, характеристики которых представлены в таблице.

Таблица.

Технические характеристики конструктивных элементов здания

Конструктивные элементы помещений	**Материал**		**Теплофизические характеристики**
	Тип	**Толщина**	
Наружные стены	Кирпич	0,38 м	Коэффициент теплопроводности: $\lambda = 0.81 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 1800 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 880 \frac{Дж}{кг*К}$
	Пенобетон	0,12 м	Коэффициент теплопроводности: $\lambda = 0.112 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 420 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 880 \frac{Дж}{кг*К}$
Внутренние стены	Гипсокартон G01a	0,019 м	Коэффициент теплопроводности: $\lambda = 0.16 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 800 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 1090 \frac{Дж}{кг*К}$
	Воздушное пространство	-	Тепловое сопротивление $R = 0.15 \frac{м^2*К}{Вт}$
	Гипсокартон G01a	0,019 м	
Междуэтажное перекрытие	Лёгкий бетон М11	0,100 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0.53 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 1280 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 840 \frac{Дж}{кг*К}$
	Воздушное пространство	-	Тепловое сопротивление $R = 0.18 \frac{м^2*К}{Вт}$
	Звукопоглощающая плитка	0,019 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0.06 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 368 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 590 \frac{Дж}{кг*К}$
Перекрытие между фундаментом и первым этажом	Плотный ковролин	-	Тепловое сопротивление $R = 0.21648 \frac{м^2*К}{Вт}$
	Бетон	0,102 м	
	Теплоизоляция	-	Тепловое сопротивление $R = 1.571832 \frac{м^2*К}{Вт}$
Оконные проёмы	Стекло	0,004 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 2.2 \frac{Вт}{м*К}$
	Воздух	0,008 м	-
	Стекло	0,004 м	
	Воздух	0,008 м	
	Стекло	0,004 м	

Внутренние дверные проёмы	Древесина G05	0,025 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0.15 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 608 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 1630 \frac{Дж}{кг*К}$
Входная дверь	Металлическая основа	0,0008 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 45.28 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 608 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 1630 \frac{Дж}{кг*К}$
	Теплоизоляция	0,025 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0.03 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 43 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 1210 \frac{Дж}{кг*К}$
Фундамент (ленточный)	Бетон	0,203 м	Коэффициент теплопроводности $\lambda = 1.326 \frac{Вт}{м*К}$ Плотность $\rho = 1842 \frac{кг}{м^3}$ Удельная теплоёмкость $c = 912 \frac{Дж}{кг*К}$

Результаты и обсуждение

По результатам моделирования получен график (рис. 2), при помощи которого можно проанализировать теплоустойчивость ограждающих конструкций и соответственно усовершенствовать уязвимые области, выбрав наиболее подходящие материалы.

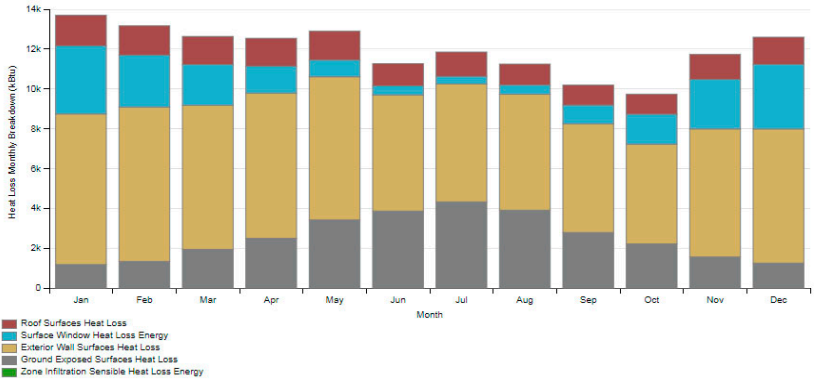


Рис. 2. График теплопотерь через ограждающие конструкции

В данном случае теплопотери высоки у внешних стен, которые контактируют с окружающей средой, это связанно, как с тем, что они имеют наибольшую площадь в сравнении с остальными внешними

ограждающими конструкциями, так и с некорректным выбором материала. На графике также можно проанализировать кровельное покрытие, окна, поверхности, контактирующие с землёй и потери тепла через инфильтрацию.

Заключение

Выполнение энергетического анализа теплового режима здания на этапе проектирования позволяет существенно сокращать потери, как финансовые, так и временные. Сокращая теплопотери через ограждающие конструкции путём рационального подбора материалов на этапе проектирования с использованием вычислительных возможностей программного продукта OpenStudio, можно получить цифровую модель энергоэффективного здания.

Литература

1. Башмаков И. А. Энергопотребление зданий сферы услуг: мировой опыт //Энергосбережение. 2015. №. 5. С. 24–29.
2. Nikitin A. A., Nikitina V. A., Sulin A. B., Ryabova T.V. Analysis of the heat recovery potential in the classroom // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021.
3. Guglielmetti R., Macumber D., Long N. OpenStudio: an open-source integrated analysis platform. – National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2011. – №. NREL/CP-5500-51836.

Математическое описание рабочего процесса в винтовом одноротором компрессоре при регулировании производительности

Цветков В. А., Пронин В. А., Кованов А. В., Калашникова Е. А., Долговская О. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В составе холодильных систем и систем кондиционирования воздуха компрессоры работают в режимах частичной нагрузки. Для снижения энергопотребления компрессоры снабжают регуляторами производительности, таким образом балансируя объемный расход компрессора и фактическую потребность объекта в искусственном холоде. В аспекте моделирования работы винтового одноротором компрессора (ВКО) особый интерес представляет разработка математической модели процессов, происходящих в рабочих органах с учетом действия внутреннего (встроенного) регулятора производительности.

Ключевые слова
Винтовой одноротором компрессор, регулирование производительности.

Математическое моделирование, являясь универсальным методом описания происходящих в технических системах процессов, уже на протяжении относительно долгого времени зарекомендовало себя как надежный способ определения необходимых параметров и структур для проектирования конкурентоспособных технических устройств и их исследования [1, 2]. В частности, к таким устройствам можно отнести энергетические машины, в т.ч. компрессоры.

Рабочий процесс ВКО (рис. 1) в схематичном виде изображен на рисунке 2. Компримируемая среда поступает в полости винта-ротора через окно всасывания (полость всасывания) и начинается процесс сжатия. Затем компримируемая среда сжимается в двух противоположных винтовых полостях, в которых расположены отсекатели (полость нагнетания) и поступает к окну нагнетания. В процессе работы происходит теплопередача, утечки рабочей среды через концевые уплотнения, а также перетечки в рабочей части ВКО [3, 4].

Среди ряда проанализированных литературных источников по теме исследования наиболее близкой в контексте математического моделирования физических процессов, происходящих в рабочих органах винтовых компрессоров, авторы считают работу [5].

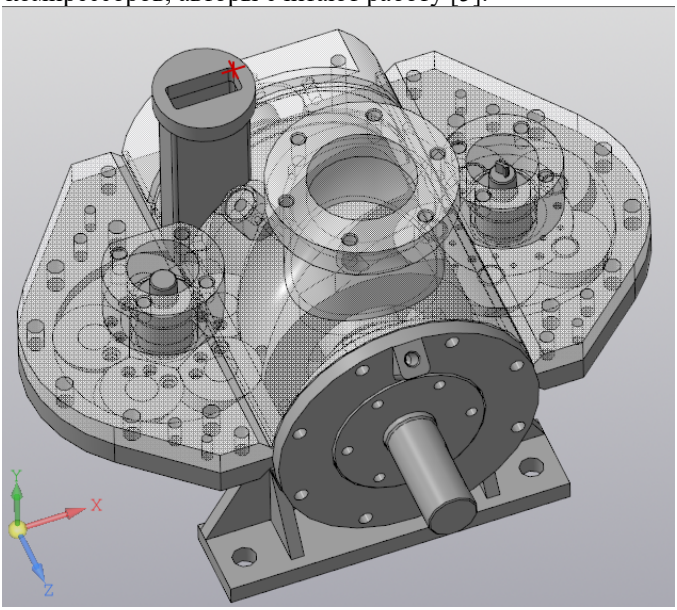


Рис. 1. Винтовой одноротorный компрессор с окружным профилем зуба отсекателя

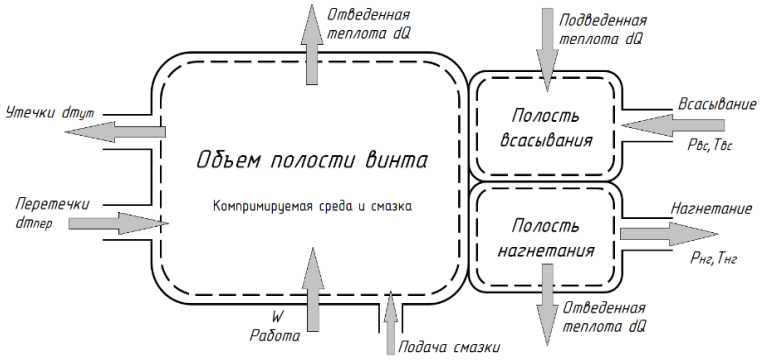


Рис. 2. Упрощенная модель рабочего процесса в ВКО

Однако в предложенной математической модели [5] отсутствуют сведения об учете влияния смазки на термодинамические характеристики рабочей среды. Подавляющее большинство выпускаемых в настоящее время ВКО относится к классу маслозаполненных машин [6], смазка применяется для уменьшения трения, а также выполнения функции охлаждения и герметичности щелей между рабочими органами. Таким образом, для ВКО [3] в условиях регулируемой производительности схема потока компримируемой среды станет более сложной, а математическая модель, выполняемая [5], и предложенные в ней уравнения являются менее предпочтительными с точки зрения адекватности моделирования. Поэтому для создания более точной математической модели, описывающей процесс управления производительностью ВКО [3], необходимо внести корректировки в предложенные в данной работе уравнения.

Течение рабочей среды через перепускное окно в процессе регулирования производительности ВКО [3] поворотным кольцом (рис. 3) будем рассматривать как двухфазный поток. Принимая во внимание теоретические аспекты материалов [7-10], для анализа процесса регулирования производительности можно использовать модель тонкостенной диафрагмы (рис. 4), проходя через которую, газомасляный поток будет иметь турбулентный характер течения.

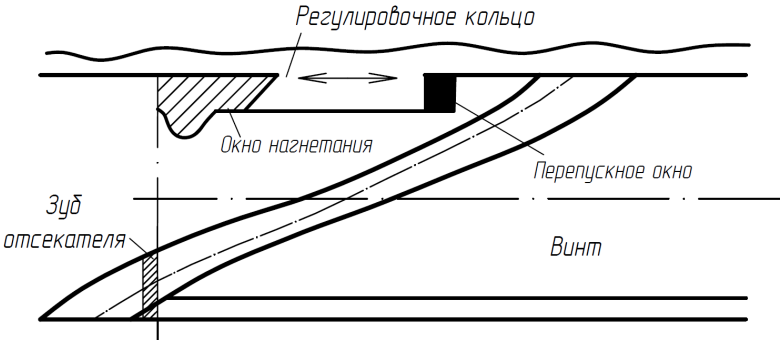


Рис. 3. Предлагаемая система регулирования производительности ВКО посредством поворотного кольца

В проводимом исследовании адаптируется физический смысл дифференциальных уравнений изменения давления и температуры компримируемой среды в контрольном объеме в зависимости от времени [5]

для ВКО [3], а также разрабатывается уравнение, описывающее массовый расход перепускаемой в область всасывания газомасляной смеси [7-10].

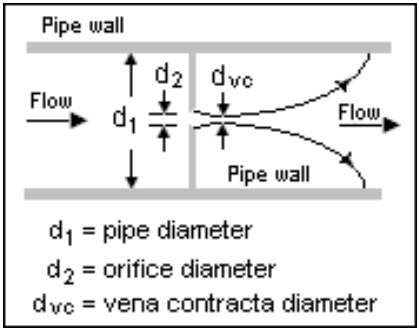


Рис. 4. Схема диафрагмы

Для расчета массового расхода компримируемой среды, в таком случае будет справедливо уравнение:

$$G = \sum \left(\frac{dm_{\text{вх}i}}{d\alpha} - \frac{dm_{\text{ут}}}{d\alpha} + \frac{dm_{\text{пер}}}{d\alpha} - \frac{dm_{\text{рег}(*)}}{d\alpha} \right) * 2zn, \quad (1)$$

где

$dm_{\text{вх}i}$ – присоединяемая масса рабочего вещества, кг;

$dm_{\text{ут}}$ – масса утечек, кг;

$dm_{\text{пер}}$ – масса перетечек, кг;

$dm_{\text{рег}(*)}$ – масса перепускаемого рабочего вещества (двухфазного потока), кг;

α – угол поворота центрального винта-ротора, рад;

z – число зубьев отсекателя;

n – частота вращения винта-ротора, $с^{-1}$.

Таким образом, при проведении дальнейших исследований становится возможным анализ термодинамических и энергетических характеристик ВКО [3] при регулировании производительности встроенным регулятором.

Литература

1. Göttlich S., Herty M., Milde A. (ed.). Mathematical Modeling, Simulation and Optimization for Power Engineering and Management. – Springer Nature. T. 34. 2021.

2. Плотников С. А., Семенов Д. М., Фрадков А. Л., Математическое моделирование систем управления. – СПб: Университет ИТМО, 2021. 193 с.
3. Винтовой одноротorный маслозаполненный компрессор: Патент РФ 199030: МПК7 F 04 C 18/16 / Кузнецов Л. Г., Кузнецов Ю. Л., Пронин В. А., Бураков А. В., Божедомов А. В., Котлов Н. А.; заявитель и патентообладатель: АО «Компрессор», — заявл. 2020114579; опубл. 07.08.2020, Бюл. № 22.
4. Minikayev A. F., Pronin V. A., Zhignovskaia D. V. Theoretical Calculation of Compressed Media Leaks in Working Bodies of Single-Rotor Screw Compressor with Circumferential Tooth Shape//Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020, pp. 191–196.
5. Пекарев В. И., Ануфриев А. В. Исследование процесса сжатия холодильного винтового компрессора с регулируемой производительностью //Турбины и компрессоры. 2004. №. 3. С. 4.
6. Пронин В. А. Винтовые одноротorные компрессоры для холодильной техники и пневматики: дис... д. т. н.: 05.04.03. – СПб., 1998. 226 с.
7. Wallis G. B. One-dimensional two-phase flow. – Courier Dover Publications, 2020.
8. Green D. W., Southard M. Z. Perry's chemical engineers' handbook. – McGraw-Hill Education, 2019.
9. van den Bosch, CJH, Weterings, RAPM, Methods for the Calculation of Physical Effect: Due to Releases of Hazardous Materials (liquids and Gases) Yellow Book, CPR 14E, Director-General of Labour, 2005.
10. Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures, Appendix B, Federal Emergency Management Agency, U.S. Dept. of Transportation, and U.S. Environmental Protection Agency, 1989.

Использование сжиженного природного газа для компенсации тепловой нагрузки на систему для охлаждения многоместной криотерапевтической установки

Баранов А. Ю. [1], Василенок А. В. [2]

1 – Научно производственное предприятие «КРИОН», г. Санкт-Петербург, Россия

2 – Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Исследования, выполненные в Университете ИТМО показали, что современные многоместные криотерапевтические установки не выполняют свою технологическую задачу из-за недостаточной энерговооружённости и неверного температурно-временного режима. Разработанные в Университете ИТМО рекомендации по оптимизации технологии группового криотерапевтического воздействия пока не реализованы на практике, так как для этого потребуется на порядок увеличить затраты жидкого криоагента (азота) и модернизировать теплоотводящую аппаратуру. Затраты на приобретение большего количества криоагента значительно увеличат себестоимость процедур общего криотерапевтического воздействия в многоместных кабинах. Для сохранения доступности криотерапии целесообразно разработать методы снижению эксплуатационных затрат. В качестве альтернативы жидкому азоту можно использовать скрытую теплоотводящую способность (СТОС) сжиженного природного газа (СПГ), который подвергается регазификации на центральных или локальных терминалах природного газа. В зависимости от условий регазификации возможна организация передачи тепловой нагрузки от устройства для общей криотерапии непосредственно к потоку СПГ или с применением компрессионных трансформаторов теплоты. Снижение финансовых затрат на реализацию технологии общего криотерапевтического воздействия, обеспечит широкий доступ населения к этой социально значимой процедуре, в том числе и на территориях, где отсутствует возможность снабжения жидким азотом.

Ключевые слова

Сжиженный природный газ, регазификация, криоагент, энерговооруженность, теплоотводящая способность.

В Университете ИТМО проводятся всесторонние исследования в области криотерапии и ее эффективности, как для индивидуальных криотерапевтических установок, так и для групповых. Доказано, что в современном виде групповые установки неэффективны из-за недостаточной энерговооруженности, малой теплопередающей поверхности теплообменных аппаратов и неэффективной технологии управления подачей криоагента в трубное пространство рекуперативных теплообменников [1]. Показано, что для достижения высокого физиотерапевтического эффекта необходимо снизить температуру воздуха в многоместных установках до уровня не выше 135 К, а затраты жидкого азота увеличить в 8–10 раз. При таком увеличении расхода криоагента многоместные криотерапевтические установки утратят конкурентоспособность, так как на данный момент основным их преимуществом считается относительно малые затраты на приобретение криоагента. Учитывая популярность многоместных криотерапевтических установок в странах Западной Европы, целесообразно определить меры для преодоления указанных выше экономических проблем. Сотрудниками Университета ИТМО предпринят поиск альтернативных решений задачи криостатирования зоны общего криотерапевтического воздействия многоместных установок. Показано, что определенный интерес представляет использование в криотерапевтических установках доступного, особенно в странах Западной Европы, и относительно дешевого сжиженного природного газа. Удельная теплоотводящая способность СПГ на температурном уровне 135 К составляет 550 кДж/кг, что 2 раза больше аналогичного показателя для традиционного криоагента (жидкого азота). При этом потенциальных потребителей СПГ интересует исключительно как источник энергоносителя горючего природного газа, а перевод СПГ в газообразное состояние (регазификация) сопровождается дополнительными затратами энергии [2]. Учитывая это, специалисты постоянно разрабатывают технологические процессы, способные использовать теплоотводящую способность сжиженного природного газа на терминалах регазификации СПГ. Предложено использовать многоместные криотерапевтические установки в качестве источника теплоты регазификации СПГ. В этом случае затраты на приобретение криоагента для системы охлаждения многоместного криотерапевтического комплекса снизятся до пренебрежимо малой величины.

На сегодняшний день для подвода теплоты к сжиженному природному газу затрачиваются различные виды энергии: теплота окружающего воздуха или морской воды, теплота ожижения компонентов атмосферного воздуха и даже электрическая энергия. Логично изучить возможность использования в качестве источника тепловой энергии для регазификации СПГ теплоту, выделяемую пациентами во время процедур общей криотерапии. В некоторых групповых установках ежедневная пропускная способность достигает до 1000 человек в день. С поверхности тела одного пациента за время процедуры выделяется не менее 600 кДж теплоты. Суммарная тепловая нагрузка, связанная с теплотой, аккумулированной поверхностью тела пациентов, достигает величины 600 МДж в день**.** Причём суммарная тепловая нагрузка на систему охлаждения многоместной криотерапевтической установки обычно в 2 раза превышает тепловыделение от пациентов. Таким образом, многоместные установки могут рассматриваться как источник 1,2 ГДж вторичной теплоты ежедневно. Этого количества теплоты достаточно для регазификации примерно 2 тонн СПГ в сутки.

Выполненные предварительные эксперименты показывают, что в отличие от жидкого азота, кипение СПГ в трубах рекуперативных теплообменников системы охлаждения процедурной кабины не переходит в пленочный режим из-за относительно малого перепада температур между источником теплоты и температурой насыщения криоагента [3]. Однако для подачи природного газа в магистральный трубопровод при регазификации поддерживается достаточно высокое давление паров СПГ. Из-за этого температура кипения криоагента может превышать температурный уровень криостатирования процедурной кабины. Это ограничивает сферу применения СПГ в качестве криогента. Она может быть реализована только в тех случаях, когда регазификация СПГ используется для снабжения локальных газовых сетей с малым давлением.

Для использования теплоты регазификации СПГ в других случаях, необходимо использовать дополнительный цикл трансформации теплоты, который позволит охлаждать процедурную кабину за счёт отвода теплоты на температурный уровень порядка 160 К. Ожидаемый перепад температуры между теплоприемником и теплоисточником вспомогательного цикла составит 30-40 К.

Проект имеет социальное высокое значение, так как практика показала, что процедуры общей криотерапии обладают высоким потенциалом при профилактике заболеваемости COVID и реабилитации пациентов, перенёсших это заболевание.

Литература

1. Баранов А. Ю., Василенок А. В., Соколова Е. В., Шестакова Е. А. Теплофизические основы производства эффективной аппаратуры для общего криотерапевтического воздействия // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – 2018. №3. С. 39–57.
2. Баранов А. Ю. Низкотемпературные установки медицинского назначения. Ч. 1. Аппараты для общего криотерапевтического воздействия: учеб. пособие. – СПб: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2016. 178 с.
3. Vasilenok A. V., Baranov A. Y., Malysheva T. A., Filatova O. A., Kutyanova L. R., Andreev A. M., Solonina Y. A. The cost of liquid nitrogen for WBC sessions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2020. Vol. 826. №. 1. pp. 012014.

Сравнительный анализ использования витых труб в теплообменном аппарате

Артемьев Д. В., Зайцев А. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Сегодня эффективное использование теплопередачи играет важнейшую роль в теплотехнике. В статье рассматривается использование витых труб для увеличения коэффициентов теплоотдачи в трубном пространстве и тем самым увеличения площади поверхности теплообмена. Проводится сравнение использования стандартной круглой трубы и витой трубы, а также приводится методика расчета витых труб.

Ключевые слова
Теплообмен, совершенствование теплопередачи, теплообменный аппарат, интенсификация теплообмена.

На сегодняшний день более 85% всех новых применений теплообменных аппаратов в нефтепереработке, химической, нефтехимической промышленности и производстве электроэнергии обеспечивается за счет использования стандартных кожухотрубных теплообменников [1-3]. Основой для этой статистики является технология изготовления кожухотрубного аппарата, который является экономически эффективным и проверенным решением для широкого спектра требований к теплопередаче. Однако существуют ограничения, связанные с технологией, которые включают неэффективное использование перепада давления в межтрубном пространстве, зон мертвого или низкого расхода среды вокруг перегородки, где может произойти загрязнение и коррозия, и вибрация труб, вызванная потоком движения среды, что в конечном итоге может привести к разрушению конструкции. Теплообменник с витыми трубками (рисунок) состоит из пучка труб уникальной формы, собранных в пучок без использования перегородок. Трубы подвергаются уникальному процессу формования, в результате которого получается овальное поперечное сечение с наложенной спиралью, обеспечивающей спиральный путь потока со стороны трубы. Процесс формования гарантирует, что толщина стенки трубы остается постоянной, а предел текучести материала не превышается, тем самым сохраняя механическую целостность. Концы труб имеют круглую форму, что позволяет соединять обычные трубы с трубной решеткой.

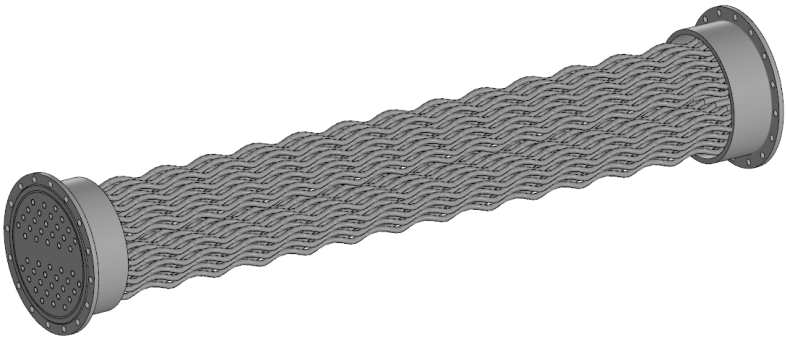


Рисунок. Кожухотрубный теплообменник с витыми трубами

В статье рассматривается применение теплообменника с витыми трубами в процессе ожижения природного газа, а также приводится методика расчета коэффициентов теплоотдачи и падения давления в трубном пространстве. Проводится сравнительный анализ использования витой трубы и стандартной круглой трубы. Рассчитываются числа Рейнольдса и Нуссельта для обоих видов труб, а также оцениваются и моделируются изменения скорости движения потоков.

Литература

1. Nitesh B. Dahare, Dr. M. Basavaraj, Experimental Analysis and Performance Characteristic of Heat Transfer in Shell and Twisted Tube Heat Exchanger // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2015. № 7. С. 1142–1148.
2. Dr. Aamer Majeed Al- Dabagh, AbdulKareem Abbas, Ahmed Qussay Salam, Experimental and numerical study of enhancement heat transfer in twisted tubes heat exchangers // International Journal of Computation and Applied Sciences. 2012. №1. С. 194-215.
3. Vivek P. Thawkar, Hemant S. Farkade, Experimental and CFD Analysis of Twisted Tube Heat Exchanger under Forced Convection // International Journal of Science and Research (IJSR). 2013. № 5. С. 137–142.

Выбор методики извлечения этановой и пропановой фракций из природного газа на заводе СПГ

Лихолитов Д. С., Зайцев А. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В работе рассмотрены актуальность и методы извлечения этана и пропана из природного газа при его подготовке к сжижению на предприятиях, где можно использовать этан, пропан и его производные. Был проведен сравнительный анализ двух низкотемпературных методов. Численный эксперимент проводился с применением программы Aspen HYSYS.

Ключевые слова
Природный газ, методы извлечения, этан, пропан, дроссель, холодильник.

В современной действительности природный газ заслуженно получил название «топлива 21 века», так как его потребительские свойства имеют намного больше преимуществ по сравнению с нефтью и нефтепродуктами и к тому же запасы газа значительно богаче. Однако практически все его новые месторождения расположены в отдалённых районах нашей огромной страны, что сильно усложняет строительство экономически выгодных протяжённых магистральных трубопроводов. Поэтому сейчас большее внимание специалистов уделяется производству сжиженного природного газа. Природный газ, искусственно сжиженный путем охлаждения, сегодня является одним из самых перспективных, безопасных, негорючих, экологически чистых источников энергии [1].

Перед процессом сжижения газа необходима его предварительная очистка от вредных серосодержащих соединений, углекислого газа, влаги, а также от фракции тяжёлых углеводородов. Многие месторождения в России содержат природный газ, который обогащён лёгкими углеводородами, алканами, с общей молекулярной формулой C_nH_{2n+2}, в том числе этаном и пропаном, которые являются ценнейшими дешёвыми источниками сырья для их дальнейшей глубокой газохимической переработки. С этой целью необходимо исследовать, разрабатывать и

внедрять инновационные эффективные технологические схемы глубокого извлечения этана и пропана из сжиженного природного газа на заводах СПГ, ориентированных на дальнейшую их химическую переработку и получение синтетических полимерных высокомолекулярных углеводородов с высокой добавленной стоимостью.

При переработке углеводородов в качестве продуктов получаются промышленные газы, которые затем используются в качестве сырья в различных технологических процессах. Этановая фракция используется для пиролиза, а также как хладагент на установках для депарафинизации масел. Пропановая фракция также используется как сырье для пиролиза, как бытовой сжиженный газ и в качестве хладагента для многих технологических установок. Чтобы извлечь из природного газа такие углеводороды, как этан, пропан, бутан и выше, используется процесс отбензинивания природного газа [2].

Извлечение углеводородов первоначально проводилось на газоместорождениях и газоперерабатывающих заводах компрессионным методом, сжимая его до давления от 1 до 4 МПа, а затем охлаждая до температуры от –20 °С до –30 °С. Затем при получении сжиженного углеродного газа (пропановая и бутановая фракция) извлечение углеводородов стали проводить сначала методом масляной, а затем низкотемпературной абсорбции при давлении от 7 МПа и температуре до –45 °С. В качестве абсорбента в этом процессе используются керосиновые фракции, при которых степень извлечения пропана выше и составляет от 80 % до 95 %. Для извлечения остатков пропана и высших фракций из тощих природных газов в схеме с низкотемпературной абсорбцией может быть использована адсорбция на активированном угле.

Таблица 1.

Исходный состав природного газа

Состав газа	**Мольное содержание компонента**	**Параметры газа**	**Значение**
Азот	0,0019	Давление газа на входе, бар	40
CO_2	0,0094		
Метан	0,8324	Температура газа на входе, °С	16
Этан	0,0665		
Пропан	0,0206	Расход газа, кмоль/час	120,70
н – Бутан	0,0346		
и - Бутан	0,0346		

Современным и наиболее эффективным методом извлечения является низкотемпературная сепарация. Далее выполнен расчет этого процесса. Состав газа выбран соответствующим составу природного газа месторождений, близких к Ямал СПГ (таблица 1).

Расчеты были проведены в программе Aspen Hysys [2, 3]. Эта программа является самой известной и доступной в нефтегазовой отрасли.

Рассмотрим первую схему низкотемпературной сепарации с дросселем, приведенную на рисунке 1. Сырьевой поток природного газа попадает в первый сепаратор, который отделяет присутствующие в газе жидкие компоненты. Потом газ первично охлаждается в газовом теплообменнике. После охлаждения в теплообменнике газ поступает в дроссель, где охлаждается еще раз для превращения в жидкость тяжелых углеводородов. При этом образуется газ, пригодный к транспортировке. После охлаждения в дросселе поток идет в низкотемпературный сепаратор, откуда осушенный холодный газ снова подается в газовый теплообменник и затем поступает потребителю, в то время как отделенный конденсат смешивается с жидкостью из первичного сепаратора. Вся смесь подается в ректификационную колонну депропанизации на разделение, после чего появляется жидкая фракция с определенным содержанием пропана.

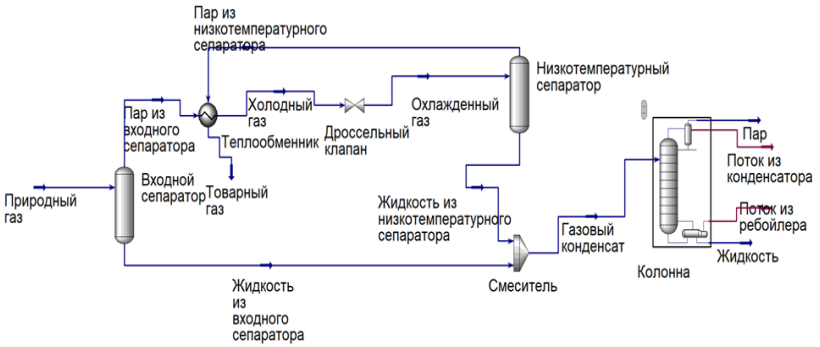


Рис. 1. Схема низкотемпературной сепарации природного газа с дросселем

Рассмотрим схему низкотемпературной сепарации с холодильником (рис. 2). Поток из смесителя поступает во входной сепаратор, в котором отделяется жидкость. Газ из сепаратора направляется в теплообменник, где захолаживается холодным газом. Для охлаждения до определенной температуры газ направляется в испаритель пропана. В холодильнике достаточно тяжёлые углеводороды конденсируются. Холодный поток затем

разделяют в низкотемпературном сепараторе. Сухой холодный газ из низкотемпературного сепаратора подается обратно в теплообменник и направляется на реализацию. Жидкий конденсат выходит из низкотемпературного сепаратора, смешивается с жидкостью из входного сепаратора. Полученная смесь перерабатывается в колонне- депропанизаторе для получения кубового продукта с определенным содержанием пропана.

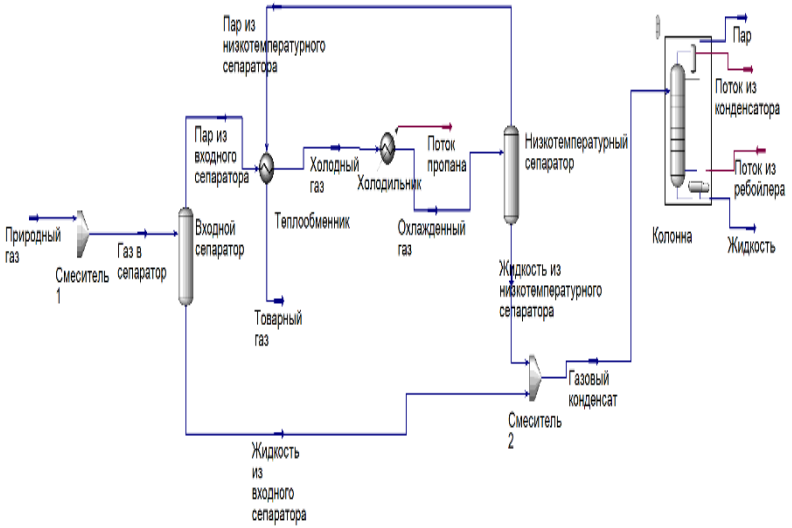


Рис. 2. Схема установки низкотемпературной сепарации природного газа с холодильником

Было установлено, что в схеме с холодильником (рис. 2) мольные доли этана и пропана в товарном газе меньше, нежели в схеме с дросселем (рис. 1), что свидетельствует о более полном их извлечении (табл. 2).

Таблица 2.

Сравнение мольных долей компонентов товарного газа

Состав газа	**Мольные доли в природном газе**	**Мольные доли в товарном газе (рис. 1)**	**Мольные доли в товарном газе (рис. 2)**
Метан	0,8324	0,8650	0,8905
Этан	0,0665	0,0649	0,0612
Пропан	0,0206	0,0171	0,0131

Для увеличения количества этана в конденсированной жидкости было решено смоделировать систему с применением детандера на выходе из входного сепаратора. На рис. 3 представлена схема процесса низкотемпературной сепарации природного газа с детандером или схема деметанизации.

Природный газ, подаваемый на установку, охлаждается в холодильнике. Затем он попадает во входной сепаратор, откуда пар отправляется в детандер, а жидкость в дроссель. Пар попадает в низкотемпературный сепаратор, где он превращается в жидкость и попадает в колонну деметанизации. Жидкость из дросселя также попадает в колонну. Из колонны в итоге выходит жидкость с содержанием этана.

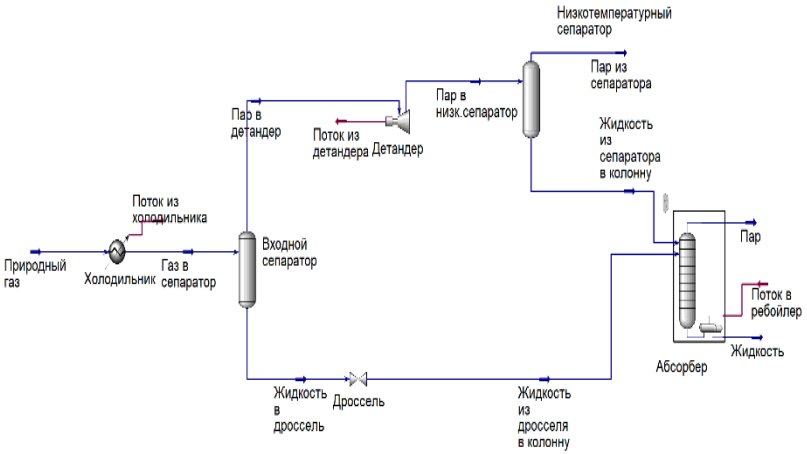


Рис. 3. Схема установки низкотемпературной сепарации природного газа с детандером или схема деметанизации

По результатам можно сделать вывод, что мольные доли этана в паре стали меньше, а в жидкости по сравнению с природным газом увеличились. Также повысилось количество метана в паре из колонны.

С целью уменьшения объема пропана в природном газе и увеличения содержания фракций этана и пропана (фракций C_{2+} и C_{3+}) для их дальнейшей переработки было решено смоделировать процесс низкотемпературной конденсации с применением двойного холодильного цикла.

Схема процесса изображена на рисунке 4. После того, как газ осушается до значения точки росы в –100 °C, он разделяется на два потока.

Первый поток подвергается охлаждению с помощью холодного сухого газа в теплообменнике при давлении 5,3 МПа.

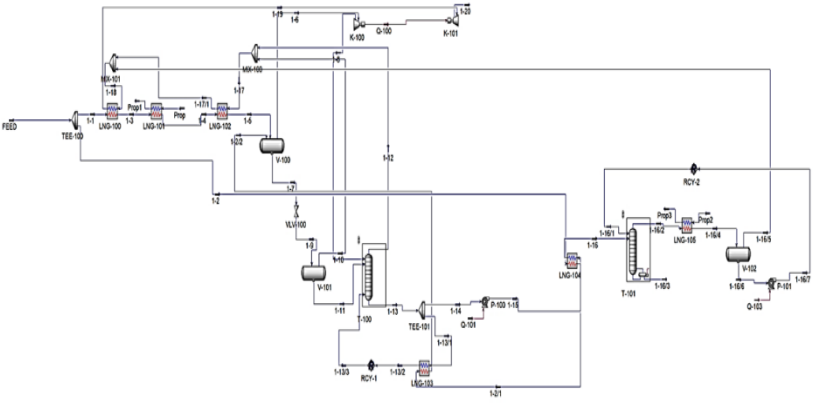


Рис. 4. Схема низкотемпературной конденсации с двойным холодильным циклом: LNG-100, 101, 102, 103, 104, 105 – пропановые охладители; TEE – разделители потоков;
MIX – смесители потоков; K-100, 101 – турбодетандер, компрессор;
V-100, 101, 102 – сепараторы; T-100, 101 – колонны разделения;
P-100, 101 – насос; RCY-1, 2 – переработка

Затем он охлаждается парами пропана и снова холодным сухим газом. Кроме того, часть газа конденсируется и поступает в сепаратор с температурой от –50 °С до –54 °С. Второй поток газа после охлаждения в теплообменниках и при такой же температуре и давлении также поступает в сепаратор.

После сепаратора конденсат через дроссель попадает в другой сепаратор. В нем давление снижается до 2,45 Мпа, и при этом происходит понижение температуры до значений от –70 °С до –75 °С. Также все углеводороды от пропана и выше превращаются в жидкость.

Метан и этан в качестве сухого газа направляются из верхней секции сепаратора в теплообменники, где нагреваются. Газ из верхней секции сепаратора направляется в турбодетандер, где происходит увеличение его давления до 2,4 МПа. При этом температура газа уменьшается с –50 °С до –80 °С, и часть газа подвергается конденсации. Работа, выполняемая турбодетандером, используется для вращения двигателя компрессора, который установлен с турбодетандером на одном валу.

Смесь, состоящая из газа и конденсата, поступает в верхнюю часть колонны деметанизации. Эта колонна состоит из шести тарелок, она используется для удаления основной части метана из конденсата, который поступает из сепаратора. Вверху колонны температура составляет

–80 °С, внизу –58 °С. Газы (обычно метан) из верхней части колонны вместе с сухим газом, который поступает из сепаратора, направляются в теплообменники, где поток отдает свой холод сырьевому потоку, при этом температура повышается от –84 °С до +34 °С. Далее происходит сжатие в компрессоре, при этом давление повышается от 2,2 МПа до 2,5 МПа, после чего они уходят с установки.

При помощи циркуляции части остатка потока через теплообменник в нижнюю часть колонны подаётся тепло. С помощью насоса остаток потока из колонны подаётся в колонну деэтанизации. В ней удаляется большая часть этана. Вверху колонны температура составляет от –2 °С до 2 °С, внизу – 107 °С, давление составляет 3,3 МПа, количество тарелок в колонне составляет 41. Пары из верхней части колонны подвергаются охлаждению в пропановом холодильнике, частично конденсируются и при температуре –30 °С поступают в емкость. Конденсат из емкости насосом подается на орошение колонны, сухой газ из верхней части емкости смешивается с сухим газом после теплообменника. Из нижней части колонны отводится нестабильный газовый бензин. Часть его возвращается в колонну через масляный подогреватель, чтобы поддерживать нужную температуру.

По схеме видно, что мольные доли пропана из товарного газа (поток 1-20) уменьшились. В потоках 1-6 и 1-8 увеличилось содержание метана, количество этана и пропана понизилось. Эта схема пригодна для выделения этана и пропана из природного газа для больших производств.

Таким образом, все рассмотренные варианты схем газораспределения могут быть использованы при выделении пропановой и этановой фракции из природного газа. Предпочтение той или иной схеме отдается в зависимости от местных условий расположения установки.

Литература

1. Федорова Е. Б. Современное состояние развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии, оборудование / Е. Б. Федорова. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. 159 с.
2. Акимова И. Ю. Экспорт российского природного газа: проблемы и перспективы / И. Ю. Акимова. – М.: Олимп-Бизнес, 2005.
3. Aspen HYSYS. Руководство пользователя. Aspen Technology, Inc. 2010. 28 с.

Энергоэффективная конструкция резервуара для хранения ПГС

Середенко Е. С., Пахомов О. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Одной из ключевых проблем, стоящих перед отраслью СПГ, является образование «отпарного газа» при хранении СПГ. В данной работе предложена конструкция резервуара для хранения СПГ объемом 200000 м^3, позволяющая сократить утечки тепла за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной до 1,2 м. Методика расчета толщины изоляции обеспечивает заданный уровень потерь на испарение 0,025 об. % в день. Утечки тепла рассчитываются для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне. Также для минимизации тепловых потерь предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость образования «отпарного» газа примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

Ключевые слова
СПГ, хранение, резервуары, конструкция, теплоизоляция, испарение, отпарной газ, утечки тепла.

Резервуары для хранения СПГ имеют большие объемы и могут достигать до 200 000 м^3. Как правило, с увеличением объема резервуара для хранения СПГ увеличивается и общая стоимость всего оборудования. Однако цена за единицу произведенного СПГ будет уменьшаться с увеличением объема резервуара для хранения (см. рис. 1)

Разница в стоимости между резервуаром с одинарной герметизацией и резервуаром с полной герметизацией может находиться в диапазоне от 17% до 12% [1]. Двухоболочечный резервуар с полной герметизацией является лучшим выбором для резервуаров СПГ большого объема с экономической точки зрения и с точки зрения безопасности эксплуатации.

При разработке конструкции резервуара для хранения СПГ необходимо учитывать тепловые потери, образующиеся из-за разницы температур между окружающей средой и СПГ. В процессе хранения СПГ вследствие внешних теплопритоков происходит испарение наиболее летучих компонентов смеси и образуется «отпарной» газ. Для минимизации тепловых потерь применяется тепловая изоляция резервуара. Тепловая изоляция резервуара является важным элементом конструкции и

обеспечивает возможность длительного хранения газов в сжиженном состоянии [1].

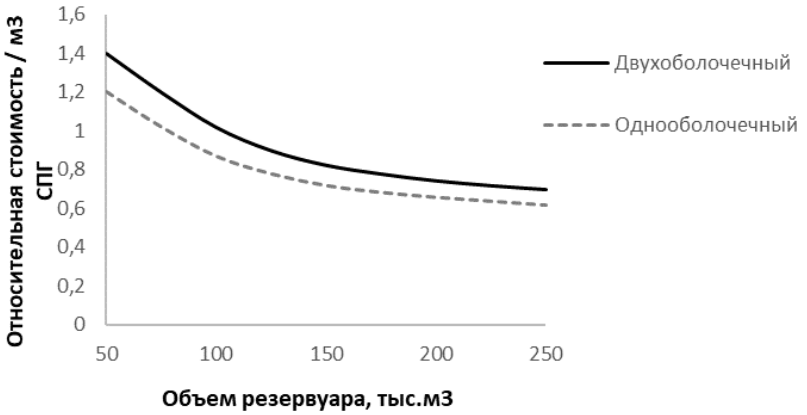


Рис. 1. Соотношение удельной стоимости и полезного объема резервуара

Кроме того, объем резервуара для хранения СПГ оказывает заметное влияние на скорость образования «отпарного» газа. В резервуаре с большим объемом СПГ по мере испарения легких компонентов, останется больше жидкости. Для того, чтобы повысить температуру смеси до новой точки кипения, потребуется больше теплоты. В результате скорость образования «отпарного» газа будет ниже для резервуара с большим начальным запасом СПГ, что предлагает возможность использования резервуара объемом 200 000 м^3.

Требования к материалам

Большинство материалов, применяемых для производства криогенного оборудования, подвержено охрупчиванию от воздействия низких температур. Так как температура хранения СПГ находится в диапазоне от минус 166 °С до минус 157 °С, материалы, применяемые для изотермических резервуаров, должны обладать достаточной ударной вязкостью и обеспечивать устойчивость конструкции к хрупкому разрушению.

Выбор материала будет соответствовать нормативу BS-EN-14620, в котором рекомендуется, чтобы все детали, такие как внутренние лестницы резервуара, кожух, нижняя плита были изготовлены из стали с 9% содержанием никеля (при условии, что температура внутри резервуара

составляет до -180 °С). Изоляционное покрытие для минимизации тепловых утечек будет содержать пенополиуретан, упругое стекловолокно и перлитовый бетон.

Внутренняя часть резервуара выполняется из 9% никелевой стали, внешняя часть - из предварительно напряженного бетона, настила подвесной палубы, двойной системы защиты дна и углов, а также системы подогрева дна. Расчетное давление 29 кПа (изб.). Расчетная температура -170 °С. Расчетная скорость образования «отпарного» газа составляет 0,025 об. % в день.

Конструкция внутренней части резервуара из 9% никелевой стали

Резервуар для хранения СПГ объемом 200 000 м^3 будет иметь диаметр 85 м, высоту 37 м и диаметр внутренней части резервуара 84 м.

Расчетный уровень жидкости составляет 36,22 м, максимальный рабочий уровень - 35,92 м. Расчетное давление составляет 29 кПа. Так как 150 кПа> 5% от 29 кПа, общее давление составит 29 + 150 = 179 кПа.

Толщина оболочки внутреннего внутренней части резервуара составит 32 мм.

Изоляция резервуара

Изоляция защищает криогенный продукт от температурных колебаний и снижает утечки и проникновение тепла из окружающей среды. Любое повреждение системы изоляции может поставить под угрозу качество продукта и безопасность процесса регазификации. Безопасная и экономичная работа, минимальные утечки тепла и предотвращение конденсации для минимизации коррозии - ключевые требования к изоляционным материалам криогенных хранилищ.

Изоляция боковой стенки расположена между внутренней и внешней оболочкой резервуара. В случае утечки из внутренней части резервуара СПГ может накапливаться в кольцевом пространстве между внутренней и внешней частью резервуара и охлаждать стенку /нижний угол. Для минимизации тепловых потерь в предложенной конструкции использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-ным содержанием никелевых стальных листов [3]. Толщина изоляции определяется по уравнению 1.

$$D_{out} ln \frac{D_{out}}{D_{in}} = 2 \frac{\lambda}{a_s} \times \frac{T_s - T_f}{T_a - T_s} \quad , \qquad (1)$$

где D_{out} и D_{in}- внешний и внутренний диаметр резервуара соответственно, λ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, T_s – температура поверхности, T_f – температура перлитового бетона, T_a – температура окружающей среды, a_s – коэффициент термического сопротивления.

Толщина изоляции боковой стенки составит 1200 мм, в т.ч. 350 мм упругая часть из стекловолокна (30% от общей изоляции). Система за-

щиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Конструкция дна резервуара с угловой защитой представлена на рис. 2.

Рассматриваемые изоляционные материалы рекомендованы к применению согласно ГОСТ Р 58029-2017. Рассмотрим подробнее их свойства. Характеристики используемых материалов представлены в таблице 1 [4].

Таблица.

Значение плотности и удельной теплоемкости изоляционных материалов

Изоляционный материал	**Плотность, кг/м3**	**Удельная теплоемкость, кДж/кгК**
Вспученный перлит	100	0,837
Бетон	2400	0,960
Стекловолокно	1700–2000	0,84
Никелевая сталь	7801	0,456
Пенополиуретан	40-80	1,47

Перлит – порода, представляющая из себя вулканическое стекло с основой из SiO2 (70-75%). При резком термоударном нагреве до температур 900-1200°С вода, содержащаяся в породе, переходит в пар и вспучивает размягчённую породу. Именно высокая пористость перлита обеспечивает его легкость и высокие теплоизоляционные свойства. Плотность вспученного перлита колеблется в диапазоне от 50 до 600 кг/м^3. Для изоляции аппаратов и машин низкотемпературных установок используется вспученный перлитовый порошок с плотностью 100 кг/м^3.

Стекловолокно (стеклонить) – волокно или комплексная нить, сформированные из расплавленного стекла. В результате оно приобретает такие качества как прочность при сжатии и растяжении, стойкость к химическим веществам и биологическим воздействиям, негорючесть и малая гигроскопичность. Теплопроводность стекловолокна составляет около 0,04 Вт/м·град. Будучи достаточно легким материалом, стекловолокно не слеживается при длительном использовании, имеет большой эксплуатационный ресурс и выдерживает температуры от 200 до 700 °С.

Пенополиуретаны – группа газонаполненных пластмасс на основе полиуретанов, на 85–90% состоящих из инертной газовой фазы. В качестве исходных компонентов пенополиуретана обычно применяются

продукты нефтехимической промышленности (полиолы и полиизоцианаты). Благодаря своей очень низкой теплопроводности 0,029–0,041 Вт/мК жесткие пенополиуретаны широко применяются в холодильной и криогенной технике, а также используются для изоляции низкотемпературных трубопроводов.

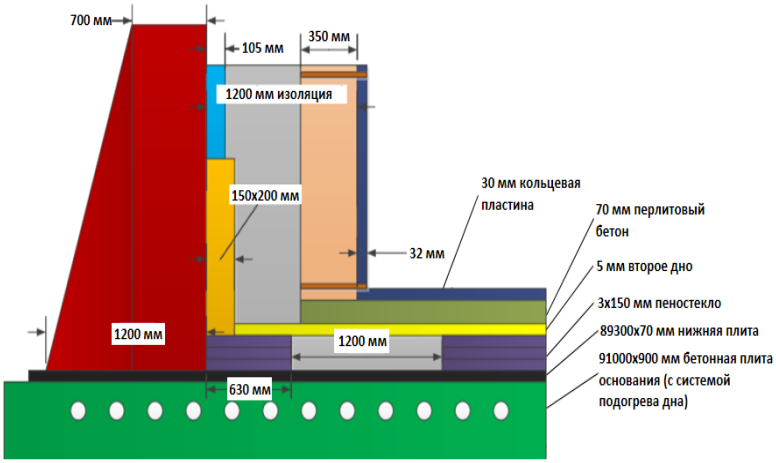


Рис. 2. Конструкция дна резервуара с угловой защитой

Расчет утечек тепла

Утечки тепла были рассчитаны для изоляционной части резервуара, для нижней плиты резервуара и для трубопроводов. Трубопроводы резервуара – это трубопроводы ввода и вывода СПГ, ввода перлита и трубопроводы для удаления «отпарного» газа.

Скорость образования «отпарного» газа принята 0,025 об. % в день. Общая утечка тепла (утечки от всех частей резервуара) составила 320 кВт и находится в допустимом диапазоне.

Выводы

На основе аналитического обзора современных методик расчета теплопритоков через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ выбрана методика расчета толщины изоляции для обеспечения заданного уровня потерь на испарение 0,025 об. % в день.

Предложена конструкция резервуара для хранения СПГ объемом 200 000 м^3 из 9% никелевой стали с диаметром 85 м и высотой 37 м. Предложенная конструкция резервуара позволит уменьшить утечки тепла за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной

до 1,2 м. Также для минимизации тепловых потерь предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость образования «отпарного» газа примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

В качестве изоляции резервуара использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-ным содержанием никелевых стальных листов. Система защиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Утечки тепла рассчитаны для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне.

Литература

1. Каганер М. Г., «Тепловая изоляция в технике низких температур» // Изд. «Машиностроение», М., 1966. 270 с.
2. Louis D., Antonio S. I., «Sloshing loads simulation in LNG tankers with SPH» // International Conference on Computational Methods in Marine Engineering. 2005.
3. Ji-hoon K., Heung-seok S., Kangwon L., and Ihn-soo Y., «Development of the world's largest above-ground full containment LNG storage tank», 23rd World Gas Conference, Amsterdam, Korea Gas Corporation. 2006.
4. Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость//Thermalinfo. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/strojmaterialy/teploprovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost (Дата обращения 11.07.2021).

Анализ энергоэффективности процесса ожижения компонентов воздуха с использованием теплоты регазификации сжиженного природного газа

Шевченко А. В. [1], Баранов А. Ю. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Критики распространения сжиженного природного газа (СПГ) в энергетике указывают на то, что производство СПГ сопровождается дополнительными затратами электроэнергии, которая, как правило, вырабатывается за счет сжигания того же природного газа, и тем самым сопровождается выбросом в атмосферу парниковых газов. Затраты электроэнергии на ожижение одного килограмма природного газа зависят от выбора установки, но составляют не менее 0,8 кВт · ч, а в отдельных случаях могут достигать и 2,7 кВт · ч. Рационально разработать способы полного или частичного возврата ранее затраченной энергии в хозяйственный оборот. Технологии регазификации СПГ с частичным возвратом ранее затраченной энергии условно можно разделить на 2 группы: генерация электроэнергии и выработка дополнительных криопродуктов.

Ключевые слова
СПГ, сжиженный природный газ, КПГ компримированный природный газ, регазификация СПГ.

Одной из сфер использования СПГ на внутреннем рынке РФ являются локальные системы газификации удаленных поселений и применение сжатого природного в качестве моторного топлива. В автомобильном транспорте предпочтительно применять сжатый (компримированный) природный газ [1-7]. Для перевода природного газа из жидкого в сжатое состояния, его нагнетают жидкостным насосом в систему регазификации с давлением до 25 МПА. Для перевода 1 кг СПГ в состояние, пригодное для сжигания, необходимо подвести к нему свыше 900 кДж теплоты. Для повышения энергоэффективности регазификационных установок для СПГ следует использовать теплоту, поглощаемую природным газом, для реализации других технологий, например, для переохлаждения и конденсации газообразного азота. Жидкий азот в последнее время стал дефицитным криопродуктом в некоторых регионах

РФ. Поэтому организация производства жидкого азота за счет использования теплоты регазификации СПГ является экономически обоснованной и актуальный научно-технической задачей. Разработана технологическая схема перевода природного газа из жидкого состояния в сжатое, для последующего использования в качестве автомобильного топлива. Для наполнения накопителей компримированного природного газа СПГ регазифицируется при давлении около 25 МПа. Выполнен анализ эффективности цикла ожижения азота с отводом теплоты к регазифицируемому СПГ, получено соотношение количества ожиженного азота и регазифицированного СПГ.

Литература

1. Усюкин И. П. Установки, машины и аппараты криогенной техники, часть 1 // учебное пособие для вузов. М.: Пищепром, 1996. 344 с.
2. Белов Г. В., Дорохова М. А. – Органический цикл ренкина и его применение в альтернативной энергетике. // Научное издание МГТУ Им. Н. Э. Баумана - Наука и образование. 2014. DOI: 10.7463/0214.0699165.
3. Цыркунов Е. С. Применение мембранных установок получения азота в сфере авиатопливообеспечения: жур. научный вестник МГТУ., Москва: Ассоциация «Открытая наука», 2010. 160 с.
4. Чекалов Л. Н., Свитцов А. А. – Мембранные технологии разделения газовых смесей. // ООО «Научно-производственная фирма «ТЭКО - Катализ в промышленности. №6. 2015.
5. Грязнов М. Б. Применение газомоторного топлива в российской федерации: проблемы и перспективы // Вестник финансового университета. №4. 2013. С. 21–31.
6. Ефремов Сергей, Гусев Владимир – Газомоторный опыт // Агротехника и технологии. 21.09.2015.
7. Гринюк А. В., Кригер О. В. Использование жидкого азота в технологиях сублимационной сушки крови. //ISSN 2074-9414. Техника и технология пищевых производств. № 4. 2011. С. 1–4.

Перспективы внедрения низкоуглеродных технологий в электроэнергетике

Рашидханов А. Т., Середа Н. В.

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация

В последнее время в связи с постоянной угрозой энергетического кризиса наблюдается тенденция внедрения низкоуглеродных технологий в различных отраслях как в наиболее развитых странах, так и в странах третьего мира. Исследования в области низкоуглеродн технологий настолько масштабны, что требуют объединения усилий ученых из разных стран, соответственно, международных капиталовложений. В статье рассмотрены основные проблемы перехода от традиционной углеродной энергетики к низкоуглеродной и даже нейтрально-углеродной.

Ключевые слова

Энергоресурсы, углеводородное сырье, энергетический дефицит, структура мирового потребления электроэнергии, низкоуглеродные технологии, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Проблема нехватки электрической энергии возникла практически сразу после начала эры электроэнергетики в истории человечества. Впервые она была сформулирована специалистами международной общественной организации «Римский клуб», созданной для анализа глобальных проблем и привлечения к ним внимания мировой общественности. На протяжении многих десятилетий развитие человечества проходило в условиях постоянной угрозы энергетического дефицита, что оказывало существенное влияние не только на внутреннюю, но и на внешнюю экономику развитых государств, а также на расклад сил на мировой политической арене.

В начале XXI века произошел резкий скачок в развитии различных технологий, в том числе в области нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Помимо исторически используемых нетрадиционных источников энергии типа солнечной, ветровой и пр., разработаны технологии использования нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья в неограниченных масштабах (рис. 1).

Все эти разработки привели к возможности изменения структуры энергетического баланса и внедрения инновационных технологий.

Необходимо понимать, что, помимо отдельных скачков в развитии энергетики, существуют общие тенденции в ее развитии, оказывающие долговременное влияние на развитие экономики и международных отношений в целом.

Рис. 1. Эволюция мировой энергетической ситуации [1]

Одной из таких общих тенденций является переход в последние годы во многих странах к низкоуглеродным технологиям. Этот процесс начался еще до пандемии, но мировой кризис в экономике, вызванный пандемией, привел к усилению внедрения низкоуглеродных технологий в энергетике. Это проявляется в увеличении инвестиций в соответствующие международные научные исследования в этой области. Помимо этого, многие национальные нефтегазовые компании производят диверсификацию своего бизнеса, происходит радикальная смена интересов вплоть до изменения названий компаний. С 2020 года компания Saudi Aramco (Саудовская Аравия) начала поставки безуглеродного водорода в Японию. Вторая по величине публично торгующаяся нефтегазовая компания в мире Британская нефтегазовая компания BP (ранее British Petroleum) приняла к внедрению новую стратегию для перехода от нефтедобычи к поставке готовых низкоуглеродных решений потребителям.

Благодаря всем вышеперечисленным мероприятиям, возобновляемая энергетика постепенно становится все более конкурентоспособной.

Рис. 2. Совокупность вызовов, с которыми столкнулась современная энергетика, и важнейшие объективные причины их возникновения [2]

Ричард Ланкастер, гендиректор компании CLP Holdings, управляющей электростанциями в Китае, Индии и других азиатских странах, считает, что на сегодняшний день стоимость солнечной и ветряной энергии в мире снизилась до того уровня, что во многих неразвитых странах Азии она может конкурировать с работающими на угле электростанциями.

С 2010 до 2019 годы себестоимость электричества, генерируемого солнечными фотоэлектрическими установками и КСЭ-модулями, снизилась на 82 процента. За этот же период себестоимость производства электроэнергии наземными и морскими ветровыми электростанциями упала на 40 и 29 процентов соответственно (IRENA).

Рис. 3. Ключевые направления анализа политики низкоуглеродного развития [3]

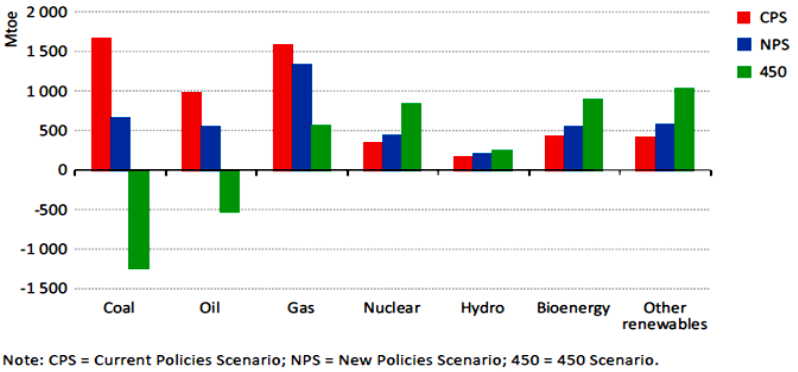


Рис. 4. Изменение мирового спроса на энергетические ресурсы согласно трем основным сценариям, 2011–2035 [4]

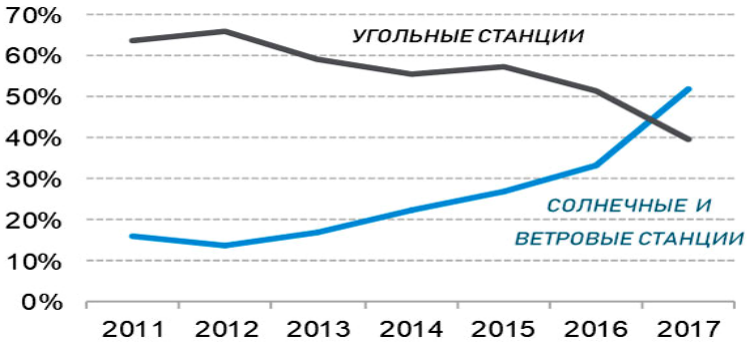


Рис. 5. Сравнение угольной генерации с солнечной и ветровой в развитых странах, данные компания Bloomberg New Energy Finance (BNEF)

Для сравнения, цена на угольную энергию в это же время практически не изменилась: с 111 долларов за 1 МВт/ч в 2009 году она упала всего до 109 долларов США в 2019 году (по данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики АРВЭ).

К сожалению, несмотря на постоянную тенденцию снижения стоимости электроэнергии от возобновляемых источников, она остается достаточно высокой. Одной из причин этого являются большие капиталовложения в нетрадиционную энергетику, которые совершенно неприемлемы для небольших государств с низким уровнем развития экономики. Поэтому для развивающихся стран углеродная энергетика еще долго останется единственным экономически приемлемым решением.

Литература

1. Мастепанов А. М. Арктика в системе приоритетов мирового развития нефтегазовой отрасли в условиях низких цен на энергоресурсы. /Презентация доклада на VI Международной научно-технической конференции «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток». ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 26 октября 2016 года.
2. Мастепанов А. М. Международные санкции как элемент современной геополитики/ Выступления 22 сентября 2015 г. на Семинаре «Международные санкции и российский нефтегазовый сектор» ИМЭМО РАН.

3. Низкоуглеродное развитие для россии. Сайт научная Россия [Электронный источник] https://scientificrussia.ru/articles/nizkouglerodnoe-razvitie-dla-rossii (дата обращения 03.02.2021).
4. World Energy Outlook 2013. OECD/IEA, Paris, 2012. 668 pp. [Электронный источник] URL: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2013).pdf (дата обращения 03.02.2021).

Автономная система энергообеспечения для крупнотоннажного завода СПГ

Ракшин А. Д. [1], Баранов А. Ю. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
На территории Российской Федерации реализуется несколько проектов крупнотоннажных заводов по производству СПГ. В силу географических особенностей расположения месторождений природного газа строительство заводов ведется преимущественно в удаленных районах севера России, где нет системы централизованного электроснабжения. Ее отсутствие ставит задачу обеспечения заводов энергией путем осуществления локальной генерации.

Ключевые слова
Сжиженный природный газ, газотурбинные установки, паровая генерация энергии на заводах СПГ.

На сегодняшний день в РФ на разных этапах реализации находятся 4 проекта по крупнотоннажному производству СПГ: на этапе промышленной эксплуатации находятся Сахалин-2 и Ямал СПГ, на этапе строительства – Арктик СПГ-2 и ГПЗ КПЭГ в Усть-Луге. Количественные характеристики упомянутых производств приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1.

Крупнотоннажные производства СПГ в РФ

Название	**Мощность, млн. т. год**	**Максимальные удельные энергозатраты, кВт·ч/т СПГ**	**Кол-во газотурбинных установок**	**Модель ГТУ**
Ямал СПГ	16,5	343	8	SGT 800
Сахалин-2	9,6	336	4	Frame 7 EA
Арктик СПГ-2	19,8	231	20	LM9000
ГПЗ КПЭГ в Усть-Луге	13	241	6	H-100

В силу значительной удаленности производств от расположения основных объектов энергосистемы РФ, прокладка ЛЭП является экономически нецелесообразной. Поэтому для осуществления локальной генерации электроэнергии на всех указанных заводах используются газотурбинные установки. В мировой практике уже накоплен большой опыт эксплуатации ГТУ на газовых производствах в качестве приводов для компрессоров. В РФ отсутствует отечественное серийное производство ГТУ большой и средней мощности, вследствие чего для обеспечения работы российских заводов СПГ используется иностранное оборудование (Таблица 2).

Таблица 2.

Технические характеристики ГТУ

Модель ГТУ	**Мощность, МВт**	**КПД, %**	**Ресурс, лет**
SGT 800	47,0	37,5	≈ 30
Frame 7 EA	86,0	33,9	≈ 30
LM9000	73,5	42,0	≈ 25
H-100	116	37,8	≈ 25

Из таблицы 2 следует, что, за исключением турбины LM9000, применявшейся ранее в авиационных двигателях, КПД применяемых ГТУ находится в диапазоне 34÷38%, а ресурс не превышает 30 лет.

В качестве альтернативного решения для осуществления автономной генерации электроэнергии на отечественных крупнотоннажных заводах СПГ возможно применение парового турбинного цикла. Паротурбинные установки уже использовались на ранних заводах СПГ в качестве приводов компрессоров. Примером может послужить завод СПГ в Бинтулу, Малайзия [2]. Основным преимуществом ПТУ является возможность при проектировании и изготовлении турбины заложить требуемую для завода мощность с допустимостью ее регулировки в процессе эксплуатации, в то время как для ГТУ ряд значений выходной мощности является дискретным, а число допустимых скоростей вращения ограничено [3]. Благодаря развитию отечественной атомной энергетики серийное производство паровых турбин в РФ налажено. КПД паровых турбин для АЭС находится в диапазоне 36÷38% [4], а ресурс составляет не менее 30 лет для АЭС 3-го поколения и не менее 40 лет для поколения 3+. Переход от ГТУ к ПТУ в автономных системах энергообеспечения на крупнотоннажных производствах СПГ позволит загрузить отечественные производственные мощности.

Литература

1. Neftegaz.ru [Электронный ресурс] Российские производства по сжижению природного газа URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/spg/500005-rossiyskie-proizvodstva-po-szhizheniyu-prirodnogo-gaza/ (дата обращения 03.02.2021).
2. Shaari, S. F., Hashim P. S., Kaher I. F., Din N. S. Improvement on plant thermal efficiency in MLNG Satu via MLNG Molecule Allocation Program (M-MAP). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 458, 012075 [Электронный ресурс] URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/458/1/012075 (дата обращения 03.02.2021).
3. Федорова Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина 2011.159 с.
4. Филиппов Г. А., Назаров О. И., Беляев Л. А. Пути совершенствования паротурбинных установок АЭС // Известия Томского политехнического университета. Т. 320. №4. 2012. С. 5–9.

Комбинированный термодинамический цикл абсорбционного бромистолитиевого преобразователя теплоты

Малинина О. С., Бараненко А. В., Клунник А. К., Аль-Фураиджи, Муштак А., Комаров К. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Выполнен анализ энергетической эффективности комбинированного термодинамического цикла абсорбционного бромистолитиевого преобразователя теплоты с двухступенчатыми процессами генерации и абсорбции. Проведена оценка влияния зоны дегазации и температуры внешних источников на тепловой коэффициент и коэффициент трансформации комбинированного цикла абсорбционного бромистолитиевого преобразователя теплоты.

Ключевые слова
Энергетическая эффективность, комбинированный термодинамический цикл, абсорбционный бромистолитиевый преобразователь теплоты, двухступенчатая генерация, двухступенчатая абсорбция.

По целевому назначению абсорбционные бромистолитиевые преобразователи теплоты (АБПТ) можно классифицировать следующим образом: производство холода (холодильные машины), производство теплоты (понижающие и повышающие термотрансформаторы) и комбинированное производство холода и теплоты (преобразователь теплоты одновременно выполняет функции холодильной машины и термотрансформатора).

Абсорбционные бромистолитиевые преобразователи теплоты в режиме получения холода применяются в химической, нефтеперерабатывающей, электронной, пищевой и других отраслях промышленности [1 – 3]. АБПТ в режиме понижения или повышения температуры греющего источника можно успешно применять для целей технологического теплоснабжения, отопления зданий и горячего водоснабжения [4, 5]. Использование комбинированного цикла в АБПТ для одновременного хладо- и теплоснабжения позволяет рационально использовать энергию и тем самым решать проблемы повышения энергоэффективности названых систем [6].

В настоящее время достаточное количество работ посвящено исследованию эффективности абсорбционных бромистолитиевых преобразователей теплоты с многоступенчатыми процессами абсорбции и генерации. Они позволяют использовать для работы АБПТ как высокотемпературные, так и низкотемпературные греющие источники [7 – 16].

В работе [14] выполнен оптимизационный анализ эффективности абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой генерацией пара рабочего вещества и параллельным движением раствора по ступеням генератора. Аналитическим путем получены максимальные значения теплового коэффициента и соответствующие оптимальные условия. Исследованы оптимальные параметры, которые максимизируют значения теплового коэффициента.

В данной статье выполнено исследование комбинированного термодинамического цикла с двухступенчатой генерацией пара рабочего вещества и двухступенчатой абсорбцией раствора. Цикл состоит из цикла понижающего термотрансформатора с двухступенчатой генерацией: $G_1 – G_2 – C_1 – C_2 – A_1 – E_1$ и цикла холодильной машины с двухступенчатой абсорбцией: $A_2 – E_2 – A_1 – E_1 – G_1 – C_1$. Испаритель E_1 работает на охлаждение абсорбера A_2. Выпаривание раствора в генераторе G_1 осуществляется за счет подвода теплоты от греющего источника. Нагреваемая среда подается последовательно по схеме абсорбер A_1 – конденсатор C_2.

Основные процессы термодинамического цикла: $8_3 – 2_2$ – адиабатно-изобарная абсорбция пара рабочего вещества в низкотемпературном абсорбере; $2_2 – 7_3 – 7_2 – 7_1$ – последовательный нагрев всего потока слабого раствора в теплообменниках растворов; $7_1 – 5_1$ – адиабатно-изобарная десорбция пара рабочего вещества; $5_1 – 4_1$ – кипение раствора в высокотемпературном генераторе; $4_1 – 8_1$ – охлаждение крепкого раствора в высокотемпературном теплообменнике растворов; $5_2 – 4_2$ – кипение раствора в низкотемпературном генераторе; $4_2 – 8_2$ – охлаждение крепкого раствора в среднетемпературном теплообменнике растворов; $8_2 – 2_1$ – адиабатно-изобарная абсорбция пара рабочего вещества в высокотемпературном абсорбере; $2_1 – 8_3$ – охлаждение крепкого раствора в низкотемпературном теплообменнике растворов.

Методика расчета

Кратность циркуляции раствора

$$a = \frac{\xi_{r2}}{\Delta\xi}. \quad (1)$$

Удельный тепловой поток высокотемпературного испарителя, кДж/кг

$$q_{01} = \omega h_{1'1} + (1 - \omega) h_{11} - h_{32}. \quad (2)$$

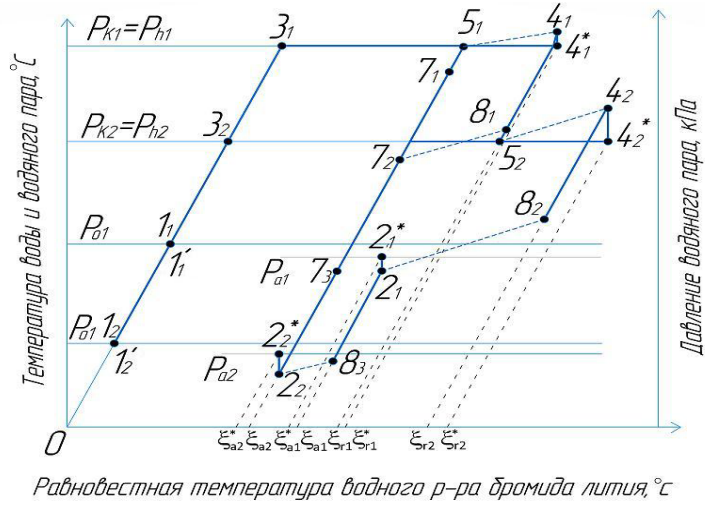


Рис. 1. Комбинированный термодинамический цикл АБПТ с двухступенчатой генерацией пара рабочего вещества и с двухступенчатой абсорбцией раствора

Удельный тепловой поток низкотемпературного испарителя, кДж/кг

$$q_{02} = (1 - \omega)(h_{1'_2} - h_{11}). \quad (3)$$

Удельный тепловой поток высокотемпературного конденсатора, кДж/кг

$$q_{к1} = x(h_{3'_1} - h_{31}) . \quad (4)$$

Удельный тепловой поток низкотемпературного конденсатора, кДж/кг

$$q_{к2} = (1 - x)h_{3'_2} + xh_{31} - h_{32}. \quad (5)$$

Удельный тепловой поток высокотемпературного абсорбера, кДж/кг

$$q_{a1} = \omega h_{1'_1} + (a - 1)h_{82} - (a + \omega - 1)h_{21}. \quad (6)$$

Удельный тепловой поток низкотемпературного абсорбера, кДж/кг

$$q_{a2} = (1 - \omega)h_{1'2} + (a + \omega - 1)h_{83} - ah_{22}. \quad (7)$$

Удельный тепловой поток высокотемпературного генератора, кДж/кг

$$q_{h1} = xh_{3'1} + (a - x)h_{41} - ah_{71}, \quad (8)$$

Удельный тепловой поток низкотемпературного генератора, кДж/кг

$$q_{h2} = (1 - x)h_{3'2} + (a - 1)h_{42} - (a - x)h_{81}. \quad (9)$$

Тепловой коэффициент

$$\zeta = \frac{q_{02}}{q_{h2}}. \quad (10)$$

Коэффициент трансформации

$$M_{пон} = \frac{q_{a1}+q_{к2}}{q_{h2}}. \quad (11)$$

Расчеты выполнялись при следующих исходных данных: температура охлаждаемого источника t_{s1} = 12°C, температура нагреваемого источника составила t_{wa1} = (50; 60; 70)°C, зона дегазации Δξ = (4; 5; 6)%, действительная концентрация ξ_{r2} = (55; 60; 65)%, необратимые потери действительного цикла были приняты согласно рекомендациям, изложенным в литературе [17]. В таблице представлены результаты расчета АБПТ с двухступенчатыми процессами генерации и абсорбции.

Температура греющей среды t_{h11} устанавливается по действительному термодинамическому циклу на основании принятых исходных данных.

Таблица.

Результаты расчета комбинированного цикла АБПТ с двухступенчатыми процессами генерации и абсорбции

Параметр	Значение
Температура охлаждаемой/охлажденной среды t_{s12}/t_{s22}, °C	12/7

Температура кипения t_{01}, °С	4								
Действительная концентрация крепкого раствора ξ_{r2}, %	55			60			65		
Температура нагреваемой/нагретой среды $t_{wa11}/t_{wк21}$, °С	50/60	60/70	70/80	50/60	60/70	70/80	50/60	60/70	70/80
Зона дегазации $\Delta\xi_2$, %	4								
Температура греющей среды t_{h11}, °С	145,8	158,7	171,7	170,5	183,7	196,9	–	208,9	222,3
Температура кипения t_{01}, °С	15,2			23,6			–	33,5	
Температура конденсации $t_{к1}$, °С	106,1	117,6	129,1	117,1	128,6	140,2	–	141,3	153,2
Температура конденсации $t_{к2}$, °С	63	73	83	63	73	83	–	73	83
Кратность циркуляции a	13,75			15,0			–	16,25	
Коэффициент x, кг	0,509								
Коэффициент ω, кг	0,743			0,743			–	0,744	
Тепловой коэффициент ζ	0,349	0,350	0,351	0,331	0,331	0,332	–	0,315	0,317
Коэффициент трансформации $M_{пон}$	1,970	1,958	1,946	1,975	1,963	1,953	–	1,980	1,978
Зона дегазации $\Delta\xi_2$, %	5								
Температура греющей среды t_{h11}, °С	144,5	157,5	170,4	169,2	182,4	195,7	194,3	207,8	221,3
Температура кипения t_{01}, °С	13,7			21,8			31,5		
Температура конденсации $t_{к1}$, °С	106,1	117,6	129,1	117,1	128,6	140,2	129,4	141,3	153,2
Температура конденсации $t_{к2}$, °С	63	73	83	63	73	83	63	73	83
Кратность циркуляции a	11			12			13		

Коэффициент x, кг	0,512			0,511			0,510		
Коэффициент ω, кг	0,741			0,742			0,742		
Тепловой коэффициент ζ	0,371	0,372	0,373	0,352	0,353	0,354	0,333	0,334	0,337
Коэффициент трансформации $M_{пон}$	2,014	2,003	1,991	2,019	2,008	1,998	2,029	2,022	2,019
Зона дегазации Δξ, %	6								
Температура греющей среды t_{h11}, °С	143,3	156,2	169,1	168,0	181,2	194,4	193,2	206,8	220,3
Температура кипения t_{01}, °С	12,4			20,0			29,4		
Температура конденсации $t_{к1}$, °С	106,1	117,6	129,1	117,1	128,6	140,2	129,4	141,3	153,2
Температура конденсации $t_{к2}$, °С	63	73	83	63	73	83	63	73	83
Кратность циркуляции a	9,17			10			10,8		
Коэффициент x, кг	0,514			0,513			0,512		
Коэффициент ω, кг	0,739			0,740			0,741		
Тепловой коэффициент ζ	0,388	0,390	0,391	0,368	0,369	0,371	0,348	0,350	0,352
Коэффициент трансформации $M_{пон}$	2,043	2,032	2,021	2,049	2,038	2,027	2,059	2,051	2,046

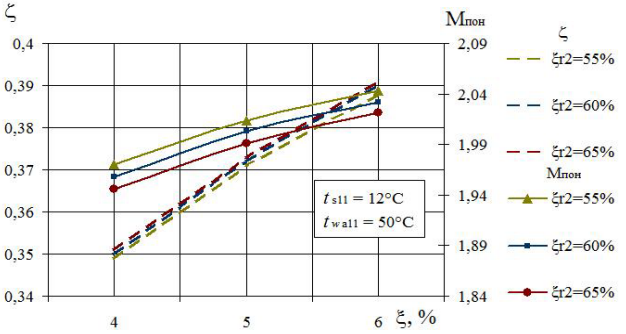


Рис. 2. График зависимости теплового коэффициента и коэффициента трансформации от зоны дегазации

На рисунке 2 представлен график зависимости теплового коэффициента (ζ) и коэффициента трансформации ($M_{пон}$) от зоны дегазации для цикла АБХМ (рис. 1).

В результате расчета установлено, что при увеличении зоны дегазации Δξ с 4 до 6% происходит повышение энергетической эффективности цикла: действительный тепловой коэффициент цикла находится в пределах 0,35 ÷ 0,39, коэффициент трансформации – в пределах 1,97 ÷ 2,02. Температура греющего источника должна составлять t_{h11} = (143,3 ÷ 222,3) °C.

Литература

1. Alhamid M. I., Coronas A., Lubis A., Ayou D.S., Nasruddin, K. Saito, H. Yabase, Operation strategy of a solar-gas fired single/double effect absorption chiller for space cooling in Indonesia // Applied Thermal Engineering. 2020. № 178. С. 115524.
2. Castro J., Farnós J., Papakokkinos G., Zheng J., Oliet C., Transient model for the development of an air-cooled LiBr-H_2O absorption chiller based on heat and mass transfer empirical correlations // International Journal of Refrigeration. 2020. № 120. С. 406–419.
3. Aguilar-Jiménez J. A., Velázquez-Limón N, López-Zavala R., González-Uribe L. A., Islas S., González E., Ramírez L, Bel-trán R., Optimum operational strategies for a solar absorption cooling system in an isolated school of Mexico // International Journal of Refrigeration. 2020. No 112. p. 1–13.
4. Akimoto R., Yamaki T., Nakaiwa M., Matsuda, K. Evaluation of a power generation system that integrates multiple Kalina cycles and absorption heat pumps // Case Studies in Thermal Engineering. 2021. № 28. С. 101363.
5. Xu Z.Y., Gao J.T., Mao H.C., Liu D.S., Wang R.Z., Double-section absorption heat pump for the deep recovery of low-grade waste heat // Energy Conversion and Management. 2020. № 220. С. 113072.
6. Manu S., Chandrashekar T.K., A simulation study on performance evaluation of single-stage LiBr–H2O vapor absorption heat pump for chip cooling // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2016. № 5. Pp. 370–386.
7. Lubisa A., Jeonga J., Giannettia N., Yamaguchia S., Saitoa K., Yabasea H., Alhamid M.I., Nasruddin N., Operation performance enhancement of single-double-effect absorption chiller // Applied Energy. 2018. № 219. С. 299–311.

8. Xu Z.Y., Wang R.Z., Comparison of CPC driven solar absorption cooling systems with single, double and variable effect absorption chillers // Solar Energy. 2017. №158 С. 511–519.
9. Chahartaghi M., Golmohammadi H., Shojaei A.F., Performance analysis and optimization of new double effect lithium bromide–water absorption chiller with series and parallel flows // International Journal of Refrigeration. 2019. № 97. С. 73–87.
10. Xu Z.Y., Wang R.Z., Absorption refrigeration cycles: Categorized based on the cycle construction // International Journal of Refrigeration. 2016. № 62. С. 114–136.
11. Степанов К. И., Мухин Д. Г., Волкова О. В., Бараненко А. В., Анализ COP термодинамического цикла АБХМ с двухступенчатой абсорбцией при получении отрицательных температур охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2016. №1. С. 86–92.
12. Bowie D., Cruickshank C. A., Experimental evaluation of a triple-state sorption chiller // International Journal of Refrigeration. 2017. № 81. С. 12–25.
13. Medjo Nouadje B.A., Ngouateu Wouagfack P.A., Tchinda R., Finite-time thermodynamics optimization of an irreversible parallel flow double-effect absorption refrigerator // International Journal of Refrigeration. 2016. № 67. С. 433–444.
14. De la Calle A., Roca L., Bonilla J., Palenzuela P., Dynamic modeling and simulation of a double-effect absorption heat pump// International Journal of Refrigeration. 2016. № 72. С. 171–191.
15. Kim N-H, Simulation of a double effect double stage absorption heat pump for usage of a low temperature waste heat // Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2015. №11. С. 7736-7744.
16. Малинина О. С., Бараненко А. В., Лядова Е. Е., Анализ эффективности термодинамического цикла абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией со связанным потоком массы // Вестник Международной академии холода. 2020. №4. С. 12–19.
17. Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. Г., Попов А. В., Абсорбционные преобразователи теплоты. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. 338 с.

Численные и экспериментальные исследования фазовых переходов муравьиной кислоты как теплоаккумулирующего вещества

Захарова В. Ю., Файзуллин Р. О., Бараненко А. В., Калимжанов Д. Е.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В работе приводятся результаты экспериментального исследования процессов фазовых переходов в контейнерах с теплоаккумулирующим веществом – муравьиной кислотой. Описывается экспериментальный стенд и методика обработки результатов. Производится сравнение результатов эксперимента с расчетами, выполненными по численной модели во Fluent, а также по модели на основе нульмерного решения задачи Стефана. Результаты работы применимы для систем кондиционирования воздуха помещений при использовании аккумуляторов холода для снятия пиковых нагрузок.

Ключевые слова
Аккумулятор тепловой энергии, экспериментальный стенд, математическое моделирование, муравьиная кислота, системы кондиционирования воздуха.

Сегодня одним из ключевых вызовов современному обществу является проблема загрязнения окружающей среды за счет использования ископаемых источников энергии. “Зеленая повестка” становится всё более актуальной, и всё больше стран объявляют о планах перехода к углеродной нейтральности.

Одним из способов осуществить данные планы является использование альтернативных источников энергии, однако они в большинстве случаев не обладают постоянством выработки энергии. Более широкое их внедрение можно осуществить, применяя аккумуляторы тепловой энергии. В связи с этим исследование аккумуляторов тепловой энергии набирает всё большую популярность [1].

В обзорной статье [2] подробно рассмотрены работы по изучению процессов фазовых переходов в сферических контейнерах, заполненных теплоаккумулирующими веществами. Проведен анализ влияния внутреннего оребрения сферы на интенсивность процессов затвердева-

ния/плавления. Осуществлена попытка обобщить результаты как экспериментальных данных, так и результатов, полученных при помощи численного моделирования, за счет применения критериальных уравнений.

В работе [3] проанализированы публикации, описывающие применение аккумуляторов тепловой энергии в системах кондиционирования воздуха, рассмотрены основные типы конструкций, дана их классификация.

Однако в известных работах не приведено данных по муравьиной кислоте, которая является доступной для приобретения и проведения исследований, а также имеет теплоту фазового перехода, подходящую для систем кондиционирования.

С целью изучения процессов, происходящих при фазовых переходах в контейнерах с теплоаккумулирующим веществом (ТАМ), спроектирован и построен экспериментальный стенд. Схема стенда представлена на рисунке 1.

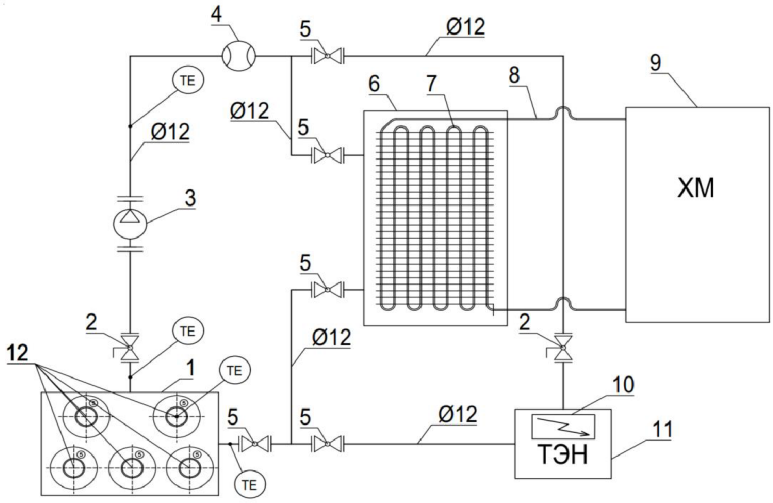


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследований фазовых переходов

Стенд представляет собой установку с емкостью (1) размером 240x150x115 мм, в которой размещены колбы (12) К-2-100-34 ТС с ТАМ - муравьиной кислотой. Циркуляционный насос (3) производит прокачку теплоносителя (50% водный раствор пропиленгликоля) через

систему, а счетчик (4) фиксирует показания его расхода. Балансировочные клапаны (2) обеспечивают постоянство расхода и поддерживают необходимый уровень теплоносителя в емкостях (1 и 6).

При зарядке (фазовый переход ТАМ в колбах жидкость-твердое тело) охлаждаемый теплоноситель циркулирует по контуру с емкостями (1) и (6). В емкости (6) располагается испаритель (7) холодильной машины (9). Контур разрядки включает в себя емкость (1) с колбами и емкость (11), в которой расположен ТЭН (10). С помощью кранов (5) осуществляется переключение контуров циркуляции теплоносителя.

При разрядке аккумулятора холода перекрываются краны контура зарядки, открывается контур разрядки и включается ТЭН. После достижения теплоносителя необходимой температуры ТЭН отключается. Затем в емкость (1) опускаются заранее охлажденные колбы (12) с муравьиной кислотой в твердом состоянии. Тепловой поток, поглощенный колбами, высчитывается по показаниям термоэлектрических преобразователей (ТЕ), расположенных до и после емкости (1), и значений счетчика (4). Время разрядки каждой колбы фиксируется. Разрядка считается оконченной при условии визуального подтверждения полного расплавления ТАМ в колбах.

На начальном этапе режима зарядки вынимаются колбы с расплавленным ТАМ. Происходит закрытие контура разрядки и открытие контура зарядки. После этого включается холодильная машина, теплоноситель охлаждается до необходимой температуры. Затем фиксируется начальная температура ТАМ в колбах, и они опускаются в емкость (1). Зарядка осуществляется до достижения необходимой температуры (ниже температуры плавления), которая фиксируется с помощью термоэлектрических преобразователей, расположенных в центре колб. Каждый из опытов повторяется несколько раз.

Для проверки корректности проведения эксперимента проводится проверка теплового баланса стенда. А именно, должно выполняться равенство теплоты, выделенной или поглощенной установкой $Q_{уст}$, и теплоты, выделенной или поглощенной аккумулятором холода $Q_{ак}$.

$$Q_{уст} = c_{тн} m_{тн} \Delta t_{тн} + q_н \tau, \quad (1)$$

где $c_{тн}$, $m_{тн}$, $\Delta t_{тн}$ – теплоемкость, масса и изменение температуры теплоносителя; $q_н$ – тепловой поток от насоса, τ – время работы насоса.

$$Q_{ак} = c_к m_к \Delta t_к + c_{кис} m_{кис} \Delta t_{кис} + L m_{кис}, \quad (2)$$

где $c_к$, $m_к$, $\Delta t_к$ – теплоемкость, масса и изменение температуры колбы; $c_{кис}$, $m_{кис}$, $\Delta t_{кис}$ – теплоемкость, масса и изменение температуры муравьиной кислоты во времени; L – теплота фазового перехода.

Для колб проведено численное моделирование на основе модели нульмерного решения задачи Стефана [4]. Данная модель применима только в случае полного заполнения веществом сосуда. В настоящем эксперименте колбы заполнены только до горловины, в связи с чем выполнено приведение до полного заполнения тела сферической формы за счет пересчета плотности.

Расчет приведенной плотности:

$$\rho_{прив} = \frac{V_{кис}}{V} \cdot \rho_{кис}, \tag{3}$$

где V – полный объем сферы, $V_{кис}$ – объем и $\rho_{кис}$ – плотность муравьиной кислоты соответственно.

Для описания температуры теплоносителя на входе в контейнер применена аппроксимация экспериментальных данных:

$$t(\tau) = -0{,}007\tau^3 + 0{,}2289\tau^2 - 1{,}8572\tau + 26{,}624, \tag{4}$$

где t – температура в °C, τ – время в минутах.

Также для рассмотренных условий эксперимента проведено численное моделирование во Fluent. Применены настройки решателя, описанные в [5]. Размер временного шага задан равным одной секунде, а константа пористой зоны равна 10^7. Здесь также использована приведенная плотность. Остальные теплофизические свойства и параметры решения приведены в таблице 1. Результаты расчета приведены на рисунке 2. Время проведения вычислений по модели [4] составляет 15 секунд. Время расчета, выполненного во Fluent, превышает 9 часов. Оба расчета проводились с использованием ПК с Intel® Xeon® E5-2680 v3 и 16Gb оперативной памяти.

Как следует из сравнения результатов экспериментов и расчетов для объемной доли жидкой фазы в процессе разморозки, представленных на рис. 2, расчеты по численной нульмерной модели с учетом полуэмпирических моделей для конвективного теплообмена демонстрируют более реалистичные значения, нежели расчеты по двумерной осесимметричной модели. Вероятно, это связано с допущением об отсутствии плавучести твердой фазы при расчете. Однако расчетное время работы аккумулятора во всех случаях остается с 17% неопределённостью.

Таблица.

Теплофизические свойства и параметры решения

Внутренний радиус капсулы, м	0,032
Внешний радиус капсулы, м	0,033
Температура плавления муравьиной кислоты, °С	279,65
Приведенная плотность муравьиной кислоты, кг/м3	906,7
Динамическая вязкость муравьиной кислоты, Па·с, [6]	2,03E-03
Удельная теплоемкость муравьиной кислоты, Дж/(кг·К), [7]	1930
Коэффициент теплопроводности муравьиной кислоты, Вт/(м·К), [7]	0,226
Удельная теплота плавления муравьиной кислоты, Дж/кг	178700
Коэффициент объемного расширения муравьиной кислоты, 1/К, [8]	0,000974
Коэффициент теплопроводности стекла колбы, Вт/(м·К)	1,14
Плотность стекла, кг/м^3	2200
Удельная теплоемкость стекла, Дж/(кг·К)	670
Начальная температура колбы с муравьиной кислотой, К	275,15
Ускорение свободного падения, м/с^2	9,81

Таким образом, результаты данных исследований показывают допустимость применения более быстрых нульмерных моделей для оценки времени работы аккумулятора холода с муравьиной кислотой в качестве теплоаккумулирующего вещества.

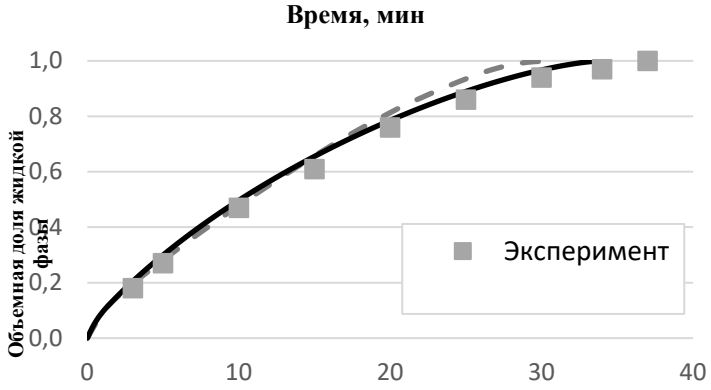


Рис. 2. Сравнение результатов расчетов и экспериментов

Литература

1. Cabeza L. F., De Gracia A., Zsembinszki G., Borri E., Perspectives on thermal energy storage research // Energy. 2021. № 231. С. 120943.
2. Kenisarin M. M., Mahkamov K., Costa S.C., Makhkamova I., Melting and solidification of PCMs inside a spherical capsule: A critical review // Journal of Energy Storage. 2020. № 27. С. 101082.
3. Li S. F., Liu Z. H., Wang X. J., A comprehensive review on positive cold energy storage technologies and applications in air conditioning with phase change materials // Applied Energy. 2019. № 255. С. 113667.
4. Zakharova V.Yu., Kuznetsov P. A., Baranenko A. V., Faizullin R. O, Calculation of cold accumulators with phase change materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 826(1). С. 012040.
5. Sattari H., Mohebbi A., Afsahi M.M., Yancheshme A.A., CFD simulation of melting process of phase change materials (PCMs) in a spherical capsule // International Journal of Refrigeration. 2017. № 73. С. 209–218.
6. Haynes W.M., CRC Handbook of Chemistry and Physics. – FL.: CRC Press Inc., 2010-2011. 229 с.
7. Физические свойства наиболее известных химических веществ: Справочное пособие / Бобылев В. Н., – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. 24 с.
8. Физические величины: Справочник / Бабичев А. П., Бабушкин Н. А., Братковский А. М. и др.; Под. Ред. Григорьева И. С., Мейлихова Е. З. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

Моделирование холодильной системы с радиационным охлаждением конденсатора

Цой А. П., Грановский А. С., Воробьёва О. Д., Джамашева Р. А.

Алматинский технологический университет
г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация
Проведено компьютерное моделирование годового цикла работы комбинированной холодильной системы с использованием радиационного охлаждения для холодильной камеры для яблок вместимостью 30 т. В условиях климата города Алматы разработанная система с использованием радиационного охлаждения по сравнению с обыкновенной чиллерной схемой обеспечивает сокращение на 18% продолжительности работы компрессоров, снижение максимальной температуры конденсации с +46 до +40 °С, пониженный на 3% расход электроэнергии.

Ключевые слова
Холодильные системы, радиационное охлаждение, математическое моделирование, энергоэффективность, экология.

Введение

Радиационное охлаждение (далее РО) – это пассивный способ охлаждения, основанный на передаче теплоты в окружающую среду в виде инфракрасного излучения через атмосферу планеты, который можно использовать для отведения теплоты конденсации и переохлаждения хладагента в парокомпрессионных холодильных машинах [1].

РО позволяет снизить энергопотребление холодильной машины, однако повышает стоимость и материалоемкость всей холодильной системы. Одним из важных направлений применения РО является отвод теплоты от конденсатора, таким образом повышается энергоэффективность системы по сравнению со стандартным чиллером, имеющим только конденсатор с воздушным охлаждением (КВО) [2]. Разработанная модель является предварительным исследованием того, как радиационное охлаждение может повысить эффективность холодильной системы.

В данном моделировании рассматривается холодильная система, в которой за счет радиационного охлаждения происходит круглогодичное охлаждение теплоносителя.

Исследуемые системы

В камере хранится 30 000 кг поздних яблок, масса которых в течение года постоянная и не изменяется. Загрузка новых порций продукта не производится.

Парокомпрессионная холодильная машина с полугерметичным компрессором используется в холодильной системе, холодопроизводительность которой составляет 3700 Вт при температуре кипения хладагента -12,5°С, температура конденсации +40°С, при полезном перегреве 5 К, переохлаждение 5 К. В холодильной системе установлен чиллер с КВО, также после него по ходу движения хладагента имеется конденсатор жидкостного охлаждения (КЖО), в который может подаваться теплоноситель, охлаждаемый в ночное время радиационным охлаждением (при подборе КЖО температурный напор принят равным 10 К), пластинчатый испаритель (с температурным напором 7,5 К). Хладагент, используемый в холодильной машине – R404a. В аккумуляторе холода используется 40%-ый раствор этиленгликоля. Для радиационного охлаждения на крыше холодильной камеры установлены 12 радиаторов, с общей площадью излучательной поверхности 72 м^2. При расчете холодильной системы принимаем, что температура конденсации никогда не опускается ниже +20°С для обеспечения достаточного расхода хладагента.

Холодильная камера расположена в городе Алматы (Республика Казахстан), где климат представлен большими перепадами температуры в течение дня и года, короткие холодные зимы и долгое жаркое лето. Средняя температура за год около 14,7°С.

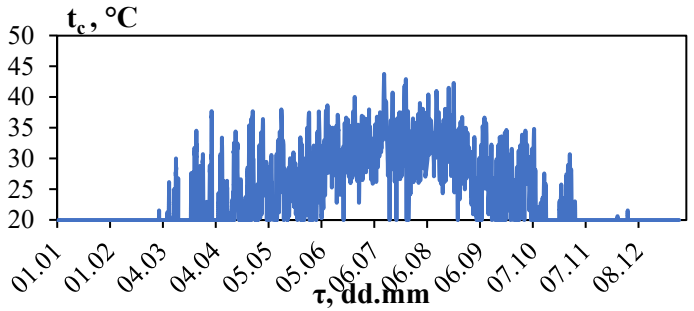
При помощи разработанных компьютерных моделей проведено исследование двух сценариев работы холодильной системы в течение года [3-5].

В первом сценарии была рассмотрена холодильная системы, в которой охлаждение теплоносителя производится только чиллером с конденсатором воздушного охлаждения (далее КВО), а контуры радиаторов и конденсатора жидкостного охлаждения отключены.

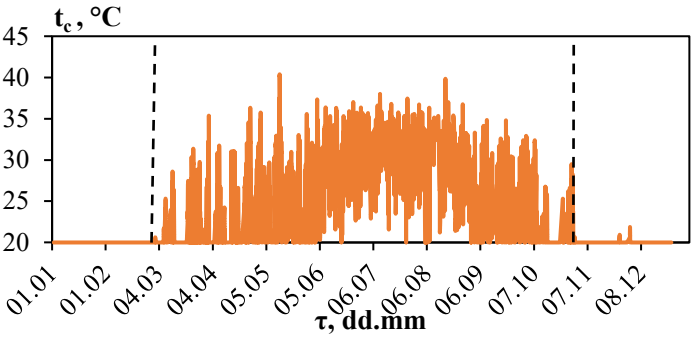
Во втором сценарии рассмотрена холодильная система с включенными радиаторами и конденсатором жидкостного охлаждения. В ней, если температура атмосферного воздуха в период с 12:00 до 18:00 становится выше +15°С, теплоноситель из аккумулятора холода подается в конденсатор жидкостного охлаждения. Вентилятор КВО при этом продолжает работать. Таким образом производится снижение температуры и давления конденсации хладагента. Если температура теплоносителя в аккумуляторе холода поддерживается ниже 0°С за счет действия радиаторов, то холодильная машина не включается, а воздухоохладитель производит охлаждение за счет теплоносителя из аккумулятора холода.

Результаты моделирования

В холодильной системе с КВО максимальная температура конденсации (+46 °С) приходится на месяц август (максимальная температура воздуха +36,5°С), когда происходит максимальный теплоприток в камеру в теплое время года (рис. 1, а).



а)



б)

Рис. 1. Изменение в течение года температуры конденсации хладагента R404a для холодильной системы:
а) с КВО; б) с радиационным охлаждением конденсатора

В таблице показаны результаты моделирования холодильной системы с КВО и радиационным охлаждением.

Таблица.

Результаты моделирования холодильных систем

Параметр		**Система с КВО**		**Система с радиаторами**	
Общее энергопотребление за год, кВт·ч (%)	Зима	9695	996 (10 %)	9468	716 (8 %)
	Весна		2499 (26 %)		2581 (27 %)
	Лето		4157 (43 %)		4121 (44 %)
	Осень		2043 (21 %)		2050 (21 %)
Энергопотребление холодильной машины за год, кВт·ч (%)		7585 (78 %)		6134 (65 %)	
Энергопотребление воздухоохладителя за год, кВт·ч (%)		1557 (16 %)		2064 (22 %)	
Энергопотребление Насосов за год, кВт·ч (%)		553 (6 %)		1270 (13 %)	
Холодильный коэффициент, Вт/Вт	Макс.	2,44		33,96	
	Сред.	1,97		2,19	
Температура конденсации хладагента за летний период, °С	Макс.	46		40	
	Сред.	33		30	
Часть года, когда холодильная машина была отключена, %		46		56	

Заключение

По результатам сравнения можно подвести следующие итоги:

1) Во всех вариантах температура внутри камеры поддерживается на значении +2°С или около этого значения, при этом не превышая пределы температур хранения для поздних яблок (-2…+4°С). По первому варианту температура в камере поддерживается на уровне предельно допустимого значения (+2°С) и ниже 14,78% времени от года, по второму варианту 28,61% от года температура в камере не превышает +2°С. Максимальная температура в камере в обоих случаях не превышает +3,7°С.

2) Если сравнивать температуру конденсации за лето, то максимальная температура +46°С. При включении радиаторов в систему температура конденсации снижается до +40°С.

3) Температура в аккумуляторе холода в ночное время за год может опускаться до -24°C (при температуре ночного воздуха -34°C). В течение года температура теплоносителя в аккумуляторе поднялась до +30°C (при температуре воздуха больше +35°C).

4) Максимальный холодильный коэффициент, достигнутый в системе с радиационным охлаждением, равен 33,96 Вт/Вт. В холодное время года холодильный коэффициент достигает 8 Вт/Вт в системе с радиаторами, среднее значение коэффициента в этой системе за год составило 2,19 Вт/Вт. В холодильной машине с КВО холодильный коэффициент достиг наибольшего значения 2,44 Вт/Вт, а в среднем за год был 1,97 Вт/Вт.

5) Большая доля в энергопотреблении за год приходится на работу холодильной машины (65–78%). На работу воздухоохладителя затрачивается от 16 до 23%. Насосы потребляют от 6 до 13 % от общей электроэнергии.

6) Общее энергопотребление для всех систем (чиллер с КВО, чиллер с радиационным охлаждением конденсатора) в соотношении от времени года распределено с общей пропорциональностью. Самое энергозатратное время года — это лето (от 43 до 46 % от общего энергопотребления, намного меньше ресурсов электроэнергии затрачивается в зимнее время (от 7 до 10%).

7) Энергоэффективность системы с радиационным охлаждением выше на 3%, чем чиллера с КВО.

Литература

1. Goldstein E. A. Free Subcooling with the Sky: Improving the efficiency of air conditioning systems / E.A. Goldstein, D. Nasuta, S. Li, C. Martin, A. Raman // 17th International Refrigeration and Air Conditioning Conference. 2018. P. 1913.
2. Goldstein E. A. Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky / E.A. Goldstein, A.P. Raman, S. Fan // Nat. Energy. 2017. Vol. 2. 17143. – DOI: 10.1038/nenergy. 2017. P. 143.
3. Цой А. П. Холодильная техника и технология потребителей холода. – Алматы, 2012. 500 с.
4. Цой А. П. Анализ энергоэффективности комбинированной системы хладоснабжения с ночным радиационным охлаждением / Цой А. П., Бараненко А. В., Грановский А. С., Цой Д. А., Корецкий Д. А., Джамашева Р. А. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 10-й Международной научно-технической конференции– Омск: Омский государственный технический университет, 2020. С. 167–168.
5. Цой А. П. Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для кондиционирования воздуха / Цой А. П., Грановский А. С., Цой Д. А., Бараненко А. В. // Вестник Международной Академии Холода. 2019. № 3. С. 3–14.

Использование низкопотенциальной энергии земли в условиях Крайнего Севера

Козак О. А. [1], Гущина М. С. [1], Чурдалева И. С. [1], Юрьева А. А. [2]

1 - Северный Арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

2 – Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Аннотация
В статье рассмотрена геотермальная система теплоснабжения Технопарка САФУ как элемента гибридной системы отопления. Изучен состав грунта и почв на рассматриваемом участке, определена оптимальная глубина укладки горизонтального теплообменника. Проведены исследования и замеры фактического сопротивления теплопередачи существующей конструкции стены здания. Подобрана оптимальная модель геотермального теплового насоса. Выполнены расчёты и определена необходимая площадь для укладки горизонтального теплообменника. Даны рекомендации по выбору теплоносителя для грунтовых теплообменников.

Ключевые слова
Возобновляемая энергетика, альтернативные источники, низкопотенциальное тепло, геотермальная энергетика, тепловой насос.

В современном мире остро встает вопрос дальнейшего развития теплоэнергетической отрасли в России. Большая часть расходов топливного ресурса принадлежит теплоэнергетике. Особенно это актуально в Арктической зоне РФ. Следовательно, выходом из данной ситуации является поиск и применение альтернативных методов. Одним из вариантов альтернативных источников получения энергии является тепло земли. Низкопотенциальное тепло Земли может применяться в тепловых насосах. В России внедрение тепловых насосов носит единичный характер. Однако с каждым годом тепловые насосы занимают более значимые позиции в системах теплоснабжения, успешно конкурируя с традиционными источниками энергии [1].

Низкие температуры в Северных климатических районах не позволяют полностью отказаться от сжигания натурального топлива, но использование альтернативных источников энергии может значительно снизить уровень этой зависимости и стать дополнительными видами энергоснабжения.

Использование солнечной и ветровой энергии имеет ряд ограничений для Арктической зоны, низкопотенциальная геотермальная энергия земли менее подвержена этой составляющей.

Тепловые насосы входят в «Перечень объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности» (утв. постановлением Правительства РФ от 17 июня 2015 г. № 600). Кроме того, выделены в качестве одного из приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Теплоснабжение» в Энергетической стратегии России на период до 2030 года.

Тепловой насос (ТН) – это своего рода машина, которая забирает энергию от низкопотенциального источника и переносит его в здание. И тут важно отметить, что тепловой насос не производит тепло, а просто перекачивает его из внешней среды к потребителю, при этом затрачивая электричество.

Технически тепловой насос имеет в своей конструкции три замкнутых контура, слаженная работа которых обеспечивает поддержание необходимого температурного режима.

Суровые зимние условия и продолжительный отопительный сезон - не помеха для работы геотермальных тепловых насосов. Представляет интерес оценить возможность использования тепловых насосов в суровых климатических условиях на примере Технопарка САФУ.

Перед нами была поставлена задача рассмотреть возможность использования геотермального теплового насоса в качестве основного или дополнительного источника теплоснабжения для здания Технопарка САФУ. В здании УЭНЦИ (Учебно-научный центр энергетических инноваций), пристройкой которого является здание Технопарка, уже работает ветрогенератор и установлены панели солнечного коллектора. Установка грунтового теплового насоса позволит показать весь спектр возможного применения гибридной системы энергоснабжения в Арктике.

Для рассмотрения нам был выделен небольшой участок территории во внутреннем дворике УЭНЦИ и Технопарка (рис. 1).

В начале необходимо узнать состав грунта, глубину промерзания и среднюю температуру земли ниже уровня промерзания в близлежащей территории (таблица 1).

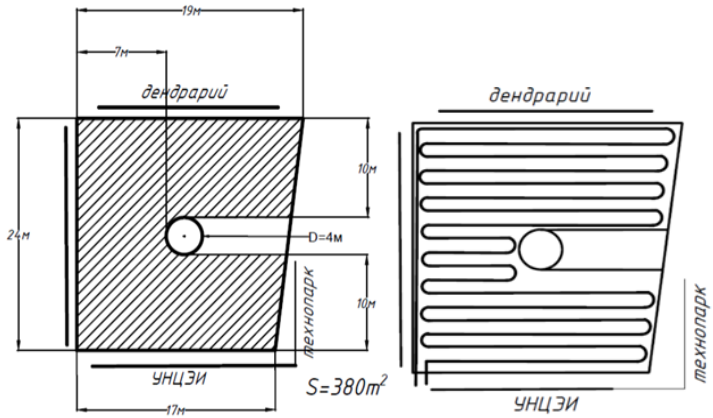


Рис. 1. Схема территории для укладки геотермальных контуров теплового насоса

Северные территории обладают в основном торфяными почвами, в которых содержится большое количество влаги. Соответственно, чем выше влагоемкость почв, тем выше их теплоемкость и ниже поверхностное промерзание. Даже в годы с небольшим количеством снежного покрова в Северных территориях с таким составом почв промерзание отмечается до метра. Укладка коллекторов геотермального насоса в различных климатических регионах варьируется. Зависит это и от продолжительности летнего периода, когда происходит прогрев поверхностного грунта. Слишком глубоко укладывать горизонтальные контуры не стоит, так как можно потерять эту составляющую. Изучив приведенную выше информацию, можно сделать вывод, что в районах вблизи Арктической зоны необходимая глубина для укладки тэнов около двух метров. Дополнительно проводилась тепловизионная съемка и анализ участка земли тепловизором Testo 885-2. 3.

Для получения необходимой тепловой нагрузки здания был выполнен приборный аудит. Эксперименты проводились в холле Технопарка в марте, когда здание прогрето изнутри, а северные широты и суровый климат сохраняют устойчиво низкие температуры наружного воздуха. Датчик измерения наружного воздуха располагали максимально близко к зданию на теневой безветренной стороне. Секционный радиатор отопления предварительно был отключен. Измеряли плотность теплового потока. Температуру стены снаружи измерить не было возможности из-за находящегося на ней вентилируемого фасада, расчет которого ведется по другому принципу - до воздушной прослойки.

Таблица 1.

Напластование грунтов в основании главного корпуса САФУ

Глубина слоя, м	**Мощность слоя, м**	**Группа**
0,6	0,6	Насыпной грунт
3,3	2,7	Торф
4,7	1,4	Суглинок мягкопластичный
6,5	1,8	Суспесь пластичная
12,0	5,5	Тугопластичный серый суглинок с включениями гравия
16,5	4,5	Суглинок тугопластичный
18,0	1,5	Суглинок твердый

Нормативная глубина промерзания для города Архангельск.

Средняя температура на глубине 1,7 метра.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °С	4,0	3,5	3,1	2,7	2,5	3,0	4,5	6,0	7,1	7,0	6,1	4,9

Определение фактического термического сопротивления ограждающей конструкции проводили в течение дня в часовом интервале (таблица 2, рис. 2).

Изучив рынок и проанализировав все данные, мы остановились на инверторном тепловом насосе ECOFOREST Basic 5–22 кВт. Система высокотемпературного возврата позволяет одновременно производить тепло/холод и горячую воду.

Расчет применяют для одного из режимов согласно стандарту EN 14511 (0 °С – температура теплоносителя на входе в испаритель, 60 °С – температура подачи в систему отопления): Pe = 22 · (1 - 1/4,9) = 17,51 кВт.

Таблица 2.

Расчет фактического сопротивления теплопередачи стены

№ опыта	q_1, $\frac{Вт}{м^2}$	q_2, $\frac{Вт}{м^2}$	q_3, $\frac{Вт}{м^2}$	$t_{вст}$, °C	$t_в$, °C	$t_н$, °C	$q_{ср}$, $\frac{Вт}{м^2}$	$R_ф$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
1	16,3	16,4	13	17,9	18,8	3,1	15,2	1,03
2	16,5	17,6	13,1	17,2	18,1	3,1	15,7	0,96
3	14,6	15,8	13,8	17,1	18,2	3,0	14,7	1,03
4	15,4	14,1	13,9	16,9	18,4	3,0	14,5	1,06
5	15,2	14,4	12,4	16,9	18,4	3,4	14	1,1
6	16,2	16,0	14,4	17,0	18,4	3,6	15,5	0,95
7	13,8	14,5	12,8	17,0	18,4	3,3	13,7	1,1
8	14,2	15,2	13,0	16,9	18,4	3,0	14,1	1,09
9	14,3	13,7	12,9	16,9	18,3	3,3	13,6	1,1
10	15,1	16,7	14,3	16,9	18,4	3,6	15,4	0,96
Среднее фактическое термические сопротивление								1,04

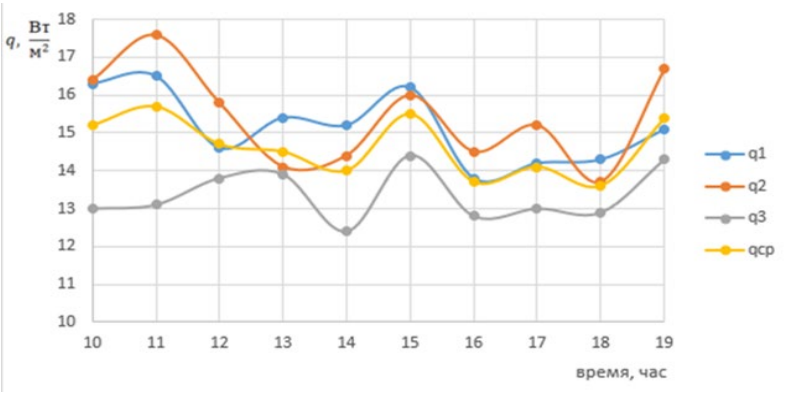


Рис. 2. График зависимости теплового потока от времени

Снимаемая мощность контуров грунтового теплообменника теплового насоса: Pе = $P_н$ · (1 – 1/COP), кВт, где $P_н$ – номинальная мощность теплового насоса, COP – коэффициент преобразования.

Необходимая длина горизонтального теплообменника теплового насоса равна отношению необходимой мощности к снимаемой мощности одного метра трубы: $L = Pe/q$, м, где q - среднее значение для горизонтальных коллекторов. Ориентировочно можно считать, что для горизонтальных коллекторов он составляет 35–50 Вт/м для наших грунтов (принимаем среднее значение 40 Вт/м). В нашем случае длина горизонтального теплообменника: L = 17,51/0,04 = 437,8 м [3]. Для данного теплового насоса будет оптимально 5 грунтовых контуров по 100 м каждый. Чтобы узнать, какую площадь будет занимать такой коллектор, необходимо это число умножить на величину шага укладки труб (принимаем шаг, равный 0,7 м) S = 500 · 0,7 = 350 м². Также геотермальный ECOFOREST Basic 5–22 кВт способен обеспечить и охлаждение помещений в жаркий период времени, например в июле-августе.

Выполненные исследования и расчеты позволяют нам делать выводы, что даже такой небольшой участок территории при использовании геотермального теплового насоса может быть основным или дополнительным источником энергии для теплоснабжения здания и сократить потребление энергии из тепловой сети в максимально холодный период времени. В переходный период времени года и при небольших температурах наружного воздуха в период отключения отопления данный тепловой насос сможет полностью обеспечить энергоснабжение здания Технопарка и создать комфортные микроклиматические условия для находящихся в здании людей. Реверсивный тепловой насос позволяет подстраиваться под различные режимы потребления и работать с соответствующей мощностью. Также есть возможность обеспечить здание кондиционированием и вентиляцией. Использование низкопотенциальной энергии Земли в суровых климатических условиях для системы теплоснабжения зданий является наиболее приемлемой для северных широт, в отличии от известных нетрадиционных источников энергии. Наконец, стоит отметить высокую экологическую составляющую использования геотермальной низкопотенциальной энергии Земли, даже по сравнению с ветровой и солнечной энергетикой. Гибридная система, совмещающая использование геотермальной энергии Земли и другие виды нетрадиционной энергетики, может быть полностью альтернативной и возобновляемой энергетикой или технологией, которая будет способствовать уменьшению нагрузки на природу и при этом быть энергосберегающей и энергоэффективной. Результаты дан-

ной работы показывают отличную возможность применения геотермального теплового насоса в условиях северных территорий и торфяных грунтов.

Литература

1. Региональные проблемы теплоэнергетики: учебное пособие / Лебедев В. М., Приходько С. В., Гаак В. К., Стариков А. П., Глухов С. В., Под ред. Лебедева В. М. СПб.: Лань, 2019. 136 с.
2. Климатические инновационные системы 2001–2020 URL: http://clins.ru/ product/ecoforest-ecogeo-basic-b1-b2-b3-b4-5-22-kvt/ (дата обращения: 10.02.2020).
3. Грунтовые теплообменники для геотермального теплового насоса // Блог SolarSoul — Солнечная энергия и энергосбережение. 2011-2020 URL: https://solarsoul.net/gruntovye-teploobmenniki-dlya-geotermalnogo-teplovogo-nasosa (дата обращения: 29.02.2020).

Исследование методов повышения надежности теплоснабжающих систем с помощью индивидуальных энергоустановок

Корнилов Д. А.

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

Ключевые слова
Энергоэффективное теплоэнергопотребление, тригенерация, умные сети, сети 4GDH.

Инфраструктура современных энергетических систем, а также централизованного теплоснабжения призвана сыграть важную роль в повышении энергоэффективности страны. Несмотря на возрастающие энергетические потребности и ограниченности ресурсов, энергетические системы должны удовлетворять потребителей, обеспечивая энергией хорошего качества и в требуем количестве. В современной литературе [1, 2] показаны характерные черты «энергетического мира» в сфере потребления: в быту, на производстве, электротранспорте, в энергоэффективном мегаполисе (Smart City). Сформированы основные направления комплексной генерации различных видов энергии, а также пути развития новой энергетической инфраструктуры (Smart Grid), объединяющей центры энергопроизводства и энергопотребления в единую энергоинформационную систему ЕЭС-2.0. Показана эффективность применения в энергосистемах новых электротехнических устройств типа накопителей, токоограничителей и других систем управления режимной надежностью. По мнению авторов, управление такими интеллектуальными системами должно строиться на новых информационных технологиях, соответствующих когнитивным принципам поведения человека в новой техногенной среде.

Централизованное теплоснабжение представляет собой сеть трубопроводов, распределяющих тепловую энергию для потребителей в районе или в целом городе таким образом, что они могут обслуживаться централизованными станциями или несколькими распределенными тепловыми установками. Такой подход позволяет использовать любой доступный источник тепла. Включение централизованного теплоснабжения в будущие города позволяет широко использовать комбинированное производство тепла и электроэнергии вместе с использованием

тепла из других возобновляемых источников, сбросного тепла и различных промышленных источников избыточного тепла, а также включать геотермальные и солнечные тепловые системы. Современные энергетические системы основаны на сочетании изменяющихся во времени возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветровая, геотермальная и солнечная энергия, вместе с остаточными ресурсами, такими как отходы и биомасса. Система централизованного теплоснабжения 4-го поколения (4GDH) определяется как согласованная технологическая концепция, которая с помощью интеллектуальных тепловых сетей способствует соответствующему развитию так называемых устойчивых энергетических систем. Системы 4GDH обеспечивают теплоснабжение зданий с низким энергопотреблением с низкими потерями в сети таким образом, что использование низкотемпературных источников тепла интегрировано с работой интеллектуальных энергетических систем. 4GDH — это международная задача для инноваций, предложений для исследователей и практиков, работающих в сфере развития энергетических технологий. Это подразумевает целостный подход, объединяющий вопросы экономики, технологий, планирования и климатической политики, делает его уникальным и очень ценным для всех, кто стремится преобразовать нашу энергетическую систему в направлении устойчивости. В случае внедрения инициатив по планированию цель заключается в расширении тепловой сети ТЭЦ в выбранном населенном пункте или регионе.

Одним из важных составляющих современных энергетических систем могут быть включены когенерационные установки. Комбинированное производство тепловой и электрической энергий внутри одного комплекса называется когенерацией (от англ. co + generation, совместная генерация). Когенерация недостаточно эффективна в случаях, когда помимо тепловой энергии также требуется холод. В этом случае целесообразно перейти к тригенерации. Тригенерация (Trigeneration, CCHP - combined cooling, heat and power) — это процесс совместной выработки электричества, тепла и холода. Тригенерационный комплекс – это комбинация когенерационной установки (вырабатывающей электрическую и тепловую энергию) с абсорбционной холодильной машиной, вырабатывающей холод за счет потребления произведенной тепловой и незначительного количества электрической энергии.

Тригенерация является более работоспособной и выгодной по сравнению с когенерацией, поскольку даёт возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Тригенерация позволяет эффективно утилизировать тепло зимой

для отопления и летом для кондиционирования помещений и технологических нужд. Генерирующая установка может использоваться круглый год, причем в летний период (когда потребность в тепле уменьшается) не снижается коэффициент полезного действия энергетической установки.

Для тригенерационного комплекса необходима абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина (АБХМ). Абсорбционная холодильная машина потребляет бросовую тепловую энергию, а не дорогостоящее электричество, для реализации холодильного цикла.

Тригенерационные комплексы могут быть использованы в централизованном отоплении и охлаждении, а также для *умных* электросетей, наряду с умными сетями отопления и охлаждения. В европейских странах, где температура наружного воздуха зимой намного отличается от таковой в условиях России, тем более сибирских зимних температур, сохраняется тенденция в использовании более низких температур распределения, порядка +40 градусов, использования компонентов труб из более качественных теплоизоляционных материалов. Такие системы в условиях Сибири требуют завышенных диаметров (из-за низких температур теплоносителя) и имеют другие особенности.

Исследуемая тригенерация позволяет сильно экономить на отсутствии присоединения к электрическим сетям крупных энергокомпаний с повышенными тарифами. Сроки присоединения к сетям и строительства объектов электросетевого хозяйства практически всегда больше, чем срок создания собственной генерации. Кроме этого, необходимо за свой счет построить объекты электросетевого хозяйства: линии электропередачи, ячейки, трансформаторы, иногда и подстанции, которые затем перейдут в собственность сетевой компании. В то же время мощности, ранее присоединенные к сетям, остаются у предприятия малого бизнеса и будут служить источником резервного питания.

На рисунке 1 представлена схема оборудования установки с тригенерацией в режиме охлаждения. Преимущества таких установок – это процесс совместной выработки тепла, электроэнергии и холода. Комбинированное производство тепловой и электрической энергий дает существенную экономию энергии. Тригенерация является более эффективной и выгодной по сравнению с когенерацией, поскольку даёт возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Для этого используются абсорбционные бромистолитиевые установки (АБХМ).

Существенно экономит средства на очистку воды и экономит запасы очищенной воды, используемой в АБХМ подключение к АБХМ градирни.

Таким образом, с помощью определенных технологий производится комбинированное производство электричества, тепла и холода.

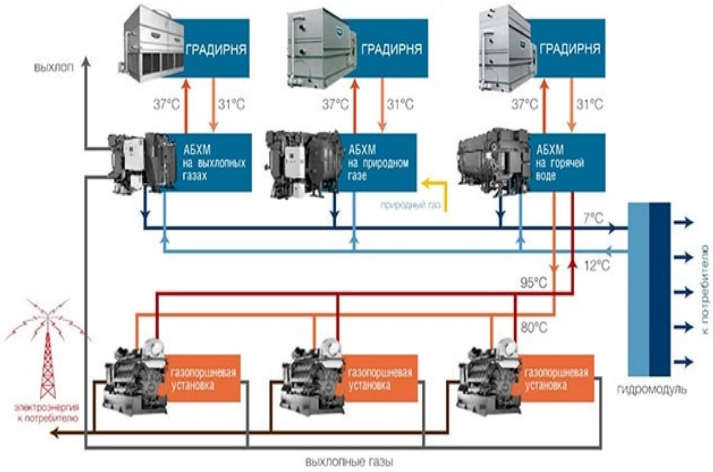


Рис. 1. Схема комбинирования оборудования установки с тригенерацией

Для получения холода в когенерационный цикл включаются абсорбционная холодильная машина (АХМ) и градирня. Из АХМ [3-5] наиболее распространены бромистолитиевые машины – АБХМ. Принцип действия АБХМ основан на том, что вода при сверхнизком давлении испаряется при температурах, близких к 0ºС, и при этом забирает тепло от системы кондиционирования воздуха. После испарения водяной пар попадает в абсорбер, где непрерывно поглощается раствором бромистого лития (LiBr) – благодаря этому в блоке испаритель-абсорбер поддерживается низкое давление. В результате поглощения воды концентрированный раствор LiBr становится разбавленным, после чего он откачивается в генератор, где выпаривается вследствие нагрева от горячего пара, воды или выхлопных газов. Ставший «крепким» раствор LiBr возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор - и этот процесс идет по кругу. Так реализуется тригенерационный цикл, CCHP (Combined Cooling Heat and Power).

Применение тригенерационной схемы резко повышает общий КПД энергоустановки, для отдельных видов энергоустановок, таких как микротурбины, КПД в режиме тригенерации превышает 92%. На мировом и российском рынках представлено несколько крупных производителей

АБМ, выпускающих продукцию под брендами Carrier, Broad, Trane, York и Century.

Чтобы организовать на предприятии тригенерационный цикл, необходимы теплоутилизатор, абсорбционная холодильная машина, градирня и энергогенерирующее оборудование. Спектр производителей компонентов цикла достаточно широк - на рынке представлены как отечественные образцы, так и оборудование из Японии, Китая, Индии, США и Европы.

Часто для объектов используют встроенные в микротурбину теплоутилизаторы Capstone. Стоит отметить, что наиболее эффективно (с высоким КПД и оптимальным расходом топлива) в тригенерационном цикле работают микротурбинные и малые газотурбинные установки.

Возможные КПД представлены на рисунке 2. Нулевой расход топлива в летнем режиме, тем не менее, не исключает необходимости подвода топлива для зимнего режима [5]. Наличие холодильной нагрузки обусловит увеличение летней электрической нагрузки сверх зимнего максимума. Плата за дополнительное подключение крупных агрегатов может кратно превосходить стоимость ПКХМ в расчете на 1 кВт холодильной мощности. В зимнем режиме дополнительная электрическая нагрузка и ПКХМ не используются.

В неотопительный период в тепловых сетях поддерживается температура подающей сетевой воды на уровне 70-77ºС. Электрическая мощность агрегатов в этот период составляет ~70% от номинала

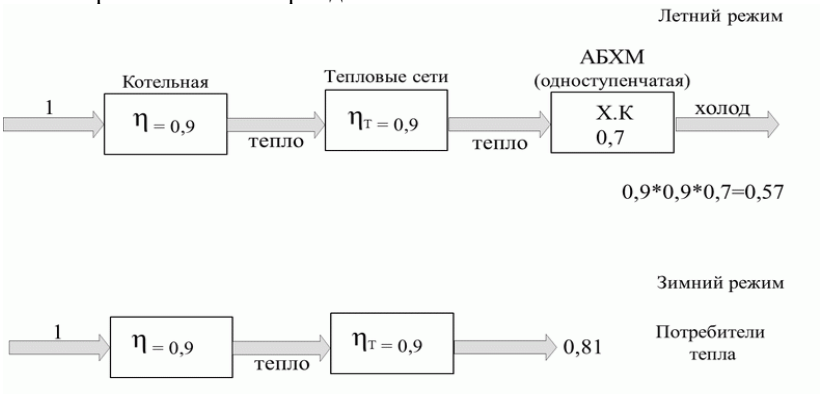


Рис. 2. Возможные варианты КПД при применении АБХМ

Комплексные системы вентиляции, отопления и кондиционирования – хорошее решение по энергоснабжению производственных предприятий, ЖКХ, сегмента HoReCa (отели, рестораны, кафе), офисных,

торгово-развлекательных и спортивно-оздоровительных комплексов. Не случайно тригенерационный цикл активно внедряется в теплоэнергетику практически всеми развитыми и развивающимися странами. Создано понятие системы централизованного теплоснабжения будущего четвертого поколения.

В недавних европейских и российских исследованиях [7-12] изучалась осуществимость централизованного теплоснабжения с точки зрения внедрения устойчивой энергетической системы, основанной на возобновляемых источниках энергии и тригенерационных установках. Будущие сети энергоснабжения имеют возможность включать централизованное теплоснабжение с органичным сочетанием Smart Heat Systems в составе АБХМ как часть 4GDH, а также распределенно - централизованными сетями и потребителями с функциями доноров энергии.

Литература

1. «Инновационная электроэнергетика – 21» под ред. Батенина В. М., Бушуева В. В., Воропая Н. И. – М.: ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.
2. Исследование адаптации энергетики России к посткризисному развитию экономики // Под редакцией Макарова А. А. и Веселова Ф. В. — М.: ИНЭИ РАН, 2018. 184 с.: ил. ISBN 978-5-91438-022-6.
3. Трубилина И. Т. Адсорбционные холодильные установки в системах тригенерации. Журнал: Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, том 2 № 8. 2017.
4. Дорошина А. В., Дьяков А. В., Дорошин А. Н. Современные системы тригенерации на базе энергоблоков с парогазовыми установками // Инновации и инвестиции. 2013. №4.
5. Громов Б. Н., Сердюкова М. А., Панфилов А. Ю. О перспективах тригенерации в Москве. электронный журнал "Новости теплоснабжения".
6. Витязева М. М., Поспелова И. Ю., Поспелова М. Я. Сравнительная оценка текущего положения сферы теплоснабжения РФ и стран Европы и предполагаемые пути реформирования. В сборнике: Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2021. С. 242–245.
7. Муратова А. Е. Поспелова И. Ю. Экономия тепловой энергии при помощи рекуперации. В сборнике: Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. Материалы VIII Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2021. С. 317–318.

8. Муратова Ж. А., Поспелова И. Ю. Исследование систем управления инженерным оборудованием в градостроительных комплексах. В сборнике: Градостроительство: теория, практика, образование. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 254–259.
9. Муратова А. Е., Поспелова И. Ю. Экономическое обоснование реконструкции индивидуального теплового пункта. В сборнике: Экономический альманах. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Экономика инфраструктурных преобразований: проблемы и перспективы развития». Выпуск №7, 2020. С. 286–290.
10. Henrik Lund and all. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy 68 (2014). Pp. 11–12.
11. Pospelova I, V Filatov. Investigation of feasibilities of heat pipe using in recuperation systems with heat excess of paper industry enterprises 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 408 012010 https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/408/1/012010
12. Pospelova I. SmartEnergyCover simulation in the installation of mining farms with waste heat. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 667 012081 https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/667/1/012081

Интенсивная терапия новорожденных с использованием термоэлектрических преобразователей энергии

Камилова З. А., Хазамова М. А.

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация
Рассмотрена актуальная проблема выхаживания новорожденных в неонатологии, а именно обеспечение терморегуляции недоношенных детей, а также вопросы интенсивной терапии новорожденных как комплекс мероприятий, включающих первичную реанимацию и терапию. Проведен анализ неонатологического реанимационного комплекса интенсивной терапии, базирующемся на использовании термоэлектрических преобразователей энергии. Приведена математическая формулировка задачи при численном расчете температурного режима работы комплекса.

Ключевые слова
Неонатологический комплекс, гипотермия, термоэлектрическая батарея, интенсивная терапия, теплопроводность, оптимальные условия теплообмен.

Интенсивно-реанимационная терапия новорожденных – это комплекс мероприятий, включающий первичную реанимацию, интенсивную терапию, мониторинг жизненно важных функций в группах высокого риска по срыву адаптации к внеутробной жизни и развитию неонатальной патологии. Одним из ключевых элементов выхаживания критически больных и глубоко недоношенных детей является профилактика гипотермии. Для контроля эффективности проводимых всем недоношенным детям мероприятий рекомендуется проводить непрерывный мониторинг температуры тела в родильном зале, а также фиксировать температуру тела ребенка при поступлении в блок интенсивной терапии.

Создание оптимальных условий окружающей среды, в которой можно было бы обеспечить температурный комфорт, оптимальную влажность, защиту от излишних манипуляций, шума, яркого света, бак-

териальной агрессии, является важной задачей, что позволяет рассматривать сохранение нормальной температуры и контроль терморегуляции новорождённых как один из резервов снижения младенческой смертности, является достаточно важной задачей. В виду этого поддержание нормальной температуры тела у больных новорождённых и недоношенных детей имеет первостепенное значение при планировании и проведении интенсивных мероприятий в условиях специализированных отделений реанимации и интенсивной терапии, и отделений реабилитации новорождённых [1].

Именно в неонатологическом реанимационном комплексе можно обеспечить необходимые условия для поддержания жизни недоношенного ребенка. Инкубатор обогревает ребенка, снижая теплоотдачу в окружающую среду. То есть, ребенку нет необходимости тратить свои метаболические ресурсы для борьбы с тепловым стрессом, который вызывает задержку роста и препятствует нормальному функционированию организма. Энергетические ресурсы новорожденного должны быть направлены преимущественно на функционирование внутренних органов, терморегуляцию и рост.

Терморегуляция происходит за счет существенной части отдачи энергии новорожденным (особенно у недоношенных и мало весящих при рождении детей). Обмен теплом с окружающей средой у детей намного выше, чем у взрослых, из-за большого соотношения поверхности тела к весу, слабо развитой подкожной клетчатки, высокой проницаемости кожи. Все это объясняет повышенный риск гипо- и гипертермии новорожденных. Несмотря на то, что новорожденный поддерживает свою постоянную температуру тела, он не может использовать свои терморегуляторные механизмы длительное время.

Инкубатор обеспечивает новорожденному необходимую комфортную температурную среду. Температура в инкубаторе должна быть термонейтральной, при которой новорожденный сможет поддерживать свою постоянную температуру тела путем пассивной терморегуляции с минимальными энергетическими и метаболическими затратами [2].

Благодаря современным интенсивным методам выхаживания и по мере их совершенствования появилась возможность сохранять жизнь многим новорождённым, считавшимся раньше нежизнеспособными. Это произошло благодаря разработке научно обоснованной концепции «тепловой защиты» и использованию специальной медицинской аппаратуры и средств, которые позволяют успешно выхаживать и мониторировать основные показатели витальных функций организма (в частности – температуру) новорождённых детей высокого риска.

В настоящее время в инкубаторах для новорожденных обеспечение соответствующего микроклимата осуществляется, в основном, с использованием типовых систем термостабилизации, основанных на электрическом нагреве и парокомпрессионном охлаждении. При этом данные комплексы нуждаются в повышении надежности работы и точности поддержания температуры в объеме кувеза. С точки зрения повышения данных характеристик целесообразным является применение в системе обеспечения микроклимата термоэлектрических батарей (ТЭБ), также характеризующихся высокой экологичностью [3]. Однако использование для указанных целей слаботочных ТЭБ ограничено, ввиду недостаточной надежности относительно мощной охлаждающей (нагревающей) системы с большим количеством модулей. Это обстоятельство связано с тем, что выход из строя хотя бы одного блока приведет к нарушению рабочего режима всей системы, что в случае ее работы в составе неонатологического реанимационного комплекса поставит под угрозу состояние новорожденного.

В этих условиях основным направлением исследований в области проектирования термоэлектрических систем обеспечения микроклимата в неонатологических кувезах является повышение их надежности. Достичь указанного возможно путем применения сильноточных ТЭБ специальной конструкции с улучшенными надежностными характеристиками.

В НИИ «Полупроводниковые термоэлектрические приборы и устройства» при ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» разработан неонатологический реанимационный комплекс интенсивной терапии новорожденных на базе термоэлектрических преобразователей энергии, характеризующихся достаточно большими токами питания [4]. Комплекс состоит из инкубатора с гелевым противопролежневым матрасом, контактирующим с термоэлектрическими модулями. Внутри инкубатора расположено устройство для гипотермии головы, представляющее собой цилиндрический стакан со сферической внутренней полостью и гелевой прослойкой, находящийся в контакте с рабочими спаями термоэлектрического модуля, вторые спаи которого контактируют с жидкостным теплообменником. Для исследования данного комплекса рассмотрена обобщенная тепловая схема, содержащая камеру, заполненную воздушной средой, в объеме которой находится специальный лежак, на котором размещается новорожденный. С боковой поверхностью приведена в хороший тепловой контакт ТЭБ, имеющая холодопроизводительность. Съем теплоты с горячих спаев ТЭБ может осуществляться с помощью воздушных радиаторов, обдуваемых вентилятором, а также путем жидкостного охлажде-

ния. Нижняя торцевая поверхность камеры неонатологического реанимационного комплекса обменивается теплом с окружающей средой при коэффициенте теплообмена, равном $\alpha_{ср}$.

Для численного расчета температурного режима работы комплекса математическая формулировка имеет следующий вид [5]:

при x, y, z$\in D_1$

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right) + Q_{вн}, \quad (1)$$

при x, y, z$\in D_2$

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right),$$

при x, y, z$\in D_3$

$$C_3 \rho_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial t} + \omega_x \frac{\partial T_3}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial T_3}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial T_3}{\partial z} \right) = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right),$$

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} = 0,$$

$$\rho_3 \left(\frac{\partial}{\partial t} + \omega_x \frac{\partial}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial}{\partial z} \right) \omega_x = -\frac{\partial P}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_3 \frac{\partial \omega_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_3 \left(\frac{\partial \omega_x}{\partial y} + \frac{\partial \omega_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_3 \left(\frac{\partial \omega_x}{\partial z} + \frac{\partial \omega_z}{\partial x} \right) \right] - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (\mu_3 div \vec{\omega}) + g_x \cdot \rho_3$$

$$\rho_3 \left(\frac{\partial}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial}{\partial} + \omega_y \frac{\partial}{\partial} + \omega_z \frac{\partial}{\partial} \right) \omega_y = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_3 \left(\frac{\partial \omega_y}{x} + \frac{\partial \omega_x}{y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_3 \frac{\partial \omega_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_3 \left(\frac{\partial \omega_y}{\partial z} + \frac{\partial \omega_z}{\partial y} \right) \right] - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial}{\partial y (\mu_3 div \vec{\omega})} - g_y \cdot \rho_3$$

$$\rho_3\left(\frac{\partial}{\partial t}+\omega_x\frac{\partial}{\partial x}+\omega_y\frac{\partial}{\partial y}+\omega_z\frac{\partial}{\partial z}\right)\omega_z$$

$$=-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu_3\left(\frac{\partial\omega_z}{\partial x}+\frac{\partial\omega_x}{\partial z}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu_3\left(\frac{\partial\omega_z}{\partial y}+\frac{\partial\omega_y}{\partial z}\right)\right]+2\frac{\partial}{\partial_z}\left(\mu_3\frac{\partial\omega_z}{\partial z}\right)-\frac{2}{3}$$

$$\cdot\frac{\partial}{\partial z}(\mu_3 div\varpi)+g_z\cdot\rho_3$$

$$\beta=-\frac{1}{\rho_3}\frac{\partial\rho_3}{\partial\rho T_3},$$

где Т- температура; индексы 1, 2, 3 - соответствуют новорожденному, кроватке и воздушной среде в объеме неонатологического комплекса; ρ_1, ρ_2, ρ_3- плотность областей D_1, D_2 ,D_3; C_1, C_2, C_3- теплоемкость областей D_1,D_2,D_3; λ_1, λ_2, λ_3- теплопроводность областей D_1, D_2,D_3; t- время , $Q_{вн}$–удельное количество теплоты, выделяемое в единицу времени новорожденным; ω_x, ω_y, ω_z -компоненты вектора скорости движения воздуха в камере; Р-давление воздуха; μ_3 - динамическая вязкость воздуха; g_x, $g_y g_z$ - компоненты вектора ускорения свободного падения; β-коэффициент теплового расширения воздуха.

Условия однозначности имеют вид.

Начальные условия:

$$T_{2,3}(x, y, z, t) = T_{ср},\ T_1(x, y, z, t)=309{,}6\ К \text{ при } t=0, \qquad (2)$$

$$\omega_x = 0;\ \omega_y = 0;\ \omega_z = 0 \text{ при } t = 0$$

Р=100 кПа при t=0.

Граничные условия:

$$\lambda_3\frac{\partial T_3}{\partial n}=q_{ТЭБ} \text{ для } S_{3\text{-}0}$$

$$\lambda_3\frac{\partial T_3}{\partial n}=q_{ОП} \qquad \text{для } S'_{3-0}$$

$$\lambda_3\frac{\partial T_3}{\partial n}=\alpha_{ср}\left(T_{ср}-T_3\right) \text{для} S''_{3\text{-}0},$$

$$\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial n}=\alpha_{ср}\left(T_{ср}-T_2\right) \text{для} S_{2\text{-}0},$$

$$\lambda_2\frac{\partial T_2}{\partial n}=\lambda_x\frac{\partial T_1}{\partial n} \text{для} S_{2\text{-}1},$$

$\omega_x=\omega_y=\omega_z=0$ для $S_{3\text{-}0}$ в общем случае

$\omega_x=\omega_y=\omega_z=0$для$S'_{3\text{-}0}$, $S''_{3\text{-}0}$, $S_{3\text{-}1}$, $S_{3\text{-}2}$, $S_{2\text{-}1}$, $S_{2\text{-}0}$.

где S_{3-0}- площадь соприкосновения области D_3 с окружающей средой на боковой поверхности;S_{3-2}-площадь соприкосновения области D_3 с областью D_2;S_{3-1}- площадь соприкосновения области D_3 с областью D_1;S_{2-0}- площадь соприкосновения области D_2 с окружающей средой;S_{2-1}- площадь соприкосновения области D_2 с областью D_1;S'_{3-0}- площадь соприкосновения области D_3 с окружающей средой и верхней поверхности;S''_{3-0}- площадь соприкосновения области D_3 с окружающей средой по нижней поверхности; $\alpha_{ср}$- коэффициент теплообмена с окружающей средой; $\alpha_к$ - коэффициент теплообмена с воздухом в камере; $T_{ср}$–температура окружающей среды. Решение данной системы дифференциальных уравнений (1) с условиями однозначности (2) даст возможность определить изменение температуры каждой точки описанной системы в любой момент времени, а также отследить ее изменение в зависимости от величин холодо- и теплопроизводительности ТЭБ и внешних условий и может быть осуществлено с высокой степенью точности любым численным методом решения систем дифференциальных уравнений [6].

Результаты получены в виде одномерных графиков изменения температуры в различных точках системы, а также во времени при различных величинах холодопроизводительности и теплопроизводительности ТЭБ.

Литература

1. Яцык Г. В. Выхаживание и ранняя реабилитация детей// Г. В. Яцык, Е. П. Бомбардирова, О. В. Тресорукова // «Лечащий врач». №7. 2007.
2. Штайнер, К. Визуальная диагностика в акушерстве и неонатологии / К. Штайнер. - М.: МЕДпресс-информ, 2016. 114 с.
3. Исмаилов Т. А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. – СПб.: Политехника, 2005.
4. Пат. 2494715 Рос. Федерация: МПК A61G 10/02, A61G 11/00, Реанимационный комплекс для новорожденных/ Исмаилов Т. А., Хазамова М. А., Евдулов О. В., Камилова З. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет». - №2012102167/14; заявл. 23.01.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28.
5. Теория тепломассообмена / Под.ред. Леонтьева А. И. М.: МГТУ им. Баумана. 1997.
6. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. Пер. с англ. М.: Мир. 1988.

Система сублимационной сушки растительного сырья с отводом тепловой нагрузки за счет теплопоглощающей способности сжиженного природного газа

Печенегова Е. А. [1], Баранов А. Ю. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

2 – Научно- производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Распространение на территории Российской Федерации сжиженного природного газа, который применяется в быту и промышленности в качестве дешевого экологичного энергоносителя, создает условия для того, чтобы извлечь из этого криогенного продукта дополнительную энергию – скрытую теплоотводящую способность. Сжиженный природный газ нужен основным потребителям в качестве источника тепловой энергии, поэтому, прежде чем появится возможность его сжечь, СПГ необходимо перевести из сжиженного состояния в газообразное. Для этого необходимо подвести газифицируемому СПГ более 900 кДж/кг теплоты. Можно использовать регазифицируемый газ в качестве приемника теплоты в технологических процессах, основанных на отводе тепловой энергии на низких температурных уровнях, например, процессах низкотемпературной переработки сырья сельскохозяйственного происхождения.

Ключевые слова
СПГ, сжиженный природный газ, сублимационная сушка, регазификация СПГ.

Самой перспективной, с точки зрения утилизации скрытой теплоотводящей способности СПГ, сферой использования СПГ являются процессы, связанные с сублимационной сушкой. Разработана схема использования СПГ для сублимационной сушки, в которой поток сжиженного природного газа и его паров используются в качестве теплоотводящей среды на трех температурных уровнях.

Сублимационная сушка растительного сырья перспективная технология для получения продуктов, пригодных для длительного хранения [1-6]. В отличие от других способов обезвоживания сублимационная сушка позволяет сохранить высокие качества исходных продуктов.

Распространение сублимации сдерживается большими энергозатратами на реализацию данной технологии, а также высокой ценой специализированного холодильного оборудования. Эти ограничения можно преодолеть, используя для отвода теплоты на низких температурных уровнях теплопоглощающую способность сжиженного природного газа.

Проведена предварительная оценка тепловой нагрузки оборудования сублимационной сушки и определена величина удельных затрат СПГ на реализацию данной технологии.

Литература

1. Баранов А. Ю., Валентинова К. А., Иванов Л. В. Моделирование испарения сжиженного природного газа в мобильных резервуарах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 4(128). С. 595–602.
2. Середенко Е. С., Пахомов О. В., Баранов А. Ю. Математическая модель испарения сжиженного природного газа и анализ влияния исходного состава на скорость испарения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 4(128). С. 603–610.
3. Давыденко М. И., Баранов А. Ю. Расчет параметров работы погружного центробежного насоса с приводом от гидротурбины при отгрузке сжиженного природного газа из крупнотоннажных хранилищ//Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2020.
4. Vasilenok A.V., Baranov A. Y., Malysheva T. A., Filatova O. A., Kutyanova L. R., Andreev A. M., Solonina Y. A. The cost of liquid nitrogen for WBC sessions//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 826, No. 1, pp. 012014.
5. Иванов Л. В., Баранов А. Ю., Соколова Е. В. Методика оценочного проектирования систем хранения груза малотоннажных судов-газовозов // Морской вестник. 2020. № 4(76). – С. в редакции.
6. Иванов Л. В., Баранов А. Ю., Плужникова Д. В. Перспективы использования водного транспорта СПГ для автономной газификации отдаленных регионов // Газовая промышленность. 2020. № 2(796). С. 52–58.

Оценка энергоэффективности повышения давления потока сырьевого природного газа перед ожижением

Иконникова А. Ю. [1], Баранов А. Ю. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-производственное предприятие «КРИОН»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
При производстве сжиженного природного газа затрачивается существенное количество электроэнергии. Минимальные удельные затраты электроэнергии составляют 0,8 кВт·час /кг. Учитывая масштабы производства СПГ, любое снижение величины удельных затрат электроэнергии представляет большой научный и практический интерес. Повышение давления потока сырьевого природного газа на входе в блок ожижения позволяет сместить основную тепловую нагрузку рефрижераторного цикла системы охлаждения на более высокий температурный уровень. Обычно давление магистрального природного газа составляет от 5 до 7 МПа. В отдельных случаях давление сырьевого потока повышают до 22 МПа. Рост давления сопровождается расширением диапазона температур, в котором происходит процесс конденсации сырьевого потока, и повышением температуры завершения процесса конденсации. Таким образом, основная тепловая нагрузка, связанная с отводом теплоты конденсации, может быть отведена на более высоком температурном уровне, что создаёт условия для сокращения затраты энергии в рефрижераторном цикле. Разработан математический аппарат для выполнения численных исследований по оценке энергетической эффективности наращивания давления сырьевого потока.

Ключевые слова
Сжиженный природный газ, СПГ, магистральный газ, давление и температура конденсации.

При производстве сжиженного природного газа затрачивается существенное количество электроэнергии. Минимальные удельные затраты электроэнергии составляют 0,8 кВт·час /кг. Учитывая масштабы производства СПГ, любое снижение величины удельных затрат электроэнергии представляет большой научный и практический интерес. Циклы

ожижения природного газа в установках средней и большой производительности, как правило, не используют природный газ в качестве рабочего вещества. Сырьевой поток, охлаждаемый рефрижераторными циклами, проходит через систему теплообменников и переходит из газообразного состояния в состояние насыщенной жидкости. Циклы отвода теплоты, работающие на разных температурных уровнях, могут использовать различные рабочие вещества, которые не смешиваются с друг другом. Типичным примером такой технологии получения сжиженного природного газа является каскадный цикл, в котором для отвода теплоты от сырьевого потока используется 3 ступени охлаждения, построенные на пропане, этане и метане. Альтернативу каскадным циклам составляют циклы на газовых смесях, которые позволяют организовать ступенчатый отвод теплоты за счёт использования сложной по составу смеси газов.

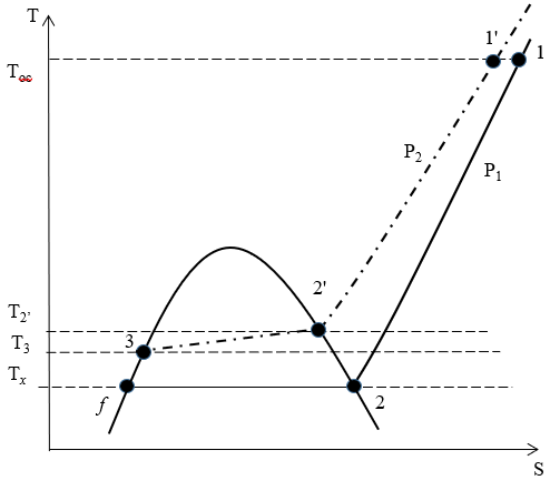


Рисунок. Изображение процесса перевода в жидкое состояние однокомпонентного газа (1-2-*f*) и газовой смеси (1-2’-3-*f*)

Традиционно основным источником повышения энергоэффективности циклов ожижения считаются увеличение числа ступеней охлаждения и включение в цикл ступеней, содержащих источники холодопроизводительности, например детандеры [1-4]. Увеличение числа ступеней охлаждения позволяет минимизировать разность температур между ожижаемым газом и рабочим веществом рефрижераторного цикла. Анализ процесса перевода природного газа в жидкое состояние показывает,

что возможен ещё один способ повышения энергоэффективности процесса ожижения (см. рисунок). На рисунке в графическом виде представлен процесс перевода в жидкое состояние однокомпонентного газа (процесс 1-2-f), например метана, и газовой смеси, например природного газа (процесс 1-2-3-f). Однокомпонентный газ переходит в жидкое состояние в 2 этапа, сначала в процессе 1–2 от потока газа отводится теплота перегрева паров от температуры насыщения до температуры окружающей среды. Затем происходит конденсация насыщенного пара и переход потока в состояние насыщенной жидкости *f*. В этом состоянии криопродукт отгружается потребителям. В случае получения сжиженного природного газа из магистрального потока сырьевого газа, процесс ожижения происходит при повышенном давлении сырья, поэтому температура насыщенных паров природного газа выше температуры конденсации его основного компонента метана $T_{2'} > T_2$. При конденсации газовых смесей температура вещества в области влажного пара непостоянна, поэтому температура насыщенной жидкости у СПГ ниже температуры насыщенных паров $T_{2'} > T_3$. Кроме того, насыщенная жидкость состоянии 3 находится при повышенном давлении P_2, поэтому перед выдачей потребителю жидкости ее необходимо переохладить до температуры T_2 и снизить его давление до уровня, близкого к атмосферному $P_1 \approx P_{oc}$, так как при крупнотоннажном производстве СПГ готовая продукция накапливается хранилищах большого объёма, в которых нельзя поддерживать повышенное давление. Из рисунка видно, что тепловая нагрузка от конденсации насыщенных паров отводится в диапазоне температур от T_3 до $T_{2'}$.

Моделирование процесса ожижения природного газа при разных давлениях показало, что по мере роста давление сырьевого потока повышается значение температуры жидкости на линии насыщения T_3. Таким образом, при наращивании давления сырьевого потока теплота конденсации газовой смеси передаётся рефрижераторному циклу на всё более высоком уровне. Одновременно увеличивается диапазон температур, в котором происходит процесс конденсации.

Перенос основной тепловой нагрузки процесса получения СПГ на более высокий температурный уровень создает предпосылки для снижения завтра энергии в рефрижераторном цикле. Ожидается, что дополнительные затраты энергии на повышение давления сырьевого потока окажутся меньше, чем экономия удельных энергозатрат в рефрижераторном цикле. Для выбора энергоэффективного уровня повышения давления сырьевого потока предполагается выполнить численный эксперимент. Разработан математический аппарат для выполнения оценочных исследований.

Литература

1. Акулов Л. А. Установки и системы низкотемпературной техники. Ожижение природного газа и утилизация холода сжиженного природного газа при регазификации: учеб. пособие / Л. А. Акулов. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. 175 с.
2. Фёдорова Е. Б., Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. - М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. 159 с. ил. ISBN 978-5-91961-045-8.
3. Бармин И. В., Куинс И. Д., Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / Под рсд. А. М. Архарова — М Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2009. 256 с. ил, ISBN 978-5-7038-3241-7.
4. Баранов А. Ю., Тихонов К. А., Андреев А. М., Березин Н. А. Энергоэффективные циклы сжижения природного газа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 1(21). С. 1–8.

Секция 2
Пищевые биотехнологии

Исследование процесса культивирования кефирного грибка в козьем молоке

Кузьмина Д. К., Евстигнеева Т. Н.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В ходе научно-исследовательской работы был изучен процесс развития молочного грибка в условиях обезжиренного и цельного козьего молока. Определен наилучший режим культивирования. Исследованы физико-химические показатели полученных грибковых заквасок и возможность их использования в дальнейшем при производстве кефира.

Ключевые слова
Кефирный гриб, козье молоко, обезжиренное коровье молоко, режимы и условия культивирования, грибковая закваска.

На сегодняшний день козье молоко признано чрезвычайно важным продуктом питания, ценность которого заключается в том, что оно лучше отвечает физиологическим потребностям организма человека. Его состав богат всеми незаменимыми аминокислотами, полноценными легкоусвояемыми триглицеридами, жиро- и водорастворимыми витаминами и минеральными веществами. Козье молоко является гипоаллергенным продуктом питания, поскольку в его составе практически отсутствует β-лактоглобулин. Также оно характеризуется высокой усвояемостью, оказывает лечебное и укрепляющее действия при болезнях ЖКТ, нервной системы и ослабленном иммунитете [3].

За последнее время увеличился интерес потребителей к ферментированным продуктам питания, особенно к продуктам смешанного брожения, отличающимся диверсификацией микрофлорного состава, характерными органолептическими показателями и лечебно-профилактическими свойствами. Продукты данного типа брожения являются надежным источником полезных микроорганизмов и обладают рядом биологических эффектов: антиоксидантным, антиканцерогенным, противовоспалительным, ранозаживляющим, иммуногенным и противоаллергическим [4].

По - настоящему уникальной закваской являются кефирные грибки, в основе которых лежит симбиоз как минимум пяти функциональных групп микроорганизмов: мезофильные молочнокислые стрептококки,

ароматообраузющие бактерии, молочнокислые палочки, уксуснокислые бактерии и дрожжи. Каждая группа микроорганизмов выполняет определенную роль. Молочнокислые стрептококки отвечают за кислотообразование и процесс формирования сгустка. Функциональной ролью дрожжей является накопление углекислого газа и формирование специфического вкуса. Уксуснокислые бактерии придают характерный вкус и запах, обеспечивают густоту продукта. Ароматообразующие бактерии накапливают ароматические вещества и газ [2].

Сложность микрофлорного состава кефирных грибков обусловливает трудности получения стабильной по качественным показателям закваски. Ключевую роль при ее производстве играют условия культивирования, состав питательной среды и количественное соотношения грибков к молоку [1]. Таким образом, задачами исследования было провести сравнительные исследования процесса культивирования кефирного грибка в обезжиренном козьем и коровьем молоке, исследовать полученные закваски и влияние температуры культивирования на показатели качества закваски на козьем молоке.

Культивирование кефирных грибков в обезжиренном козьем и коровьем молоке проводилось при температуре 22°С. В процессе сквашивания определялись титруемая, активная кислотности и изменение биомассы грибков. Полученные результаты свидетельствуют, что процесс кислотонакопления протекал лучше в козьем молоке. Нарастание титруемой кислотности и уменьшения pH соответственно в нем происходило быстрее, что говорит о более активном развитии молочнокислых палочек и лактококков, играющих ключевую роль в процессе сквашивания.

Наибольший прирост биомассы грибков наблюдался спустя первые три часа после начала эксперимента в обоих исследуемых образцах. На протяжении всего процесса ферментации развитие кефирного грибка по массе лучше происходило в козьем молоке (таб. 1).

Таблица 1.

Изменение биомассы кефирного грибка в процессе ферментации

Продолжительность ферментации, ч	**Масса, г**	
	Козье молоко	**Коровье молоко**
0	18,000	18,000
3	21,615	20,930
6	22,159	21,434
9	23,266	22,998
12	23,565	23,301
24	23,811	23,526

Результаты исследований по определению содержания спирта в грибковых закваска, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что в закваске на козьем молоке в процессе ферментации образовалось большее количество этилового спирта, чем в закваске на коровьем молоке. Этиловый спирт в грибковой закваске является продуктом жизнедеятельности дрожжей, входящих в состав микрофлоры кефирного грибка. В связи с этим можно сделать вывод о том, что козье молоко является более благоприятной средой для развития молочных дрожжей.

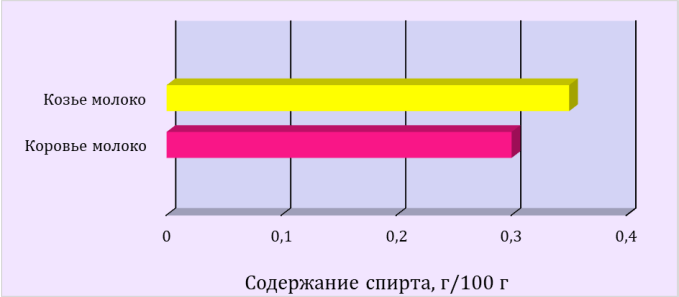


Рис. 1. Содержание спирта в 100 г грибковой закваски

Об образовании ароматических веществ судили по появлению окрашивания фильтратов заквасок при их взаимодействии с КОН. Ярко-розовое окрашивание фильтрата закваски на козьем молоке появилось через 7 минут, фильтрат закваски на коровьем молоке окрасился в бледно-розовой лишь по истечение 10 минут.

При исследовании влияния температуры культивирования на качество грибковой закваски были выбраны три температурных режима: 20, 25 и 30°С. При 30°С происходило излишнее накопление кислоты, о чем говорят полученные результаты титруемой кислотности, но в то же время данный режим стал благоприятным для развития кефирного грибка по массе, небольшое отличие можно видеть при культивировании его в условиях 20°С (таб. 2).

По данным рисунка 2 можно отследить тенденцию увеличения содержания спирта в грибковых заквасках при уменьшении температуры культивирования. Наибольшее содержание спирта определено при 20°С, несколько меньше при 25°С, при 30°С наблюдался значительный отрыв в сравнении с предыдущими температурными режимами. Так как за процесс накопления спирта в грибковых заквасках отвечают молочные дрожжи, таким образом можно заключить, что их активное развитие протекает при пониженных температурах, в данном случае в диапазоне 20-25°С.

Таблица 2.
Влияние температуры культивирования на изменение биомассы грибка

Продолжительность ферментации, ч	**Масса, г**		
	20 °С	**25 °С**	**30 °С**
0	18,012	18,007	18,016
3	19,933	19,662	20,784
6	20,705	19,722	21,760
9	21,320	19,951	21,981
12	22,116	20,408	22,401
24	22,499	20,907	22,718

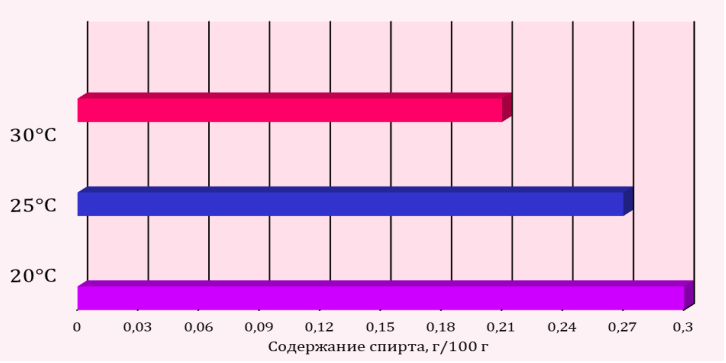


Рис. 2. Влияние температуры культивирования на содержание спирта

Содержание ароматических веществ уменьшалось с увеличением температуры культивирования. Через 10 минут было получено ярко-розовое окрашивание фильтратов заквасок, сквашенных при 20 и 25°С, но в фильтрате при 20°С все же наблюдалось чуть более интенсивное окрашивание. Следовательно, ароматобразующие бактерии лучше развиваются в температурном диапазоне 20-25°С.

По полученным результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что козье молоко является благоприятной средой для развития кефирного грибка. В нем отмечалось более активное протекание таких процессов, как кислотонакопление, накопления спирта, ароматических веществ и прирост биомассы грибков.

При изучении влияния температуры на процесс культивирования грибков в козьем молоке установлено, что температурный режим

20-25°С позволяет получить закваску, в наибольшей степени отвечающей заданным свойствам.

Экспериментальным путем выяснено, что наиболее оптимальный температурный режим составляет (20±2)℃, при любых изменениях наблюдалось замедленное развитие одних микроорганизмов или слишком быстрое других. Для нормального роста и полноценного развития представители микрофлоры кефирного грибка используют такие компоненты, как белок, молочный сахар, элементы витаминного комплекса.

Литература

1. Васильева Д. А. Лекция: санитарно-ветеринарная экспертиза молока. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://microbiology73.ru/posobie/vse_moloka.doc [дата обращения: 03.3.2021]
2. Грунская В. А. Использование микрофлоры кефирных грибков в составе закваски для кисломолочных продуктов // Молочнохозяйственный вестник. 2016. №2. С. 101–107.
3. Крылова, О. В. Козье молоко – наилучший заменитель грудного молока / Крылова О. В. // Главный врач юга России. 2018. №2 (60). С. 38.
4. Колмакова Т. С., Белик С. Н., Чистяков В. А., Моргуль Е. В., Чистякова И. Б. Характеристика кефира как ценного пробиотического продукта и его биологических свойств // Медицинский вестник Юга России. 2013. С. 35–42.

Влияние этилендиаминтераацетата на жирнокислотный состав оливкового масла холодного отжима при хранении

Алнакуд М., Колодязная В. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Приведены результаты исследований по влиянию антиоксиданта этилендиаминтетраацетата (ЭДТА) и продолжительности хранения оливкового масла холодного отжима, полученного из оливок, выращенных в почвенно-климатических условиях Сирии, на динамику содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот.
Показано, что в процессе хранения опытных образцов масла значительно замедляются гидролитические и окислительные процессы триацилглицеринов при добавлении ЭДТА. Для снижения скорости окисления жирных кислот и увеличения продолжительности хранения оливкового масла рекомендуется добавление 200 мг/л ЭДТА.

Ключевые слова
Оливковое масло, антиоксидант этилендиаминтетраацетат, насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, гидролиз, окисление.

Оливковое масло первого отжима (EVOO) отличается высокой биологической ценностью, содержит насыщенные, моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, количество которых зависит от сорта оливок [1], [2], почвенно-климатических условий выращивания. Так, содержание олеиновой кислоты изменяется в пределах от 55 до 83%, линолевой – от 3.5 до 21% и линоленовой – от 0.5 до 5%. В оливковом масле содержатся также природные антиоксиданты (токоферолы и фенольные соединения) [3].

Окисление жирных кислот, особенно ненасыщенных, гидролиз триацилглицеринов с образованием свободных жирных кислот приводит к увеличению кислотности и продуктов окисления, что является основной проблемой при переработке, хранении и потреблении оливкового масла, приводящей к потере качества, снижению пищевой и биологической ценности масла [4].

В технологии хранения растительных масел важное значение имеет применение природных и синтетических антиоксидантов. Многие ис-

следования посвящены применению фенольных соединений и каротиноидов [5]. Научная информация о влиянии хелатирующих агентов, в том числе ЭДТА, на качество оливкового масла при хранении и увеличение сроков его годности отсутствует. В настоящее время пищевая добавка Е385 (кальциево-натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) используется в качестве антиоксиданта против окисления, горечи и изменения цвета и используется в жировых эмульсиях [6].

Цель исследования – изучить влияние этилендиаминотетрацетата на жирнокислотный состав оливкового масла первого отжима, обосновать сроки его годности.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выбрано оливковое масло холодного отжима, полученное из оливок, выращенных в почвенно-климатических условиях Сирии по общепринятой технологии в 2019 году. Урожай оливок собран в августе 2019 г.

Для изучения влияния антиоксиданта на качество оливкового масла при хранении этилендиаминтетраацетат добавляли в масло в концентрациях 200 мг / л (образец № 2), 400 мг / л (образец № 3). Контрольный (образец №1) и опытные образцы хранили в герметично закрытых бутылках из темного стекла при температуре +18°С.

Исследуемые образцы хранились в течение семи месяцев. Жирнокислотный состав определяли методом высокоэффективной газовой хроматографии на хроматографе LC-20 производства Shimadzu [3]. Органолептические показатели качества оценивали по пятибалловой шкале. Эксперименты проводили в трехкратной повторяемости, данные обрабатывали методами математической статистики с нахождением доверительного интервала при вероятности 95%.

Динамика жирнокислотного состава оливкового масла при хранении

Результаты исследования по влиянию ЭДТА и продолжительности хранения оливкового масла на жирнокислотный состав масла приведены в таблицах 1–3.

Определен жирнокислотный состав контрольных образцов оливкового масла при поступлении на хранение. Показано, что содержание триацилглицеринов составляет 97.6% из насыщенных жирных кислот, особенно олеиновая кислота – 68.6%. Незначительную долю (1–2%) составляют следующие полиненасыщенные жирные кислоты: линоленовая, эйкозотетраеновая, эйкозодиеновая, докозогексаеновая, пентадекановая и гептадекановая.

Таблица 1.

Состав жирных кислот оливкового масла при поступлении на хранение

Метиловый эфир карбоновой кислоты	**Концентрация жирных кислот, мг/г масло**
Миристиновая кислота	0.18 ± 0.02
Пальмитиновая кислота	137 ± 6
Стеариновая кислота	9.60 ± 0.41
Эйкозановая кислота	2.80 ± 0.20
Генэйкозановая кислота	0.08 ± 0.02
9-гексадеценовая кислота	0.94 ± 0.03
Олеиновая кислота (омега 9)	686 ± 24
Линоленовая кислота	127 ± 8
цис-11,14-эйкозадиеновая кислота (омега 6)	0.60 ± 0.03

Таблица 2.

Состав жирных кислот оливкового масла через 5мес хранения

Метиловый эфир карбоновой кислоты	**Концентрация жирных кислот, мг/г масла**		
	№1	**№2**	**№3**
Миристиновая кислота	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.23	0.09 ± 0.01
Пальмитиновая кислота	61.80 ± 2.10	82.47 ± 1.74	81.64 ± 1.70
Стеариновая кислота	8.40 ± 0.04	9.42 ± 0.67	9.45 ± 0.71
Эйкозановая кислота	2.02 ± 0.03	2.07 ± 0.13	2.14 ± 0.03

9-гексадеценовая кислота	0.74 ± 0.06	0.92 ± 0.04	0.90 ± 0.01
Олеиновая кислота (омега 9)	252 ± 14	301 ± 23	300 ± 18
Линоленовая кислота	21.38 ± 0.91	30.53 ± 1.70	33.41 ± 1.73
цис-11,14-эйкозадиеновая кислота (омега 6)	0.10 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.25 ± 0.02

Таблица 3.

Состав жирных кислот оливкового масла через 7 мес хранения

Метиловый эфир карбоновой кислоты	**Концентрация жирных кислот, мг/г масла**		
	№1	**№2**	**№3**
Миристиновая кислота	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0,01	0.09 ± 0.01
Пальмитиновая кислота	70.35 ± 1.64	90.43 ± 1.94	91.78 ± 2.03
Стеариновая кислота	8.46 ± 0.03	9.10 ± 0.21	9.41 ± 0.21
Эйкозановая кислота	2.05 ± 0.16	2.37 ± 0.17	2.34 ± 0.16
9-гексадеценовая кислота	2.17 ± 13	3.42 ± 0.15	3.83 ± 0.36
Олеиновая кислота (омега 9)	162 ± 12	201 ± 19	264 ± 21
Линоленовая кислота	25.35 ± 0.93	34. 71 ± 1.13	35.11 ± 1.20
цис-11,14-эйкозадиеновая кислота (омега 6)	0.59 ± 0.03	1.18 ± 0.07	1.35 ± 0.09

Как следует из данных, представленных в таблицах 1–3, количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в процессе хранения всех исследуемых образцов масла уменьшается, что объясняется их окислением. Однако скорость окисления существенно зависит от продолжительности хранения и в меньшей мере от дозы ЭДТА Так, в образцах №1–№3 через 7 мес хранения содержание пальмитиновой кислоты уменьшилось в 1.95; 1.48 и 1.49 раза соответственно. В этих же образцах содержание олеиновой кислоты за указанный период уменьшилось в 2.74; 2.27 и 2.28 раза; линоленовой кислоты – в 5.83; 3.65 и 3.61 раза соответственно. Количество стеариновой кислоты практически не изменяется за весь период хранения и не зависит от структуры и дозы ЭДТА. Константы скорости реакций окисления СЖК псевдопервого порядка (1/сут) за 7 мес хранения образцов масла № 1, 2, 3 составили для кислот: пальмитиновой – 0.0032, 0.0019 и 0.0018; олеиновой – 0.0068, 0.0058 и 0.0045; линоленовой – 0.0076, 0.0061 и 0.0060 соответственно. Как следует из полученных значений констант, увеличение дозы антиоксиданта в 2 раза незначительно снижает скорость реакции окисления СЖК.

Органолептические показатели качества оливкового масла при хранении

Проведена органолептическая оценка показателей качества исследуемых образцов масла по следующим дескрипторам: вкус, цвет, запах, прозрачность. Сенсорную оценку проводили при поступлении на хранение контрольных образцов масла, затем контрольных и опытных образцов через 5 и 7 мес хранения. Данные приведены на рисунке [2].

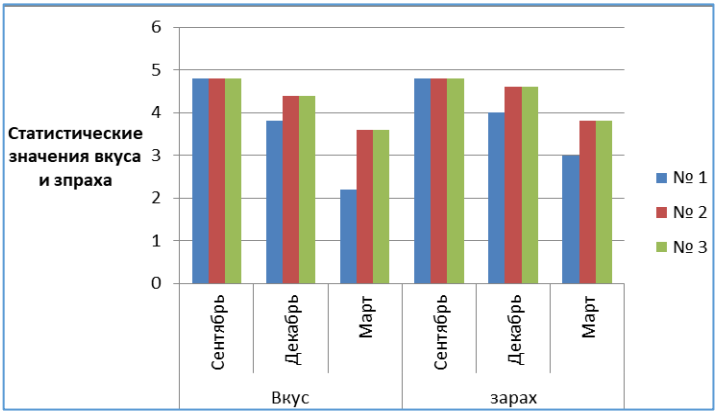


Рисунок. Изменение вкуса и запаха оливкового масла при хранении

Как следует из рисунка, в начале хранения результаты сенсорной оценки были идентичны, так как масло отличалось нежным вкусом, мягким приятным ароматом, зеленовато-желтым цветом и прозрачностью. Через 7 месяцев хранения контрольный образец имел прогорклый привкус и неприемлемый неприятный запах из-за окисления ненасыщенных жирных кислот и образования вторичных стабильных соединений, ответственных за неприятный запах и вкус, таких как альдегиды, кетоны. В то же время образцы масла, в которых были добавлены ЭДТА (№ 2, № 3), имели более высокие баллы при сенсорной оценке вкуса и запаха, чем образец № 1.

Выводы

Показано, что в процессе хранения оливкового масла количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой, уменьшается, что объясняется окислением СЖК масла.

Установлено, что в процессе хранения опытных образцов масла значительно замедляются окислительные процессы свободных жирных кислот при добавлении ЭДТА. Для снижения скорости реакций окисления СЖК рекомендуется добавление ЭДТА в количестве 200 мг/л, срок годности контрольных и опытных образцов масла при температуре + 18°С, составляет 5 и 7 месяцев соответственно.

Литература

1. Aparicio R., Harwood J. Handbook of Olive Oil, 2nd ed. // New York, NY, USA, Springer. 2013. Pp. 163–395.
2. Román G. C., Jackson R. E., Reis J., Román A. N., Toledo J. B., Toledo E. Extra-virgin olive oil for potential prevention of Alzheimer disease. Rev. Neurol.2019.vol. 175. Pp. 705–723.
3. Silva S. F., Anjos C. A. R., Cavalcanti R. N., Celeghini R. M. D.S. Evaluation of extra virgin olive oil stability by artificial neural network // Food Chem. 2015. N179. Pp. 35–43.
4. Korifi R., Plard J., LeDr´eau Y., R´ebufa C., Rutledge D., and Dupuy N.. Highlighting metabolic indicators of olive oil during storage by the AcomDim method // Food Chemistry 2016. vol 203. Pp. 104–116.
5. Stefanoudaki, E., Williams, M. and Harwood, J. Changes in virgin olive oil characteristics during different storage conditions // European Journal of Lipid Science and Technology. 2010. N 112(8). Pp. 906–914.
6. Hasegawa H., Rahman M.A., Saitou K., Kobayashi M. and Okumura C. Influences of chelating agents on bioavailability and mobility of iron in plant growth media and their effect on radish growth. Environmental and Experimental. 2011. N 7. Pp. 345–351.

Исследование содержания биологических полимеров фруктозы в корнях подсолнечника различных годов урожая

Коршунова Н. А., Баланов П. Е.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Определенно содержание биополимера фруктозы в корнях подсолнечника *Helián*thus *ánnuus*, выращенного в Краснодарском крае в 2020 и 2021 годах. Осуществлено сравнение содержания фруктозидов и фруктозанов в корнях подсолнечника.

Ключевые слова
Подсолнечник однолетний, биополимер, инулин, фруктан, спектрофотометрия.

Биополимер фруктозы – инулин- представляет собой ценный компонент для производства продуктов питания в качестве пребиотика. Инулин содержится в различных растительных источниках, основным сырьем для получения инулина являются цикорий и топинамбур. В среднем в цикории содержится 11–20% инулина на сырое вещество, в топинамбуре 12–19% инулина на сырое вещество.

Объем производства инулина в мире составляет более 150 тыс. т в год, при этом наблюдается прирост производства в 10% в год [1]. Ожидается, что производство инулина будет устойчиво увеличиваться (рисунок). Основными производителями инулина и его производных являются компании США, страны ЕС, Китай, Латинская Америка, такие как Beneo Orafti, Cosucra, Sensus, Violf, Novagreen, Gansu Likang, Inuling, Tierra Group и Xirui.

Европейские компании склонны использовать в качестве сырья цикорий. Так, ведущими европейскими производителями Orafti, Cosucra, Sensus выпускается на рынок более 90% инулина. Азиатско-Тихоокеанский регион является самым быстрорастущим регионом из-за роста отраслей конечного потребления, таких как продукты питания и напитки, фармацевтические препараты и диетические добавки.

Ожидается, что рынок инулина в Китае и Индии выиграет от государственной политики, благоприятствующей прямым иностранным инвестициям.

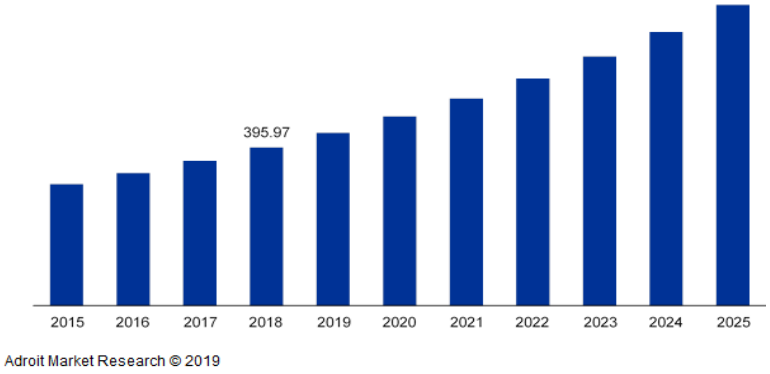


Рис. 1. Мировой рынок инулина 2015-2025 гг

Компании Китая преимущественно используют топинамбур и выпускают 40 тыс. т инулина в год, а в ближайшие 5 лет могут увеличить производство на 50%. Это приведет к лидерству Китая в мире по переработке топинамбура на инулин [1, 2].

В настоящее время инулин попадает на рынок России за счет импорта. На период до 2030 г. потребление инулина в год для России ориентировочно составит 255–260 тыс. тонн. Авторы статьи [1] отмечают, что для покрытия такой потребности необходимо производить 2,5–3,0 млн т топинамбура или цикория в год. Развитие направления российского производства инулина сдерживается неясной государственной политикой в данной сфере и отсутствием комплекса производственных мощностей для его переработки.

Существуют другие направления разработки технологии производства инулина, которые включают применение другого сырья, такого как лопух, одуванчик. В данном проекте исследуется возможность использования корня подсолнечника однолетнего в качестве сырья биополимеров фруктана. Подсолнечник относится к тому же роду, что и топинамбур, и может иметь способность к накоплению инулина.

Цель работы заключалась в определении содержания фруктана типа инулина в корне подсолнечника и сравнение его с образцом прошлогоднего урожая.

Объектами исследования служили высушенные корни подсолнечника, выращенного в Краснодарском крае. Один образец приобретен в розничной сети урожая 2020, второй образец – урожая 2021.

Для определения содержания инулина применяли метод количественного определения инулина по разнице фруктозидов и фруктозанов, изложенный Явицкой А. В. и Митрофановой И. Ю. [3]. Метод основан на различной растворимости инулина: в горячей воде инулин растворим, в спирте – нерастворим. Фруктозиды растворяются и в воде, и в спирте. После экстракции и последующей обработки экстрактов вносится соляная кислота для гидролиза и высвобождения остатков фруктозы. Далее вносится резорцин, который специфически связывается с фруктозой, образуя окрашенное соединение красно-коричневого цвета. Далее проводится количественное измерение оптической плотности исследуемых окрашенных экстрактов при длине волны 480 нм.

Расчет содержания суммы фруктозидов и фруктозанов в водном экстракте, а также суммы фруктозидов в спиртовом экстракте осуществляется по формуле (1):

$$X_{1,2} = \frac{D \cdot 200 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 100}{498 \cdot m \cdot (100 - W) \cdot 4 \cdot 5} \quad (1)$$

Содержание инулина рассчитывается как разность содержания суммы фруктозидов и фруктозанов и содержания суммы фруктозидов (2):

$$X_3 = X_1 - X_2 \, . \quad (2)$$

Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица.

Результаты исследования

Показатель	**Значение показателя**	
	2020 г	**2021**
Влажность, %	13,52 ± 0,87	10,11 ± 0,76
Содержание суммы фруктозанов и фруктозидов в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье, %	17,54	64,83
Содержание суммы фруктозидов в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье, %	13,42	60,30
Содержание суммы фруктозанов в пересчете на инулин и абсолютно сухое сырье, %	4,12 ± 0.01	4,53 ± 0,01

Согласно полученным данным, содержание инулина согласуется в разные года урожая. Однако интересны промежуточные расчеты определения содержания фруктозанов и фруктозидов. Согласно этим расчетам, в корне подсолнечника 2021 года урожая содержится на 49% больше фруктозидов. Такое резкое увеличение, возможно, связано с условиями хранения и обработки старой партии подсолнечника. Большое количество гликозидов фруктозы может иметь различное влияние на применение экстрактов корня подсолнечника в пищевой промышленности. Дальнейшее исследование будет направлено на изучение состава и свойств фруктозидов корня подсолнечника.

Литература

1. Кайшев В. Г., Лукин Н. Д., Серегин С. Н., Корниенко А. В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства // Пищевая промышленность. 2018. №5. С. 8–17.
2. Надежкина М. С, Сагина О. А. Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина // Modern Science. 2020. №. 1–2. С. 76–80.
3. Яницкая А. В., Митрофанова И. Ю. Исследования по стандартизации инулинсодержащего лекарственного растительного сырья и противодиабетических комплексов // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2012. №. 4 (44). С. 80–82.

Разработка состава и технологии овсяного ферментированного продукта

Борисов Н. О., Горесь В. А., Ашихмина М. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Овес является источником питательных и антиоксидантных веществ. Целью работы являлась разработка состава и технологии овсяного ферментированного напитка, обладающего симбиотическим эффектом. При производстве продукта были использованы пробиотические молочнокислые бактерии Lactobacullus *acidophilus, Bifidobacterium bifidum*, йогуртовая культура (*Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*). В процессе исследования были определены основные количественные характеристики продукта, такие как КОЕ/г продукта, массовые доли составных частей и количество основного пребиотика овса – β-глюкана.

Ключевые слова
Овес, веганство, вегетерианство, овсяный напиток, ферментация, пребиотики, пробиотики.

Молоко является важным источником питательных веществ, аминокислот, витаминов и минералов. Однако часть населения не способна его употреблять ввиду ряда причин: непереносимости лактозы, повышенного холестерина, аллергии и т.п. При существующем росте спроса на веганские продукты актуален поиск так называемых заменителей молока и молочных продуктов на растительной основе [1]. Одним из вариантов подобного рода продуктов является «овсяное молоко» или, говоря научным языком, дисперсия на основе продуктов переработки овса. Целью данной работы является разработка состава и технологии ферментированного овсяного продукта.

Регулярное потребление овсяного сырья способствует снижению уровня холестерина и нормализует метаболизм жиров. Овес легко выращивается и имеет невысокую стоимость. Помимо этого, овес содержит антиоксидантные вещества, такие как витамины (A, E, C), ферментные кофакторы (Q10), минералы (цинк и селен), пептиды (глутатион), фенольные кислоты, а также полифенолы, соединения серы, лигнин и фитиновая кислота [2].

Выбор злаковых культур в качестве сырья для производства заменителей молочных продуктов обусловлен их уникальным макро- и микронутриенты составом, а также высокой питательной ценностью. Злаки содержат белки, углеводы, стеролы, минералы и витамины. Злаки являются источником пищевых волокон (ПВ) – необходимого компонента пищи. Роль ПВ в питании была сформулирована в теории сбалансированного питания. Физиологический эффект ПВ обусловлен их способностью к конформации в водных растворах, что существенно влияет на скорость всасывания поступающих с пищей нутриентов, а также способностью к связыванию токсинов и тяжелых металлов. ПВ являются субстратом для полезной кишечной микрофлоры, в результате частичной ферментации ПВ образуются короткоцепочечные жирные кислоты (уксусная, пропионовая и т.д.), которые регулируют поддержание физиологического значения pH в тонком кишечнике и угнетают рост гнилостной микрофлоры. Содержание крахмала в злаковых культурах может достигать 61%. Уровень свободного сахара в созревших злаках составляет 1–3%, но даже при таком небольшом количестве происходит брожение.

Овес является источником β-глюканов – гомополисахаридных полимеров D–глюкопиранозильных остатков, связанных чередующимися β – (1→3) и β – (1→4) связями. В-глюканы проявляют выраженную способность к гелеобразованию, что позволяет не использовать дополнительных структурообразующих компонентов при производстве продуктов на основе овса.

Овсяная основа изготавливалась из овсяных хлопьев, предварительно измельченных до размера не более 300 мкм. В качестве белкового компонента использовался соевый дисперсионный белок ООО «Ревада Нева», в качестве жировой фазы был использован заменитель молочного жира «ЭФКО» (ЗМЖ). Расчет массы растительных компонентов производился на основании уравнений массо- и жиробаланса. Показатели нормализованной овсяной смеси представлены в таблице.

Таблица.

Физико-химические показатели овсяной смеси

Наименование показателя	**Значение**
Массовая доля сухих веществ, %	16
Массовая доля белка, %	3,5
Массовая доля жира, %	3

Нормализованная при 37°С овсяная смесь нагревалась до 55–65°С и выдерживалась в течение часа для клейстреизации содержащегося в овсяных хлопьях крахмала. Затем, при непрерывном диспергировании в овсяную смесь тонкой струей вносился растопленный ЗМЖ с температурой 55°С. Овсяно-жировую смесь подвергали гомогенизации на лабораторном гомогенизаторе Panda при температуре 65°С и рабочем давлении 180 Бар. Гомогенизированную растительную смесь пастеризовали при температуре 90°С в течение 5–8 минут. Пастеризованную смесь охлаждали при постоянном перемешивании до температуры заквашивания 37°С. Процесс ферментации проводили в течение 16 ч до достижения активной кислотности 4,45 ед. При производстве ферментированного овсяного напитка использовались пробиотические культуры *Lactobacullus acidophilus, Bifidobacterium bifidum*, йогуртовая культура *Marino 1D* (*Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*) [3]. Зависимость процесса кислотонакопления от продолжительности сквашивания представлена на рисунке 1.

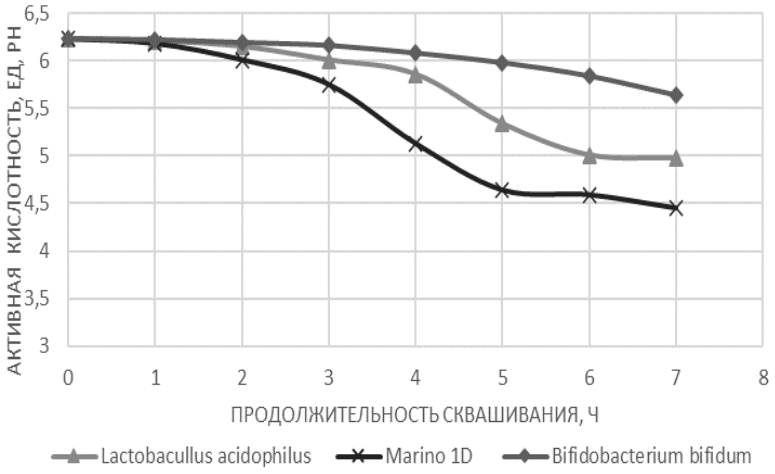


Рис. 1. Зависимость значения pH от продолжительности сквашивания различными бактериями

Наиболее интенсивно процесс кислотонакопления шел при использовании йогуртовой закваски. На основании данного факта рекомендуется использовать закваску *Marino 1D.* Выбор закваски подтверждается органолептической оценкой опытных образцов, представленной на профилограмме (рис. 2).

Исследование КОЕ в процессе хранения проводили в течение 28 дней при 6°С с проверкой pH каждые 5 дней.

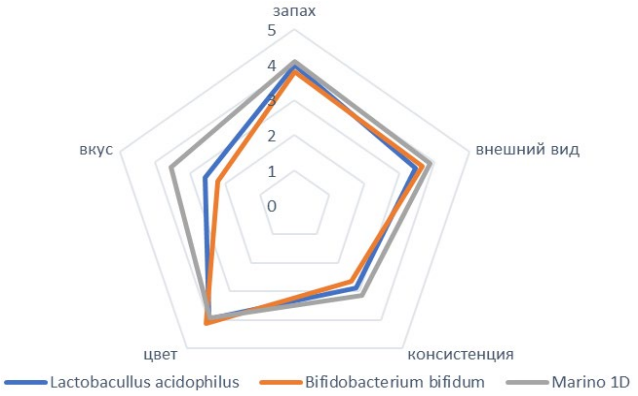


Рис. 2. Профилограмма органолептической оценки опытных образцов

Полученный продукт можно считать симбиотическим. Количество молочнокислых микроорганизмов на окончание срока годности составляет не менее $1 \cdot 10^6$. Количество пребиотика – β-глюкана овса составляет 3,01±0,02%. Количество β-глюкана было определено в соответствии ГОСТ Р 57513-2017.

Литература

1. Ismail M. M. Which Is Better for Humans, Animal Milk or Vegetable Milk. J Nutr Health Food Eng. 2015. С. 1.
2. Olof Martensson, Maria Biorklunb, Adele Mbou Lambo, Maite Duenas-Chasco, Ana Irastorza, Olle Holst, Elisabeth Norin, Gjalt Welling, Rickard Oste, Gunilla Onning Fermented, ropy, oat-based products reduce cholesterol levels and stimulate the 232ifidobacterial flora in humans Nutrition Research 25. 2005. С. 430–440.
3. Ilango S., Antony U., Probiotic microorganisms from non-dairy traditional fermented foods, Trends in Food Science & Technology. 2021. С. 3–13.

Исследование теплофизических свойств водных растворов свекловичной мелассы

Сорокин С. А., Баранов И. В., Новоселов А. Г., Логинов А. Ю., Семененко М. Р.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В работе обосновывается актуальность комплексного измерения теплофизических характеристик растворов свекловичной мелассы для проектирования или выбора рациональной конструкции технологических аппаратов и установок на мелассоперерабатывающих производствах. С этой целью были проведены комплексные измерения теплофизических параметров водных растворов свекловичной мелассы в диапазоне температур от 293 до 363 К и интервале содержания сухих веществ от 16,2 до 77,7 %. Приведены результаты измерений плотности и графические зависимости теплопроводности, температуропроводности водных растворов свекловичной мелассы. Для расчета указанных параметров предложены обобщенные уравнения, в которых отражена зависимость от температуры и содержания сухих веществ.

Ключевые слова
Тепловая обработка, водный раствор свекловичной мелассы, теплопроводность, температуропроводность.

Для большого числа отраслей пищевой, химической и фармацевтической промышленности меласса является важнейшим сырьем несмотря на то, что для свеклосахарного производства это побочный продукт. Из сахарозы и инвертного сахара, которые остаются в мелассе, путем сбраживания получают такие пищевые кислоты, как лимонная, молочная, а также глицерин, этиловый спирт и ацетон. Водный раствор мелассы служит основой питательной среды для аэробного выращивания хлебопекарных дрожжей или для получения глутаминовой кислоты. Меласса используется как добавка в корм сельскохозяйственных животных, а её дефекат – для технических целей при производстве строительных смесей [1]. В исследованиях иностранных ученых рассматривается использование мелассы также и для получения биологически активных веществ [2].

При производстве тех или иных готовых продуктов из мелассы она проходит различные стадии тепловой обработки в определенных аппаратах и установках.

Развитие процессов тепловой обработки, повышение их интенсивности основаны на общем правиле, действующем в современных технологиях: для выбора оптимальных режимов процесса необходимо знание или исследование, с последующим анализом теплофизических характеристик продуктов или материалов. Только основываясь на данной информации, возможно проектирование или выбор рациональной конструкции технологических аппаратов и установок для проведения указанных выше процессов.

Литературный анализ показал, что комплексные исследования теплофизических характеристик свекловичной мелассы не проводились, а имеющиеся данные носят минимальный и разрозненный характер, поскольку представлены лишь для определенных температур и концентраций сухих веществ. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на получение математических зависимостей для расчета теплофизических характеристик.

В исследовании использовалась меласса, полученная с производства ОАО «Комбинат пищевых продуктов» г. Санкт-Петербург. Концентрация сухих веществ в исходном образце определялась при помощи рефрактометра и составляла 77,7 %. Из исходного образца было приготовлено 7 растворов различной концентрации в диапазоне от 16,2 до 77,7 % сухих веществ путем разбавления дистиллированной водой.

Содержание сухих веществ в полученных растворах контролировалось при помощи рефрактометра. Плотность исходного образца и растворов определялась с использованием ареометров. Математическая обработка результатов измерений, представленных в таблице, позволила получить зависимость плотности раствора свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ.

Отметим, что изменение температуры влияет на плотность не так значительно, относительно изменения концентрации сухих веществ. Влияние содержания сухих веществ на плотность примерно в 12 раз больше, чем воздействие температуры. На это указывают коэффициенты при соответствующих параметрах в формуле для расчета плотности, полученной в результате математической обработки веществ.

$$\rho = 1100 - 0{,}431 \cdot T + 5{,}257 \cdot n, \qquad (1)$$

где T – температура, К;
n – содержание сухих веществ, %.

Максимальное относительное отклонение между формулой (1) и экспериментальными данными составляет 1%.

Таблица.

Значения плотности растворов свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ

Концентрация, % / Температура, К	Плотность, кг/м^3						
	16,2	32,5	40,2	51,9	60,2	69,9	77,7
293,15	1064,0	1138,0	1181,0	1240,0	1283,0	1347,0	1393,0
303,15	1063,0	1135,0	1178,0	1236,0	1279,0	1341,0	1389,0
313,15	1061,0	1132,0	1174,0	1232,0	1273,0	1335,0	1387,0
323,15	1056,0	1128,0	1170,0	1227,0	1268,0	1331,0	1381,0
333,15	1052,0	1124,0	1166,0	1223,0	1263,0	1322,0	1378,0
343,15	1049,0	1122,0	1162,0	1219,0	1258,0	1318,0	1374,0
353,15	1044,0	1116,0	1155,0	1215,0	1253,0	1312,0	1370,0
363,15	1042,0	1113,5	1152,5	1210,5	1248,0	1306,0	1367,0

Для измерения теплофизических характеристик растворов свекловичной мелассы использовался анализатор Hot Disk TPS 2500S. Измерения проводились в диапазоне температур 293–363 К с шагом 10 К. Для достижения заданной температуры перед каждым экспериментом раствор, помещенный в держатель образца, стабилизируется в течение некоторого времени, пока перепад температур не будет находиться в диапазоне отклонений ± 0,5 К. Каждый опыт при заданной температуре включал в себя 5 измерений, по результатам которых определялось среднее значение исследуемых параметров.

В результате измерений были получены данные, позволившие построить графические зависимости коэффициентов теплопроводности и температуропроводности растворов свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента теплопроводности раствора свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ. Из графика видно, что с увеличением содержания сухих веществ в растворе коэффициент теплопроводности снижается, а при возрастании температуры, наоборот, увеличивается, т.е. чем меньше содержание сухих веществ в растворе и выше температура, тем выше коэффициент теплопроводности. Отметим, что с повышением температуры возрастает собственная энергия молекул растворов мелассы, из-за чего

увеличивается амплитуда колебаний и, как следствие, происходит увеличение теплопроводности. Однако при этом уменьшается их плотность и силовое взаимодействие молекул жидкости между собой. Это приводит к уменьшению теплопроводности.

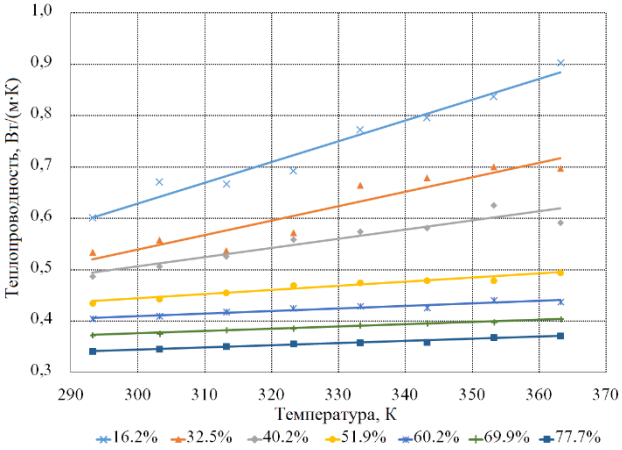


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности растворов свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ

Поскольку зависимость носит линейный характер, уравнение для расчета коэффициента теплопроводности раствора свекловичной мелассы представлено следующей формулой:

$$\lambda \cdot 10^4 = 3062 + 15{,}83 \cdot T - 63{,}40 \cdot n\,. \qquad (2)$$

Данная формула справедлива при значениях T от 293 до 363 К и n от 16,2% до 77,7%. Максимальное относительное отклонение между формулой (2) и экспериментальными данными составляет 11%.

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента температуропроводности растворов свекловичной мелассы от концентрации сухих веществ и температуры.

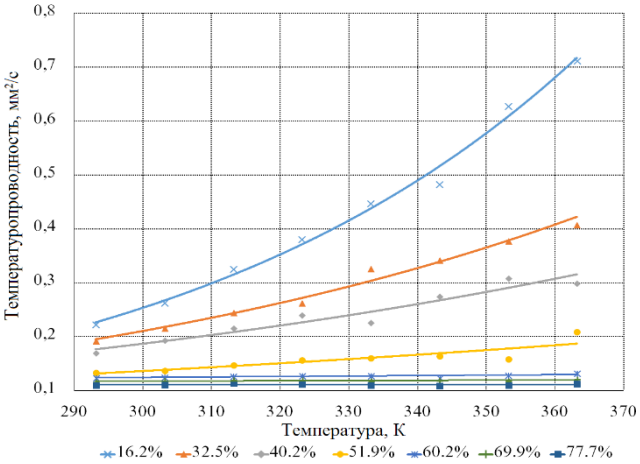


Рис. 2. Зависимость коэффициента температуропроводности растворов свекловичной мелассы от температуры при различном содержании сухих веществ

Обработка экспериментальных данных позволила получить расчетную формулу коэффициента температуропроводности:

$$a = 0{,}08 \cdot 1{,}006^{T} \cdot 0{,}978^{n}. \quad (3)$$

Данная формула справедлива при значениях T от 293 до 363 К и n от 16,2 до 77,7 %.

Значения параметров, полученных из вышеуказанных формул, позволяют использовать соотношение для расчета значений удельной теплоемкости, связывающее теплофизические характеристики любых материалов, в том числе и продуктов.

$$C_p = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}. \quad (4)$$

Согласно этому соотношению можно вычислить удельную теплоёмкость растворов свекловичной мелассы. Удельная теплоемкость является физической величиной, которая используется при составлении уравнений тепловых балансов, являющихся основой дальнейших расчетов тепло- и массообменного оборудования, в том числе на производствах, использующих растворы мелассы как исходное сырье [3], поэтому исследования, направленные на получение экспериментальных и расчетных данных о характере изменения этой

величины от различных параметров, являются актуальными и представляют первостепенное значение для решения прикладных технологических задач таких производств.

На основе проведенных экспериментальных исследований растворов свекловичной мелассы получены значения плотности, коэффициентов теплопроводности, температуропроводности в широком диапазоне температур и содержании сухих веществ, получены математические зависимости для их расчета.

Установлено, что зависимости $\rho = f(T, n)$, $\lambda = f(T, n)$ носят линейный характер, а зависимость $a = f(T, n)$ – показательный, что с понижением концентрации сухих веществ и увеличением температуры иллюстрируется более наглядно.

Полученные уравнения можно рекомендовать для определения численных значений плотности, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности для вычисления удельной теплоемкости, решая прикладные технологические задачи производств, использующих растворы мелассы как исходное сырье.

Литература

1. Сабетова А. А., Девина М. В. Направления использования вторичных отходов свеклосахарного производства // ТППП АПК. 2017. №5 (19).
2. Семенихин С. О., Бабакина М. В., Федосеева О. В., Городецкий В. О. Обзор современных исследований в области переработки мелассы для получения биологически активных веществ // Новые технологии. 2019. №2.
3. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Т. 2. М.: Химия, 1981. 811 с.

Эффективность применения ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки (уда-обработки) в технологии получения порошка моркови

Басковцева А. С. [1], Кыздарбек У. С. [1], Баракова Н. В. [1],
Самоделкин Е. А. [2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт»
ЦНИИ КМ «Прометей»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
С каждым годом натуральные порошки, полученные из овощей и фруктов, набирают популярность в пищевой индустрии. Их применение обширно: от красителей до компонентов функциональных продуктов. Чтобы польза для организма таких порошков была максимальна, необходимо подбирать оптимальные режимы для технологических операций при их производстве, а также использовать наиболее эффективное оборудование. В данной работе описано такое оборудование, как дезинтегратор, которое применялось в технологии получения порошка моркови. Качество полученного порошка определялось количеством содержания в нем бета-каротина.

Ключевые слова
УДА-обработка; ударно-дезинтеграторно-активаторная обработка; дезинтегратор; морковный порошок, бета-каротин.

Фрукты и овощи являются неотъемлемой частью здорового образа жизни, и их регулярное употребление снижает риск сердечно-сосудистых, метаболических и дегенеративных заболеваний, а также некоторых видов рака. Это достигается в основном за счет высокого содержания витаминов, минералов и фитохимических веществ, таких как полифенолы, флавоноиды, каротиноиды, антоцианы и т.д., в частности, благодаря их сильной антиоксидантной активности [1].

Однако свежие фрукты и овощи являются скоропортящимися продуктами из-за высокого содержания влаги (часто выше 80%). Влага приводит к росту микроорганизмов, а они, в свою очередь, к порче про-

дукта. Сушка фруктов и овощей является широко используемым методом, при котором удаление воды останавливает рост микроорганизмов и протекание ферментативных или неферментативных реакций потемнения в растительной ткани. Это помогает сохранить структуру, сенсорные характеристики и пищевую ценность продукта [2]. Кроме того, сушка позволяет экономить пространство для хранения.

В последнее время спрос на порошки из фруктов и овощей быстро растет из-за их вкуса, цвета, текстуры и высокого содержания энергии, а также из-за спроса потребителей на компактные и легкие продукты. Области применения в пищевой промышленности включают использование этих порошков в качестве ароматизаторов и красителей, а также в качестве функциональных пищевых добавок для повышения питательной ценности продуктов [3].

Создание морковных порошков обусловлено тем, что морковь содержит в себе каротиноиды, в том числе бета-каротин, который является провитамином А и не синтезируется в организме человека. Польза каротиноидов и витамина А очень велика: доказано, что каротиноиды обладают антиканцерогенными, антимутагенными, иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами, а витамин А полезен для зрения и кожи [4]. Кроме того, порошок из моркови обладает приятным оранжевым цветом, который подойдет для любого пищевого продукта. Возможности использования такого порошка обширны: в качестве красителя он может выступать в кондитерском производстве и кулинарии, в качестве функциональной составляющей – в производстве молочных продуктов, сыров и масел. Важно помнить, что природные каротиноиды являются жирорастворимыми веществами, которые чувствительны к солнечному свету и кислороду, но более устойчивы к температурам, используемым в технологических процессах [5].

Основными операциями в технологии создания пищевых порошков являются сушка и измельчение, сильно влияющие на качество готового продукта и количественное содержание полезных веществ. Существует большое количество исследований, направленных на подбор оптимального сушильного оборудования для производства пищевых порошков. Однако процесс измельчения тоже играет немаловажную роль. Измельчение, как и тепловая обработка, способно оказывать воздействие на биодоступность биологически-активных веществ, то есть на их усвояемость организмом. Это происходит потому, что во время данных процессов разрушается толстая и прочная клеточная стенка растений, высвобождая накопленные в клетках питательные вещества [6]. Обычно измельчение в производственных масштабах происходит на разного рода мельницах и дробилках, а дезинтеграторы представляют особый интерес.

Целью данной работы было измельчение сырья с помощью ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки (УДА-обработки) для получения морковного порошка.

Дезинтегратор – это полифункциональная мельница ударного действия, предназначенная для тонкого измельчения и механоактивации вещества. Схема дезинтегратора представлена на рисунке 1.

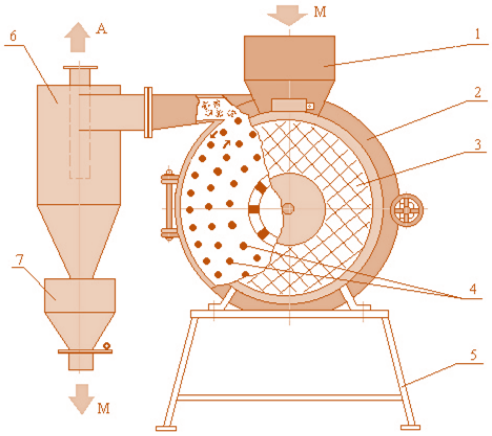


Рис. 1. Схема дезинтегратора
1. Загрузочный бункер. 2. Корпус. 3. Электродвигатель.
4. Ударные элементы. 5. Рама. 6. Фильтр.
7. Бункер циклона. М – материал; А – воздух

Измельчение материалов в дезинтеграторе осуществляется несколькими следующими друг за другом высокоскоростными ударами о рабочие элементы роторов. Скорости ударов увеличиваются при движении частиц материала от центра роторов к периферии. Рабочими органами являются 2 ротора, вращающиеся навстречу друг другу, с несколькими концентрически расположенными рядами ударных элементов различной формы (лопасти, пальцы). Толщина измельченных продуктов в зависимости от свойств материалов, конструкции и режимов работы дезинтеграторов обычно может составлять от нескольких микрон до сотен микрон. Особенностью и преимуществом дезинтеграторов по сравнению с другими мелющими агрегатами является быстротечность процессов измельчения, когда за интервал времени порядка 10 $с^{-2}$ обрабатываемый в этих установках материал получает от 2 до 7 высокоинтенсивных ударов [7]. Таким образом, к преимуществам дезинтегратора можно отнести получение мелкодисперсного порошка, высокую произ-

водительность, сохранение исходной чистоты материала. И, как следствие, порошок из растительного сырья с повышенной биологической доступностью и усвояемостью.

Для данной исследовательской работы была взята морковь ГОСТ 32284-2013, которую предварительно измельчили на мелкой терке. После этого морковь была высушена методом конвективной сушки воздухом, нагретым до 50°С, и служила контрольным образцом (К). Для сравнения были использованы образцы моркови, измельченные после сушки на роторно-ножевой мельнице Bosch TSM6A01 (1) и на дезинтеграторе Desi-15 (2). Внешний вид полученных образцов представлен рисунке 2.

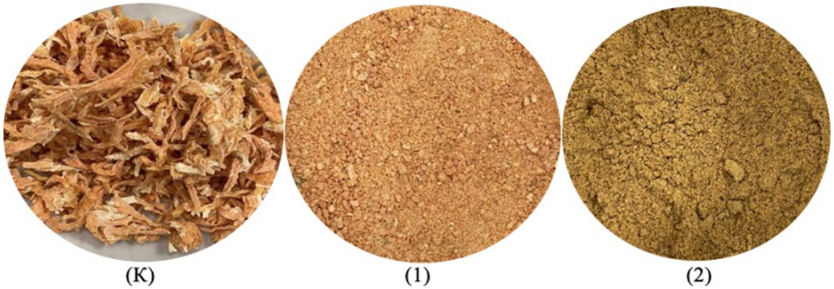


Рис. 2. Внешний вид образцов сушеной моркови
К – контрольный образец без дополнительного измельчения;
1 – морковный порошок, полученный роторно-ножевой мельницей;
2 – морковный порошок, полученный УДА-обработкой

Метод определения содержания бета-каротина в растительном сырье включал в себя: экстракцию органическим растворителем гексаном, анализ полученного раствора с помощью спектрофотометра при длине волны 440 нм и дальнейшую обработку результатов с помощью расчетной формулы [8]:

$$X = \frac{0{,}626 \cdot V \cdot A}{m}, \quad (1)$$

где X – содержание бета-каротина в полученном растворе, мг/100 г сырья;

V – объем полученного раствора, мл;

A – показания оптической плотности спектрофотометра, отн. Ед.;

m – масса навески, г;

0,626 – коэффициент пересчета, мг/мл.

По итогу исследования были получены результаты, представленные в таблице.

Таблица.

Содержание бета-каротина в сырье и полученных порошках моркови

Образец	**Влажность образца, %**	**Количество бета-каротина, мг/100 г сырья**
Контроль	14,58	6,47 ± 0,10
Роторно-ножевая мельница	12,28	46,68 ± 0,10
УДА-обработка	9,15	51,05 ± 0,36

Полученные результаты показывают, что дополнительное измельчение сырья помогает высвобождать больше каротиноидов из растительной клетки. Наблюдается разница в 7 раз и более в количестве определяемого бета-каротина в исследуемых образцах. На рис. 1 видно, что порошок, полученный из одного и того же сырья с помощью дезинтегратора, имеет более мелкую и однородную структуру и более насыщенный цвет, чем порошок, полученный роторно-ножевой мельницей. В то же время экспериментальным путем было доказано, что более высокое содержание бета-каротина было в порошке, который получили УДА-обработкой. Кроме того, данный порошок имел более низкие показатели влажности, что благотворно повлияет на процессы ферментативного окисления продукта, продлив ему срок годности.

Литература

1. Karama M. C., Petit J., Zimmera D., Djantoub E. B., Schera J., Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review // Journal of Food Engineering. 2016. № 188. С. 32–49.
2. Haas K., Obernberger J., Zehetner E., Kiesslich A., Volkert M., Jaeger H, Impact of powder particle structure on the oxidation stability and color of encapsulated crystalline and emulsified carotenoids in carrot concentrate powders // Journal of Food Engineering. 2019. № 263. С. 398–408.
3. Kapoor R., Feng H., Characterization of physicochemical, packing and microstructural properties of beet, blueberry, carrot and cranberry powders: The effect of drying methods // Powder Technology. 2022. № 395. С. 290–300.

4. Шашкина М. Я., Шашкин П. Н., Сергеев А. В., Роль каротиноидов в профилактике наиболее распространенных заболеваний // Российский биотерапевтический журнал. 2010. № 9 (1). С. 77–86.
5. Тармаева И. Ю., Боева А. В., Минеральные вещества, витамины: их роль в организме. Проблемы микронутриентой недостаточности: учебное пособие. – Иркутск: ИГМУ, 2014. – 89.
6. Adadi P., Barakova N. V., Krivoshapkina E. F., Selected Methods of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018. № 66. C. 5925–5947.
7. Дезинтеграторы Desintegraator Tootmise OÜ: [Электронный ресурс] – URL: https://www.desi.ee/ru/tooted/d-zin-gr-ri. (дата обращения: 10.10.2021).
8. Базарнова Ю. Г., Методы исследования сырья и готовой продукции: учебно-методическое пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИхиБТ, 2013. С. 76.

Способы снижения гликемического индекса мучного кондитерского изделия – маффина – и придания ему функциональных свойств

Шабунина М. В., Челомбиткин М. А., Баракова Н. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Рассмотрены способы снижения гликемического индекса мучного кондитерского изделия – маффина, которые заключаются в замене сахара сахарозаменителем мальтитолом и частичной заменой пшеничной муки овсяной. Для придания продукту функциональных свойств предлагается рафинированное растительное масло, входящее в рецептуру маффинов, обогатить фитостеринами, предварительно извлеченными из растительного сырья.

Ключевые слова
Мучные кондитерские изделия, маффины, гликемический индекс, подсластитель мальтитол, овсяная мука, фитостерины.

Мучное кондитерское изделие (МКИ) – это выпеченный полуфабрикат с содержанием муки не менее 25%. В современном мире МКИ пользуются большим спросом у всех групп населения, их доля на рынке кондитерских изделий составляет 54%, при этом объем производства стабильно растет – в 2010 году он составлял 2668,4 тыс. т в год, к 2019 году достиг 3315 тыс. т. Одним из видов МКИ, завоевавшим любовь потребителей всех возрастов, является маффин, который можно встретить практически в любой пекарне [1-14].

Маффин представляет собой изделие, внешне похожее на кекс, но отличающееся более воздушной текстурой мякиша и развитой пористостью. Такая структура создается за счет меньшего, в сравнении с кексами, содержания сахара и жира и большего – муки и жидкости. Пористость мякиша достигается строгим соблюдением рецептуры: соединение жидких и сухих ингредиентов по отдельности, добавление жидкой смеси в сухую и быстрое перемешивание. В рецептуру маффина входит большое количество жиров и углеводов, которые определяют высокую калорийность продукта (окисление 1 г жира дает 9 ккал, 1 г углевода – 3,75 ккал), что является недостатком продукта с точки зрения здорового питания.

Другим недостатком МКИ является их высокий гликемический индекс (ГИ). ГИ – это показатель, отражающий скорость попадания глюкозы в кровь и зависящий от состава продукта, в том числе от количества углеводов, содержащихся в готовом изделии. ГИ делится на три категории: низкий, средний и высокий, к последней относятся продукты с ГИ выше 70 единиц. МКИ, в том числе маффины, входят именно в эту категорию.

В настоящее время интерес потребителя растет не только к МКИ, но и к своему здоровью. Согласно выборочному анкетированию, проведенному в г. Кемерово в 2017 году, около половины потребителей придерживается принципов здорового питания. Более того, значимость состава и пользы покупаемого МКИ стоит на втором месте после органолептических показателей, 67% респондентов положительно относятся к функциональным продуктам (ФП) питания и считают их важной частью здорового рациона.

Функциональный продукт питания – это пищевой продукт, обладающий дополнительной ценностью в связи с добавлением в рецептуру новых ингредиентов, оказывающих на организм человека положительный эффект. ФП обладает доказанной эффективностью, снижает риск развития заболеваний, предотвращает или восполняет имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, при этом он должен подходить для рациона всех групп населения, а также употребляться систематически. В связи с тем, что дефицит или, напротив, избыток тех или иных элементов существует в каждом регионе России, ФП становится одним из эффективных путей профилактики распространенных заболеваний. Наиболее значимыми среди них являются заболевания сердечно-сосудистой системы, в том числе атеросклероз, сахарный диабет и ожирение. Данные заболевания могут быть вызваны нарушением режима питания, а именно – употреблением продуктов с высокими ГИ.

В целях корректировки рациона питания предлагается создать полезный продукт, при этом первостепенной задачей является снижение содержания углеводов, обусловливающих высокий ГИ продукта. В направлении уменьшения ГИ можно рассматривать несколько способов: полная замена сахара на сахарозаменитель (СЗ) и использование альтернативных видов муки. В настоящее время оба эти метода получили распространение.

Основным преимуществом ряда СЗ перед сахаром является низкий гликемический индекс. Так, ГИ сахарозы равен 68, в то время как у сорбитола данный показатель равен 9, а у некоторых сахарозаменителей, таких как эритрит и стевия, ГИ равен нулю. Рынок заменителей сахара достаточно велик, но необходимо подобрать такой, который сможет

полноценно выполнять функцию сахарозы, входящей в состав сахарного песка, включенного в рецептуру маффинов. Необходимо не только придать продукту сладость, но и поспособствовать образованию воздушного бисквита (предотвращение развития клейковины), румяной корочки (реакция Майяра) и продлению срока годности изделия (замедление процесса клейстеризации крахмала за счет большей гигроскопичности сахара в сравнении с крахмалом).

Большинство СЗ, существующих на рынке, имеет отличное от сахарозы строение, что не позволяет применять их для ее замены. Некоторые СЗ, например аспартам, при нагревании (выпечка при высоких температурах – один из основных этапов процесса приготовления маффинов) разлагается с образованием веществ, опасных для здоровья человека.

Согласно опросу потребителей, при выборе кондитерского изделия, каковым является и маффин, решающим критерием является вкус, соответственно, наличие у сахарозаменителя специфического вкуса может оттолкнуть потребителя. Данные факторы делают применение подавляющего большинства СЗ невозможным в приготовлении маффинов.

Тем не менее, подходящая замена сахарозе существует. Это многоатомный спирт – мальтитол, который получают каталитическим гидрированием мальтозы, которая может быть получена путем гидролиза крахмала под действием альфа-амилаз. В промышленности мальтитол получают из такого крахмалосодержащего сырья, как кукуруза, пшеница и картофель. Также его небольшое количество естественным образом содержится в обжаренном солоде и листьях цикория. Подсластитель на 10% менее сладок, чем сахароза, а его ГИ и калорийность составляют 35 единиц и 2,4 г/100 г соответственно, в то время как такие же показатели у сахарозы равны 68 единиц и 4 г/100 г. Более того, данный СЗ по вкусу очень близок к сахару, что исключает риск получения продукта с непривлекательными органолептическими характеристиками, а за счет наличия девяти гидроксильных групп мальтитол может выступать в качестве влагоудерживающего агента, замедляя процессы черствения изделия.

В настоящее время мальтитол применяют в хлебопечении. Пшеничный хлеб, полученный при включении в его рецептуру 6% мальтитола, отличается большей мягкостью и более длительным сроком годности.

Мальтитол не полностью гидролизуется: он частично всасывается только в проксимальном отделе кишечника, а затем попадает в нижние отделы кишечника и толстую кишку. Этим обусловлено медленное высвобождение глюкозы, что предотвращает резкий скачок ее уровня в крови, и это является неоспоримым преимуществом для диабетиков.

Мальтитол не расщепляется бактериями в ротовой полости и не вызывает кариес. Все вышеперечисленные свойства делают подсластитель привлекательным сырьем для кондитерской промышленности. Единственным недостатком этого сырья является его неспособность вступать в реакцию Майяра и образовывать румяную корочку. Для предотвращения получения изделия с бледной коркой предлагается включить в рецептуру маффинов какао-порошок.

Следующим способом снижения ГИ является применение нетрадиционных видов муки, например, амарантовой, овсяной или гречневой. ГИ пшеничной муки, в зависимости от сорта, составляет от 70 до 85 единиц, в то время как у гречневой муки данный показатель равен 50 единиц, у овсяной – 45 единиц, у амарантовой – 40 единиц. Низким ГИ обладает и миндальная мука – всего 25 единиц. Необходимо заметить, что большинство альтернативных видов муки – дорогостоящее сырье, и к наиболее доступной ценовой категории относится овсяная мука.

Овес является злаком с высокой биологической ценностью. Мука из него содержит клетчатку, белок, сбалансированный по аминокислотному составу, бета-глюканы, липиды, а также витамины Е, В1, В12 и минералы – фосфор, магний, марганец, медь, железо и цинк. Бета-глюканы и клетчатка – это водорастворимые волокна, которые способствуют снижению ГИ и вызывают длительное ощущение сытости. При контакте с водой они образуют желеобразный раствор, который легче проходит через кишечник, а также замедляет поступление сахаров из пищи и регулирует количество поступающего в кровь холестерина. Регулярное потребление овсяной муки может сократить риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и является отличной альтернативой пшеничной муке в рационе диабетиков.

Проведенные исследования по применению овсяной муки в хлебопечении показали, что внесение 10% цельносмолотой овсяной муки взамен пшеничной оказало положительное влияние на стабильность и степень разжижения тестового полуфабриката. Таким образом, включение овсяной муки в рецептуру маффинов позволит не только снизить ГИ изделия, но и придать продукту дополнительную биологическую ценность и улучшить реологические свойства теста.

Традиционно маффины готовятся с использованием растительных, а не животных жиров. Растительные масла обладают высокой биологической ценностью. В их состав входят витамины и эссенциальные жирные кислоты, вносящие незаменимый вклад в здоровье человека. Данные нутриенты улучшают состояние кровеносной и репродуктивной систем, оказывают благотворное влияние на иммунную систему и развитие

плода. Более того, растительные масла не только не содержат холестерин, но и способствуют снижению его содержания в организме человека за счет входящих в их состав фитостеринов.

Необходимо отметить, что фитостерины содержатся лишь в нерафинированных маслах и разрушаются в процессе рафинации. Поскольку при производстве маффинов используются именно рафинированные масла, перспективно провести исследования и включить растительные масла, обогащенные фитостеринами, в рецептуру маффинов.

Ранее проведенные исследования показали, что небольшая доза фитостеринов в чистом виде или в составе ФП положительно влияет на организм за счет уменьшения всасывания холестерина. Потребление всего 3 г/сут приводит к снижению уровня холестерина в сыворотке крови примерно на 10%, что снижает риск возникновения ишемической болезни сердца на 20–50%. На сегодняшний день разработана методика выделения растительных стеринов из соевого масла. Целесообразно получить фитостерины по данной методике, обогатить ими рафинированное растительное масло и включить его в рецептуру маффинов.

Заключение

Рассмотренные в статье способы снижения ГИ маффинов путем внесения в рецептуру сахарозаменителя, овсяной муки и обогащения растительных масел фитостеринами позволят производить маффины с пониженным гликемическим индексом и функциональной направленностью, что расширит ассортимент продуктов для людей, страдающих сахарным диабетом, сердечно-сосудистыми заболеваниями, ожирением.

Литература

1. Арзамасцева С. В., Ключевые тенденции на рынке кондитерских изделий России / С. В. Арзамасцева // Цели и пути устойчивого экономического развития: сб. статей. – Уфа, 2021. – С. 117–123.
2. Дорохович А. Н., Маффины функционального и диетического назначения / А. Н. Дорохович, Н. П. Лазаренко // Научни трудове на УХТ “Хранителна наука, техника и технологии 2012”. –Пловдив, 2012. Том 59. С. 108–112.
3. BusinesStat. Анализ рынка мучных кондитерских изделий в России в 2016–2020 гг, прогноз на 2021–2025 гг. Структура розничной торговли. Оценка влияния коронавируса [Электронный ресурс] / BusinesStat. - Маркетинговое исследование. – 2020 Режим доступа: https://businesstat.ru/catalog/id8186/, демо-версия. (Дата обращения: 11.09.2021).
4. Резниченко И. Ю., Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности / И. Ю.

Резниченко, Т. В. Резняева, А. Н. Табаторович, И. В. Сурков, А. М. Чистяков// Техника и технология пищевых производств. 2017. № 2 (45). С. 149–162.

5. Роспотребнадзор. Актуальные вопросы распространенности микроэлементозов. Заболеваемость анемиями и профилактика недостатка железа [Электронный ресурс] / Роспотребнадзор. - Электрон. текстовые дан. – 2016. - Режим доступа: http://34.rospotrebnadzor.ru/content/275/7576/, свободный. (Дата обращения: 11.09.2021).
6. ВОЗ. ВОЗ публикует статистику о ведущих причинах смертности и инвалидности во всем мире за период 2000–2019 гг. [Электронный ресурс] / ВОЗ. - Электрон. текстовые дан. - 2020. - Режим доступа: https://www.who.int/ru/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019, свободный.
7. Мельникова А. А., Анализ ассортимента и критериев потребительского выбора мучных кондитерских изделий / А. А. Мельникова, И. Ю. Резниченко // Вестник ОрелГИЭТ. 2020. № 2 (52). С. 104–108.
8. Saraiva, A. Maltitol: Analytical Determination Methods, Applications in the Food Industry, Metabolism and Health Impacts / A. Saraiva, C. Carrascosa, D. Raheem, F. Ramos, A. Raposos // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. № 17 (5227). С. 1–28.
9. Ding, S. Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol / S. Ding, B. Peng, Y. Li, J. Yang // Food Chemistry. – 2019. – № 6 (283). – С. 123–130.
10. Livesey, G. Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties / G. Livesey // Nutrition Research Reviews. 2003. № 2 (16) С. 163–191.
11. Анисимова Л. В., Реологические свойства теста из смеси пшеничной и цельносмолотой овсяной муки / Л. В. Анисимова, Солтан Осама Исмаэил Ахмед // Ползуновский вестник. №3. 2017. С. 9–13.
12. Алиева Ю. А., Обоснование способа извлечения фитостеринов из сои: выпускная квалификационная работа: 31.05.2021 / Алиева Юлия Алиевна. – СПб, НИУ ИТМО, 2021. – 55 с.
13. Перова Н. В., Растительные стерины и станолы в профилактике болезней системы кровообращения / Н. В. Перова, М. А. Хучиева // Эффективная фармакотерапия. Кардиология и Ангиология. № 12. 2011. С. 64–69.
14. О'Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайен. // – СПб.: Профессия, 2007. 752 с.

Гидротермические экстракты бурых водорослей как основа сухих напитков, обогащенных йодом

Табакаев А. В., Табакаева О. В.

Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

Аннотация

Напитки широко применяются в питании, как в традиционном, так и в лечебно-диетическом и лечебно-профилактическом. Одна из целей использования напитков – обогащение рациона биологически активными веществами, особенно теми, дефицит которых является существенным. Также напитки являются одной из самых технологичных основ для создания новых ассортиментных разновидностей. Кроме того, они могут производиться в сухом виде: в форме порошка или гранул, что существенно расширяет круг их применения, так как такие напитки обладают пролонгированным сроком хранения, малым объемом, возможностью использования в различных условиях. В настоящее время необходимость создания функциональных напитков, обогащенных эссенциальными микронутриентами, является доказанной. Чаще всего основой для производства сухих напитков являются фруктовые и плодово-ягодные соки, экстракты растительного наземного сырья и др. Однако существует огромное количество источников БАВ морского происхождения, которые не используются в технологиях напитков, в частности, различные виды водорослей и морских трав. Из всего многообразия водорослей особый интерес представляют бурые водоросли. При переработке бурых водорослей для пищевого использования обязательным этапом является гидротермическая обработка, при которой получаются значительные объемы экстрактов, обогащенных БАВ морского происхождения. Гидротермический сухой экстракт бурой водоросли S. Miyabei является источником таких важных биологически активных веществ, как йод, фукоидан и фенольные соединения, и может быть использован в качестве основы для сухих напитков, обогащенных БАВ морского происхождения.

Ключевые слова

Бурые водоросли, гидротермический экстракт, биологически активные вещества, йод, фукоидан.

Напитки широко применяются в питании, как в традиционном, так и в лечебно-диетическом и лечебно-профилактическом. Одна из целей использования напитков – обогащение рациона биологически активными веществами, особенно теми, дефицит которых является существенным. Также напитки являются одной из самых технологичных основ для создания новых ассортиментных разновидностей. Кроме того, они могут производиться в сухом виде: в форме порошка или гранул, что существенно расширяет круг их применения, так как такие напитки обладают пролонгированным сроком хранения, малым объемом, возможностью использования в различных условиях. В настоящее время необходимость создания функциональных напитков, обогащенных эссенциальными микронутриентами, является доказанной. Чаще всего основой для производства сухих напитков являются фруктовые и плодово-ягодные соки, экстракты растительного наземного сырья и др. Однако существует огромное количество источников БАВ морского происхождения, которые не используются в технологиях напитков, в частности, различные виды водорослей и морских трав. Из всего многообразия водорослей особый интерес представляют бурые водоросли. При переработке бурых водорослей для пищевого использования обязательным этапом является гидротермическая обработка, при которой получаются значительные объемы экстрактов, обогащенных БАВ морского происхождения. Сухие гидротермические экстракты бурых водорослей могут являться основой для сухих напитков с высоким содержанием БАВ, в том числе и йода.

С целью обоснования возможности использования гидротермических экстрактов бурых водорослей в качестве основы для сухих напитков, обогащенных БАВ морского генеза, методом кипячения в течение 30 минут получен гидротермический экстракт бурой водоросли S. Miyabei, высушенный затем инфракрасной сушкой до остаточной влажности не более 8%. Сухой гидротермический экстракт бурой водоросли S. Miyabei характеризуется зелено-бурым цветом, характерным запахом водорослей, слегка соленым вкусом. Полученный экстракт легко растворяется в воде с образованием прозрачной светло-зеленой жидкости с характерным незначительным запахом водорослей и слегка соленым вкусом. В таблице приведен химический состав и содержание биологически активных веществ в сухом экстракте.

Данные таблицы демонстрируют, что сухой экстракт характеризуется высоким содержанием озоляемых веществ. Содержание белка не-

высокое, что определяется его наличием в исходном сырье. Из биологически активных веществ определено содержание фукоидана, ламинарана, альгината и йода.

Таблица.

Химический состав и содержание биологически активных веществ в сухом экстракте бурой водоросли *S. Miyabei*

Водоросль	**Содержание г/100 г**					
	Зола	**белок**	**Фукоидан**	**Ламинаран**	**Альгинат**	**Йод**
S. miyabei	34,6+1,52	4,8+0,20	5,1+0,23	7,6+0,33	1,8+0,07	0,0019+0,0000

Содержание йода составляет не менее 0,0019 г/100 г. Йод относится к эссенциальным элементам и влияет на обмен белков, жиров, углеводов, а также контролирует баланс процессов синтеза и катаболизма в организме. Участвует в функционировании щитовидной железы, обеспечивая образование гормонов (тироксина и трийодтиронина) [1].

Сухой экстракт бурой водоросли *S. Miyabei* характеризуется высоким содержанием фукоидана – не менее 4,87 г/на 100 г. Фукоидан является сульфатированным гетерополисахаридом с чрезвычайно широким спектром биологических активностей. Доказано, что он характеризуется противоопухолевыми [2], иммуномодулирующими [3], антибактериальными [4], противовоспалительными [5] и другими свойствами.

Фукоидан оказывает противовирусное действие (препятствует проникновению вирусов в клетки за счет изменения свойств клеточной поверхности), то есть блокирует первую стадию инфекционного процесса, без которой развитие инфекционного заболевания невозможно [6].

Альгинаты используются в медицине в качестве антацида и в пищевой промышленности как загуститель, для сорбции и иммобилизации ферментов и целых клеток и др.

Кроме перечисленных в таблице 1 веществ, сухой экстракт бурой водоросли *S. Miyabei* характеризуется содержанием еще одного класса биологически активных веществ – фенольных соединений. Фенольные соединения широко представлены в растениях. Высокая биологическая активность растительных фенольных соединений обусловлена наличием антиоксидантных свойств [7].

Содержание фенольных соединений в сухом экстракте *S. Miyabei* составляет 251 мг дубильной кислоты/1 г сухого экстракта. В экстракте бурой водоросли *S. Miyabei* обнаружены следующие фенольные соединения: хлоргеновая, кофейная, 2,5-дигидроксибензойная, кумаровая, феруловая, салициловая и сиринговая кислоты, а также галлатэпигаллокатехина, эпикатехин, галлатэпикатехина.

Таким образом, гидротермический сухой экстракт бурой водоросли *S. Miyabei* является источником таких важных биологически активных веществ, как йод, фукоидан и фенольные соединения, и может быть использован в качестве основы для сухих напитков, обогащенных БАВ морского происхождения.

Литература

1. Лукьянчук В. Д., Кравец Д. С., Коробков А. А. Биологическая роль йода и фармакокоррекция его недостаточности (Методические рекомендации) // Современная педиатрия. 2006. № 2(11). 88–94 с.
2. Алексеенко Т. В., Жанаева С. Я., Венедиктова А. А. Противоопухолевая и антиметастатическая активность сульфатированного полисахарида фукоидана, выделенного из бурой водоросли Охотского моря Fucus evanescens // Бюл. Эксперим. Биологии и медицины 2007. Т. 143№. 6. С. 675–677.
3. Запорожец Т. С., Беседнова Н. Н. Иммуноактивные биополимеры из морских гидробионтов // Известия ТИНРО-центра 2007. С. 219–227.
4. Макаренкова И. Д., Запорожец Т. С., Беседнова Н. Н. Изучение возможности снижения адгезивной активности дифтерийных бактерий биополимерами природного происхождения // Антибиотики и химиотерапия. 1999. №. 3. С. 11–15.
5. Бовин Н. В., Усов А. И., Ушакова Н. А. Сульфатированные полисахариды как ингибиторы рецепторной активности Р-селектина и Р-селектинзависимого воспаления/ // Вопр. Мед. химии. 1998. №. 2. С.135–141.
6. 6Усов А. И., Ушакова Н. А., Нифантьев Н. Э. Сульфатированные полисахариды из морских водорослей: структура и биологическая активность // Биомед. Химия. 2008.№.5. С. 597–606.
7. Барабой В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений, Киев: Наук.думка. 1979. 264 с.

Исследование потенциала использования традиционных заквасочных культур при ферментации сырья растительного происхождения

Ашихмина М. С., Морозова О. В., Яковченко Н. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Добавление пробиотических микроорганизмов в рацион питания позволяет защитить организм от заболеваний желудочно-кишечного тракта, повысить биодоступность минеральных веществ и витаминов. Большинство бактерий, применяемых в пищевой промышленности в качестве пробиотических культур (*Lactobacillus* и *Bifidobacterium*), теряют жизнеспособность в процессе производства и хранения продуктов, они не устойчивы к разным значениям pH. При этом стоит отметить низкий ассортимент ферментированных продуктов на растительной основе. В результате проведенных исследований было выявлено, что применение спорообразующих бактерий *Bacillus coagulans* МТСС 5856 совместно с *Lactobacillus acidophilus* позволяет разработать инновационный натуральный ферментированный продукт на безмолочной основе. Оптимальная температура ферментации составляет 42°С. Установлен срок годности 40 суток при 4±2 °С. Количество пробиотических организмов на конец срока годности составило не менее 10^7 КОЕ / г.

Ключевые слова
Bacillus coagulans, *Lactobacillus acidophilus*, ферментированный продукт, пробиотические микроорганизмы, веганы.

По современным представлениям, основу нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) человека составляют анаэробные бактерии, которые являются облигатными микроорганизмами для организма. По литературным источникам известно, что общее число видов, заселяющих ЖКТ человека составляет от 400 до 700, что составляет около 2,2 кг [2]. Лакто- и бифидобактерии, непатогенная кишечная палочка и другие виды бактерий заселяют и формируют сложный самоорганизованный, саморазвивающийся биогеоценоз [1, 3].

Кисломолочные продукты пользуются большим спросом у населения из-за профилактических и лечебных свойств, а также положительного воздействия на ЖКТ человека благодаря наличию живых микроорганизмов. Однако в последние годы наблюдается повышенный спрос

на альтернативные кисломолочные продукты. Использование в качестве основного компонента растительной дисперсии помогает расширить ассортимент данных категорий [4, 5]. При этом производители зачастую сталкиваются с проблемами, связанными с адаптацией и составлением заквасок для производства ферментированных продуктов на растительной основе.

Таким образом, перед нами стоит цель исследовать традиционные заквасочные культуры при ферментации сырья растительного происхождения.

В качестве основы для производства ферментированных продуктов использовали «Напиток овсяный оригинальный» Alpro. Состав данного напитка: вода, овсяный сироп (овсяная мука, вода), подсолнечное масло, пищевые волокна – инулин (из корня цикория), трикальций фосфат (источник кальция), стабилизатор (гелланова камедь), соль.

Для получения закваски овсяной напиток (100 мл) нагревали в стерильных условиях до температуры ферментации (42±2 °С) и вносили производственные закваски. В качестве заквасочных культур были использованы *Streptococcus thermophilus* (Danisco TA 40 LYO 50 DCU), *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* (Danisco Choozit TM 81 50 DCU) и *Lactobacillus acidophilus* (L. acidophilus NCFM®, Danisco). Полученные закваски хранили при температуре 4±1 °С не более 7 суток.

Для приготовления образцов ферментированных продуктов растительную дисперсию нагревали до 85±2 ºС в течение 5–7 минут и сразу охлаждали до температуры сквашивания 45±1ºС. В подготовленную среду в стерильных условиях добавляли закваски *B. Coagulans* и различные вспомогательные заквасочные культуры в количестве 5% от массы смеси. Соотношение вспомогательных заквасочных культур к *B. Coagulans* составляло 2:1.

Одним из ключевым критериев выпуска продуктов питания на рынок является их сенсорные свойства. При оценке органолептических показателей опытных образцов ферментированных продуктов был использован метод количественного дескрипторно-профильного анализа.

Ферментированные продукты с различными заквасочными культурами были проанализированы через 20 ч после выработки и хранения в холодильнике при 4±2 °С.

Микробиологические исследования пробиотических культур проводили согласно ГОСТ Р 56139–2014.

Кислотонакопление проводилось до момента, когда будет получен однородный, плотный сгусток, без видимого газообразования. У трех образов, полученных при помощи вспомогательных культур, видно уменьшение продолжительности ферментации по сравнению с образом,

полученным только с применением *B. Coagulans.* Все образцы, после ферментации помешали в холодильник на 17 часов, а затем повторно проводили измерение титруемой кислотности. Зависимость кислотонакопления от продолжительности сквашивания показана на рисунке 1.

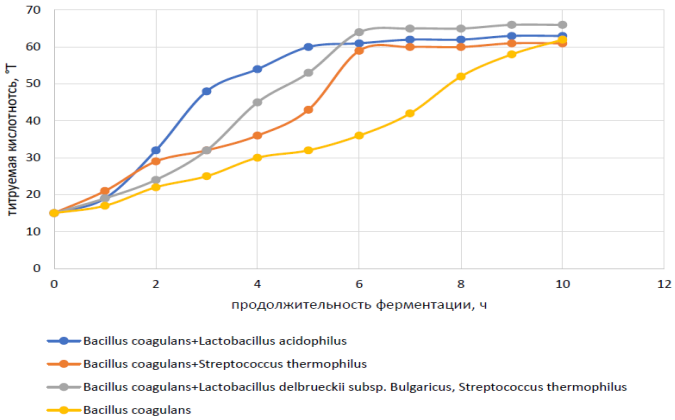


Рис. 1. Динамика кислотонакопления в процессе ферментации

Результаты органолептической оценки (рис. 2) показали, что образец с добавлением *Lactobacillus acidophilus* является наиболее предпочтительным.

Данный образец имеет наивысшую степень общей приемлемости, а также стоит отметить, что у него наиболее сильно выражен вкус и аромат ферментации, привычный потребителям по аналогичным кисломолочным продуктов. Добавление *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* совместно с *Streptococcus thermophilus* позволило улучшить однородность сгустка, а *Lactobacillus acidophilus* позволило не только создать более однородную консистенцию, а еще придать глянцевость поверхности. Образец с *Bacillus coagulans* имеет наиболее сильно выраженную кислотность и наименьшую однородность сгустка. Одним из самых негативных дескрипторов является горечь. По этому параметру наименьшую степень выраженности имеет образец, полученный на основе *Lactobacillus acidophilus,* а наивысшую – *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* совместно с *Streptococcus thermophilus.*

Таким образом, добавление *Lactobacillus acidophilus* позволило улучшить сенсорные характеристик продукта, а также уменьшить продолжительность ферментации.

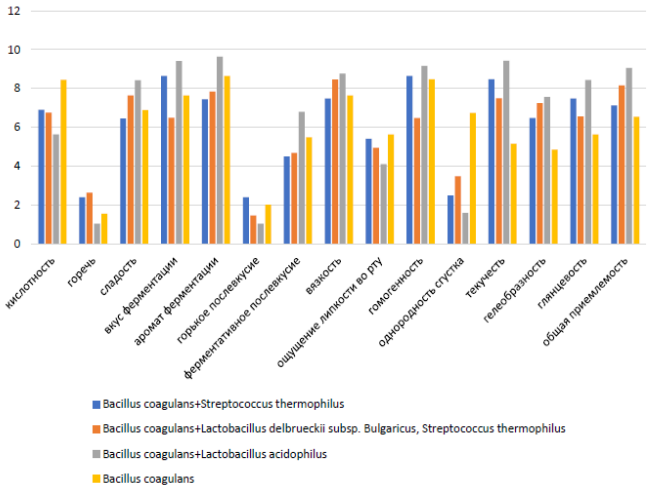


Рис. 2. Сенсорная характеристика образцов с использованием вспомогательных заквасочных культур

Важным условиям выпуска пробиотических ферментированных продуктов является количество микроорганизмов. На конец срока годности продукт должен содержать не менее 10^7 КОЕ/мл (г).

Согласно результатам подсчета пробиотических микроорганизмов в разрабатываемом продукте, полученном при температуре ферментации 42°С, количество колониеобразующих единиц составляет более 10^9 КОЕ/мл в свежем продукте и 10^7 КОЕ/мл при хранении в течение 40 суток в холодильной камере.

На основании проведенных исследований было показано, что *B. Coagulans* МТСС 5856 имеет высокий потенциал практического использования для получения ферментированных продуктов на растительной основе при условии дополнительного внесения вспомогательной заквасочной культуры *L. Acidophilus.* Согласно результатам исследований, оптимальная температура ферментации растительного продукта 42°С. Установлен рекомендуемый срок хранения 40 суток при температуре 4±2 °С.

Результаты исследования показывают, что полученный продукт удовлетворяет не только вкусовым требованиям потребителя, но и может принести пользу для здоровья при употреблении в составе рациона питания.

Литература

1. Champagne, C. P., Ross, R. P., Saarela, M., Hansen, K. F., & Charalampopoulos, D. Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices // International Journal of Food Microbiology, 2011. 149(3), P. 185–193.
2. Высочина И. Л. В. Coagullans в лечении гастроэнтерологических заболеваний воспалительной и функциональной природы: эффективность с позиций доказательной медицины // Gastroenterologia, 2018. 52(4). P. 227–242.
3. Baron, M. Original research: A patented strain of Bacillus coagulans increased immune response to viral challenge // Postgraduate Medicine, 2009. 121(2). P. 114–118.
4. Bhaskar, M. Immunomodulatory activity of lactobacillus sporogenes // International Journal of Therapeutic Applications, 2012. 3. P. 32–38.
5. Kumar, O. R. M., & Christopher, K. J. Feeding of lactobacillus sporogenes to Rabbits // Indian Veterinary Journal, 1989. 66(9). P. 896–898.

Моделирование IT-инфраструктуры в системе поддержки принятия решений при диагностировании гематологических заболеваний

Когай Г. Д. [1], Дрозд В. Г. [2], Тен Т. Л. [2], Иванов В. Л. [3], Тажбаев Н. М. [3]

1 – Карагандинский технический университет,
г. Караганда, Республика Казахстан
2 – Карагандинский университет Казпотребсоюза,
г. Караганда, Республика Казахстан
3 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В статье рассматриваются математические и инструментальные средства, реализуемые на базе организационно-информационной структуры поддержки медицинских решений. Затрагиваются теоретико-методологические вопросы по улучшению точности функционирования систем поддержки принятия медицинских решений в разрезе аналитического сравнения отечественных и зарубежных ученых-исследователей. Предлагается применение методологического подхода по моделированию IT-инфраструктуры в системе поддержки принятия решений при диагностировании заболевания крови.

Ключевые слова
Аналитика, здравоохранение, медицинские технологии, модель, медицинские услуги, информационный процесс, моделирование, анализ данных, управленческие решения, биотехнологии.

Одним из основных и важнейших стратегических направлений, обеспечивающих развитие системы здравоохранения в Республике Казахстан, является формирование единой информационной платформы и ее информационно-технологической инфраструктуры. На текущий период в здравоохранении наблюдается активная фаза перехода к автоматизации процессов обработки медицинской информации. Это предполагает повышение степени обработки информации и тем самым улучшение качества обслуживания пациентов и работы врачебного и медицинского персонала.

В целях дальнейшей реализации концепции электронного здравоохранения в Казахстане предусматривается внедрение новых стандартов, которые предоставят возможность для реализации функционалов

сервисно-ориентированной архитектуры. Она может, в свою очередь, обеспечить более полную функциональную совместимость участвующих в поддержке реализуемых процессов здравоохранения и информационных систем.

Поэтому сегодня в организациях здравоохранения Казахстана активно продвигается информационно-технологическая платформа, получившая название – Единая Информационная Система Здравоохранения (ЕИСЗ). Основной ее целью является создание и внедрение новой информационной структуры здравоохранения РК, которая будет соответствовать всем уровням развития современного общества: социальному, экономическому, техническому, технологическому. Все это обеспечит рациональное использование ресурсной базы системы здравоохранения при оказании более качественных медицинских услуг населению страны.

Создание платформы ЕИСЗ будет предполагать реализацию целого спектра задач, базирующихся на детальной разработке и активном внедрении общих стандартов в обмене данными медицинского назначения; практическое применение подобной системы, обеспечивающей идентификацию субъектов информационного взаимодействия и объектов учета в здравоохранении; а также обеспечение централизованного сопровождения и максимально открытого доступа к ресурсной базе данных всех справочников, единых классификаторов и нормативных документов, в том числе и к информационной базе данных имеющихся стандартов оказываемой медицинской помощи, всех протоколов по ведению пациентов, а также ко всем государственным реестрам изделий медицинского назначения и лекарственных средств [1].

В рамках Государственной программы развития здравоохранения Республики Казахстан «Денсаулық» на 2016–2020 годы продолжается развитие ЕИСЗ в части разработки единых стандартов, технологических спецификаций и характеристик различных информационных систем по требуемому функционалу [2].

Система оказания медицинской помощи меняется во многих отношениях. Технологические достижения открывают возможности для оптимизации ухода за пациентами. Компьютерные информационные системы имеют потенциал для решения многих проблем, возникающих в области здравоохранения, а именно, управление большими объемами данных о пациентах и снижение затрат на здравоохранение, ведение научных исследований.

При работе с большим объемом медицинских данных возникает необходимость в использовании системы комплексного интеллектуального анализа данных, которая могла бы агрегировать и анализировать

разнотипную информацию, поступающую от различных объектов медицинской организации. Из-за больших объемов поступающей информации такая система должна правильно использовать существующие технологии работы с большими данными.

Методы интеллектуального анализа данных могут быть применены для построения моделей принятия решений для таких процедур, как прогнозирование, диагностика и планирование лечения, которые после проверки и оценки могут быть встроены в клинические ИС, а также в области исследований по изучению потенциальных биомаркеров эндометриоза в образцах крови, в управлении многофакторными объектами биотехнологической и фармацевтической промышленности [3, 4, 5]. Существует ряд исследований, в которых подробно изложены работы авторов по использованию методов интеллектуального анализа данных в медицине [6]. В работе [7] делается не только обзор литературы в данном направлении, но и рассматриваются проблемы и предстоящие задачи применения методов интеллектуального анализа данных в медицине.

Авторы исследования [8] сделали следующие выводы:

1. Улучшение точности применения систем поддержки принятия медицинских решений может быть возможным путем моделирования неопределенных и временных данных, исследований алгоритмов вывода, интеграции информации о пациентах из разных источников и улучшения алгоритмов профилирования генов.

2. Для оценки характеристик методов требуется сравнительная оценка различных методов моделирования, которые могут помочь разработчикам выборе техники для решения конкретной медицинской проблемы.

3. Оценки применений систем поддержки принятия медицинских решений в клинических условиях необходимы для содействия использованию врачами этих вспомогательных средств для принятия решений.

Различные типы систем поддержки принятия решений были разработаны для оказания помощи врачам в принятии более эффективных или быстрых решений. Для проведения научного исследования предлагается следующий вариант концептуальной модели информационной технологии поддержки принятия решений при диагностировании заболеваний крови (ППРДЗК), которая может быть представлена в виде (1):

$$KM=<OP, BZ, IP, PLV, E, KA>, \quad (1)$$

где OP – модуль оперативной памяти; BZ – модуль базы знаний; IP – модуль интерфейса пользователя; PLV – модуль процедуры логического вывода; I–модуль интерпретации решения; BZ – модуль наполнения и проверки базы знаний.

Для системы поддержки принятия решений при диагностировании заболеваний крови предлагается применение модели представления знаний, которая интегрирует структуру фрейма (frame) и нечетко-продукционную модель. Фрейм имеет определенную внутреннюю структуру, состоящую из множества элементов, называемых слотами, которым также присваиваются имена. За слотами следуют шпации, в которые помещают данные, представляющие текущие значения слотов [9].

Модель, описывающую представление знаний, можно представить в виде формализованной записи (2):

$$KM = \langle \begin{matrix} Fr_K, Fr_D, Fr_GD, Fr_P, Fr_GP, Fr_KP, \\ \{FD_i\}, \{FEGD_i\}, \{FEP_i\}, \{FEGP_i\}, \{FCP_i\}, \end{matrix} \rangle \quad (2)$$

где Fr_K – Frame-класс; Fr_GD – протофрейм группы диагнозов; Fr_D – протофрейм диагноза; Fr_P – протофрейм отдельного признака; Fr_KP – протофрейм комплекса признаков; Fr_GP – протофрейм группы признаков; $\{FEGD_i\}$ – множество экзофрейм групп диагнозов; $\{FD_i\}$ – множество экзофрейм диагнозов; $\{FEGP_i\}$ – множество экзофрейм групп признаков; $\{FEP_i\}$ – множество экзофрейм отдельных признаков; $\{FCP_i\}$ – множество фреймов-комплексов признаков для диагнозов.

В процессе проектирования диагностических систем необходимо решить ключевой вопрос, затрагивающий адекватный набор признаков, которые характеризуют альтернативные классы. Для решения этого проблемного вопроса следует воспользоваться научно-методологическим подходом множественной выборки. Для этого используем набор клинико-гематологических синдромов А: $\{a_1, a_2, an\}$, каждый из элементов которого характеризуется множественным набором признаков $a \rightarrow \{v_1, v_2, \ldots v_m\}$. Каждый признак представляет собой номинальную величину и может принимать одно из предопределенных значений по формуле (3):

$$\vartheta_{i(r)} \in V_i: \{\vartheta_{i(1)}, \vartheta_{i(2)}, \ldots \vartheta_{i(s_i)}\}, \quad (3)$$

где i – текущий номер признака; r – текущий номер значения признака; V_i – множество уникальных значений признака vi, которые встречаются в множестве элементов А; S_i – количество элементов в множестве V_i; $v_{i(r)}$ – значение номер r признака

Вероятность появления значения $v_{i(r)}$ в произвольном элементе составляет (4):

$$\rho_{i(r)} = \frac{n_{i(r)}}{n} \ , \qquad (4)$$

где $n_{i(r)}$ – количество элементов, у которых признак имеет значение $v_{i(r)}$.

Отметим, что для всех i верны утверждения (5):

$$\sum_{r=1}^{S_i} n_{i(r)} = n \ , \qquad \sum_{r=1}^{S_i} p_{i(r)} = 1 \qquad (5)$$

Энтропию каждого признака можно представить выражением следующего вида (6):

$$H_i = -\sum_{r=1}^{S_i} p_{i(r)} \log_2 p_{i(r)} \qquad (6)$$

Получаемое значение величины энтропии H_i будет находиться в некотором диапазоне $0 \le Hi \le H_{max}$, причем значение $Hi = 0$ соответствует ситуации с дисперсией нулевого уровня, когда признак v_i у всех элементов будет имеет одинаковую величину. Своего максимального значения $H(_i=H_{maxi})$ энтропия достигает в случае с максимальной дисперсией, т.е. когда каждое значение признака встречается равное количество раз [9].

Далее следует определить взаимное влияние этих признаков. Для каждой пары признаков создаем двумерную переменную, представленную в таблице, где МР – маргинальное распределение.

Таблица.

Значения двумерной номинальной переменной

Значения признака vi	**Значения признака**				
	$v_{j(1)}$	$v_{j(2)}$	…	$v_{j(Sj)}$	
$v_{j(1)}$	$n_{i(1), j(1)}$	$n_{i(1), j(2)}$	…	$n_{i(1), j(Sj)}$	$n_{i(1)}$
$v_{j(2)}$	$n_{i(2), j(1)}$	$n_{i(2), j(2)}$	…	$n_{i(2), j(Sj)}$	$n_{i(2)}$
…	…	…	…	…	…
$v_{i(Sj)}$	$n_{i(Sj), j(1)}$	$n_{i(Sj), j(2)}$	…	$n_{i(S),j(Sj)}$	$n_{i(Sj)}$
МРv_i	$n_{j(1)}$	$n_{j(2)}$	…	$n_{i(Sj)}$	n

Нахождение вероятности появления события в элементе комбинации значений рассчитываем по формуле (7):

$$p_{i(r),j(q)} = \frac{n_{i(r),j(q)}}{n}, \quad (7)$$

где $n_{i(r),j(q)}$ – число элементов, у которых есть признаки и значения $v\text{i}(r)$ и $v\text{j}(q)$.

Соответственно, величину энтропии для пары признаков можно будет вычислять по следующей формуле (8):

$$H_{ij} = -\sum_{r=1}^{S_i} \sum_{q=1}^{S_j} p_{i(r),j(q)} \log_2 p_{i(r),j(q)} \quad (8)$$

Исследуемый интервал значений находится в диапазоне $[0; Hi + Hj]$. При наличии полной связи, т.е. когда $s_i = s_j$ и когда каждому из признаков $v\text{i}(r)$ будет соответствовать определенный признак $v\text{j}(q)$, получаемый по формуле (9):

$$H_{ij} = Hi = Hj \quad (9)$$

В том случае, когда будет выполняться сравнительное условие $H_{ij} = Hi = Hj$, тогда условная энтропия равняется нулю. Из этого следует, что вся получаемая информация о значениях величины признака $v\text{j}$ находится в признаке $v\text{i}$. Если выполняется сравнительное условие $H_{ij} = Hi + Hj$, т.е. при независимости признаков, условная энтропия $H_{j;i}$ будет равняться всей энтропии Hi признака $v\text{j}$. Оценить некоторую часть энтропии любого признака $v\text{i}$, которая будет объясняться значением величины признака, позволяет следующее формульное выражение (10):

$$H_i - H_{j;i} = H_i + H_j - H_{ij} = H_i + H_{i;j} = h_{ij} \quad (10)$$

Значение относительно частного коэффициента влияния $v\text{i}$ на $v\text{j}$ можно тогда определить как отношение по формуле (11):

$$\frac{h_{ij}}{H_i} \quad (11)$$

Далее выполняем расчет средневзвешенного значения параметра для признака $v\text{i}$ относительно всех прочих признаков, иными словами, для всех *ji*, по формуле (12):

$$\left\{\frac{h_{ij}}{H_{ij}}\right\} = \frac{\sum_{j\neq i} \frac{h_{ij}}{H_{ij}} H_{ij}}{\sum_{j\neq i} H_{ij}} = \frac{\sum_{j\neq i} h_{ij}}{\sum_{j\neq i} H_{ij}} = I_i \quad (12)$$

Получаемая расчетная величина Ii может выступать как мера информативности для признака vi относительно всех остальных признаков. Поэтому, чем выше будет значение Ii, тем большее оценочное значение принимает признак vi, который входит в совокупность весовых значений признаков $v$ji. Признак, который обладает наибольшим значением Ii, и будет являться наиболее значимым.

Выводы

Предложенная технология поддержки принятия решений при проведении диагностирования заболеваний крови будет функционировать на базе разработанной IT-инфраструктуры, обеспечивающей диагностирование клинико-гематологических синдромов. Предлагаемый методологический подход интеллектуально-аналитической обработки имеющихся показателей клинико-гематологических синдромов можно будет использовать и для решения аналитических задач технологического процесса и получения различных и гораздо более точных результатов, в том числе при изучении биомаркеров эндометриоза.

Литература

1. Шопабаева А. Р., Блатов Р. М., Сыдыков С. Б., Жакипбеков К. С., Елшибекова К. М., Информационно-коммуникационные технологии в системе здравоохранения Республики Казахстан: проблемы и перспективы развития //Здравоохранение. 2016. Т. 13. №. 9. С. 6.
2. Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827 «Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.07.2019 г.).
3. Baranenko D., Moskvin A., Povarov V., Sokolova O., Govorov I., Sitkin S., Komlichenko E. Metabolic study of endometriosis biomarkers//European Journal of Clinical Investigation, 2021, Vol. 51, No. Suppl.1, pp. 174–175.
4. Bellazzi R., Zupan B. Predictive data mining in clinical medicine: Current issues and guidelines. International Journal of Medical Informatics. 2008. 77(2). Pp. 81-97.
5. Balyubash V. A., Alyoshichev S. E., Pashkova E. A., Ivanov V. L. Specificities of control over multifactorial objects in food production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 826. pp. 012012.
6. Sen I., Khandelwal K. Data Mining in Healthcare. Project: RSC Market Analysis. 2018.

7. Iavindrasana J., Cohen G., Depeursinge A., Miller H., Meyer R., Geissbuhler A. Clinical Data Mining: a Review. Methods of Information in Medicine. 2009.
8. Wagholikar K., Sundararajan V., Deshpande A., Modeling Paradigms for Medical Diagnostic Decision Support: A Survey and Future Directions Journal of Medical Systems. 2011. 36(5):3029-49.
9. Golovachyova V., Kogay G., Ten T. Construction of expert knowledge monitoring and assessment system based on integral method of knowledge evaluation // International journal of environmental and science education. Volume 11 issue 9. 2016.

Совершенствование управления фармацевтическим биореактором

Иванов В. Л. [1], Пашкова Е. А. [1], Пестриков С. В. [2], Столбов М. Б. [1], Юдина А. В.[1]

1 – Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Закрытое акционерное общество «Биокад», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В работе рассмотрены проблемы ключевого этапа производства моноклональных антител (МКА) – культивирование в лабораторном биореакторе, описаны особенности управления процессом культивирования МКА. Описаны задачи, стоящие перед разработчиками автоматизированных систем управления биореакторами. Целью работы являлся поиск путей повышения качества и экономической эффективности производства МКА. В результате анализа процесса ферментирования МКА выявлены основные возмущающие параметры и предложен способ стабилизации контролируемых параметров путем внедрения многоконтурной системы автоматизированного управления. Применение двухконтурных систем автоматического регулирования способно обеспечить повышение качественных показателей систем управления в объектах биотехнологических производств. Двухконтурную систему автоматического регулирования целесообразно применять в том случае, когда регулируемый объект подвергается частым возмущающим воздействиям со стороны регулирующего органа и имеется параметр с малой инерционностью. При этом внутренний контур регулирования подавляет возникающие внутренние возмущения, обусловленные спецификой самого технологического процесса, а внешний контур реагирует на возмущающие воздействия, поступающие извне.

Ключевые слова
Биореактор, моноклональные антитела, автоматизированная система управления, многофакторные объекты, многоконтурные системы.

Одним из перспективных и динамично развивающихся направлений фармацевтической биотехнологии является производство моноклональных антител. Моноклональные антитела на сегодняшний день являются

высоко востребованным и незаменимым биотехнологическим продуктом, они используются в биохимии, молекулярной биологии и медицине [1].

Моноклональные антитела - антитела, вырабатываемые иммунными клетками, принадлежащими к одному клеточному клону, то есть произошедшими из одной клетки-предшественницы. МКА могут быть выработаны против почти любого природного антигена, который антитело будет специфически связывать. Они могут быть далее использованы для обнаружения этого вещества или его очистки. Специфичность моноклональных антител позволяет им связывать раковые клетки и, взаимодействуя с цитотоксическими агентами, такими как сильные радиоактивы, разрушать раковые клетки, не повреждая здоровые. Это свойство делает их незаменимым инструментом для лечения онкологических заболеваний. Способ получения моноклональных антител был изобретён Жоржем Кёлером и Сезаром Мильштейном в 1970-х годах [2]. За это изобретение в 1984 году они получили Нобелевскую премию по физиологии.

Безусловно, сложнейшим этапом процесса производства МКА, с точки зрения управления, является ферментация в биореакторе. В большинстве случаев от конструкции биореактора зависит техническое и экономическое исполнение процесса [3]. Биореактор представляет собой емкость, в которой осуществляется биологическая реакция или превращение, его основная функция – обеспечение оптимальных внешних условий для достижения максимальной эффективности процесса в биологической системе. Наиболее часто для культивирования МКА применяются емкостные реакторы периодического действия с механическим перемешиванием и барботажем.

В биореакторе необходимо поддерживать определенные значения параметров среды: температуры, pH, солевого состава, уровней O_2 и CO_2. Точное регулирование параметров позволяет добиться снижения концентрации токсичных для клеток побочных продуктов (молочной кислоты, аммиака), более плавного расхода питательных веществ, и в итоге более высокого выхода продукта. Наиболее важные контролируемые параметры [4]:

Температура. Температура поддерживается постоянной с помощью тепловой рубашки в стенке биореактора. Теплоносителем может быть вода или спирт. Измерения температуры проводятся при помощи термометров сопротивления, также могут использоваться термопары. Температурный сдвиг на разных фазах процесса составляет от 37 ° С до 34 °С.

Растворенный кислород. Растворенный в культуральной среде кислород контролируется в пределах уставки от 20 до 50% от состояния

насыщения. Степень насыщения среды кислородом — отношение содержания кислорода в жидкости к ее кислородной емкости. Недостаточные концентрации растворенного кислорода могут привести к избыточному синтезу лактата (молочной кислоты), а чрезмерно высокие концентрации растворенного кислорода приводят к цитотоксичности (токсическое действие на клетки).

pH. Так как даже небольшое отклонение в 0,1 единицы от оптимального значения pH может значительно повлиять на рост культуры и обмен веществ, pH является важной переменной для измерения и контроля. Клеточная культуральная среда содержит бикарбонат натрия в качестве буферного агента, а pH жестко контролируется посредством барботирования CO_2 при необходимости уменьшить значение pH и добавления основания (гидроксида натрия или калия), чтобы увеличить.

Растворенный CO_2 в большинстве случаев измеряется с помощью автономных газоанализаторов, в использовании стационарных датчиков нет необходимости, так как возможно поддерживать требуемое значение CO_2 в биореакторе конкретного объема, правильно подобрав конструкцию барботера, скорость перемешивания и скорость подачи газа. Так как добавление CO_2 в реактор является инструментом контроля pH, его содержание в среде изменяется в достаточно широких пределах. Основное требование к системе контроля – значения парциального давления CO_2 не должны превышать ингибирующего порога в 120–150 мм. рт. ст. выше которого он негативно влияют на характеристики продукта.

Скорость перемешивания. Для культивирования в динамическом режиме необходим гомогенный режим перемешивания, чтобы избежать градиентов температуры и pH, повышенных концентраций субстрата и продуктов в застойных зонах реактора. В реакторах смешения перемешивание чаще всего осуществляется лопастными мешалками при низких скоростях, что позволяет избегать механических повреждений клеток. Ситуация, когда клетки распределены по всему объёму жидкой питательной среды, выравнивает условия роста в различных частях рабочей ёмкости. Наиболее часто в производстве применяется глубинное выращивание в ферментёре с принудительной аэрацией и перемешиванием.

Таким образом, система управления биореактором должна решать задачу поддержания оптимальных для воспроизведения клеток и синтеза целевого продукта значений параметров по всему объему культуральной среды. Чтобы соответствовать современным требованиям биотехнологической промышленности, необходимо обеспечить возможность интеграции АСУ ТП в единую систему диспетчерского управления и сбора данных (SCADA).

В работе [5] рассмотрена автоматизированная система управления (АСУ) биореактором, применяемая в отделе исследований и развития ЗАО «Биокад» (рис. 1).

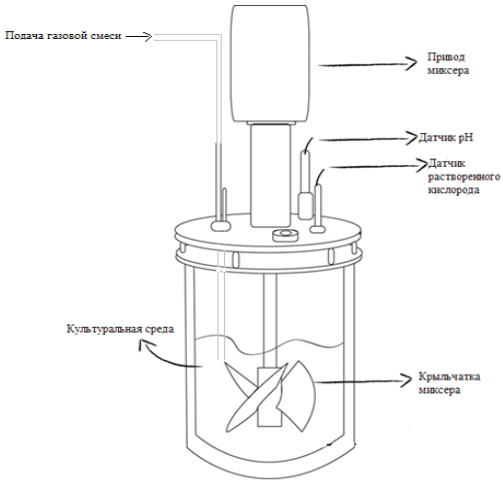


Рис. 1. Лабораторный биореактор

Программно-технический комплекс для культивирования МКА в лабораторном биореакторе состоит из следующих основных элементов: настольный стеклянный биореактор с тепловой рубашкой, миксером, датчиками и портом для ввода газовой смеси; привод миксера; насосная станция, включающая в себя 3 перистальтических насоса, их драйверы и источники питания; устройство термостатирования; блок управления (контроллер).

Данный комплекс применяется для отработки методик получения биотехнологической продукции и проведения медико-биологических научных исследований в области клеточных технологий.

Технологическая схема процесса получения МКА приведена на рисунке 2.

В комплексе используется стеклянный двустенный биореактор объемом 3 литра, с портами для датчиков pH и растворенного кислорода. Для термостатирования культуральной среды в биореакторе полость между стенками (тепловая рубашка) шлангом соединена со стальной ванной циркуляционного термостата, который обеспечивает поддержание температурного режима. Для создания необходимых для клеточной культуры условий в биореактор подаются газы – азот, кислород, угле-

кислый газ. Дозирование подаваемых газов осуществляется при помощи перистальтических насосов. Управление системой в нормальном режиме работы осуществляется при помощи SCADA, оператор выбирает одну из разработанных по технологическому заданию технологов программ-рецептов, задающих комплексу значения уставок регулируемых параметров, скорости вращения миксера и время проведения процесса.

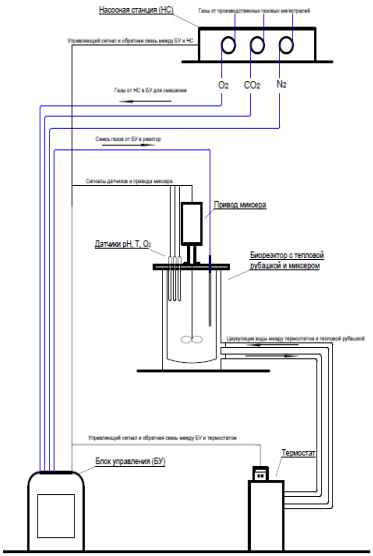


Рис. 2. Технологическая схема процесса

Для разных целевых продуктов значения будут несколько различаться. При культивировании нового вида моноклональных антител пишется новая программа-рецепт.

Биореактор является типичным многофакторным объектом управления. Для повышения качества процесса получения МКА можно применить двухконтурную схему, предложенную в работах [6-8] для биореакторов пищевых производств. Повышение качественных показателей переходных процессов регулирования в этом случае обеспечивается снижением времени запаздывания по каналам систем регулирования и повышением уровня регулирующих воздействий при совмещении каналов управления, взаимосвязанных с выходными параметрами объекта.

В многоконтурной системе управления внесение управляющих воздействий происходит по аппаратурно-технологическим каналам процесса производства МКА. В эксплуатационном режиме работы биореактора снижение времени запаздывания может быть обеспечено путем предвычисления ожидаемого возмущения. Тем самым будет обеспечено более точное поддержание контролируемых параметров. Для повышения коэффициента передачи управляющего воздействия предлагается использовать суммированное воздействие аппаратурно-технологических каналов системы.

При возникновении неуправляемых ступенчатых возмущающих воздействий используется суммарное воздействие с параллельно-последовательным внесением управляющих воздействий. Такой способ внесения управляющих воздействий, учитывая сложные по форме возмущения, обеспечивает оперативную стабилизацию контролируемых параметров биореактора. Экономическая эффективность предлагаемых технических решений в биотехнологической промышленности обоснована в работе [9].

Выводы

В работе рассмотрена задача управления биореактором в биотехнологической промышленности и сформулированы требования к автоматизированной системе управления процессом культивирования моноклональных антител. Приведено описание и технологическая схема лабораторного программно-технологического комплекса, используемого для культивирования МКА. Предложен способ повышения качества и экономической эффективности производства МКА путем введения дополнительных контуров управления. Принятая структурная схема обеспечивает режим работы каналов управления в технологически и аппаратурно-рекомендованных пределах.

Литература

1. Riechmann L, Clark M, Waldmann H, Winter G. *Reshaping human antibodies for therapy.* Nature 1988. 332:323–7.
2. Kohler G, Milstein C. *Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity.* Nature. 1975. 256:495–7.
3. Сафаров Р. Р. О., Математическое моделирование половолоконного мембранного биореактора для культивирования клеток млекопитающих. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. таук, – Москва.: РХТУим. Д. И. Менделеева, 2016. 11 с.
4. «Cell culture processes for monoclonal antibody production», Feng Li, Natarajan Vijayasankaran, Amy (Yijuan) Shen, Robert Kiss &Ashraf AmanullahGenentech, mAbs, 2:5, Pp. 466–479.

5. Пестриков С. В. Постановки задачи управления биореактором современной биотехнологической промышленности // Альманах научных работ молодых учёных XLIX научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. 2020. Том 1. С. 207–212.
6. Балюбаш В. А., Алёшичев С. Е. Формирование многоканальной системы стабилизации влажности сливочного масла // Сыроделие и маслоделие. 2007. № 2. С. 45–46.
7. Пат. 2497355 Российская Федерация, МПК, A01J 15/00. Способ стабилизации влажности сливочного масла при его производстве в маслоизготовителях непрерывного действия / АлёшичевС.Е., Балюбаш В.А., Ересько Г. А., Майборода Ю. В.; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31. – 6 с.: ил.
8. Балюбаш В. А., Алёшичев С. Е., Травина Е. А., Иванов В. Л. Особенности управления многофакторными объектами пищевых производств // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Том 9. № 1В. С. 840–848.
9. Иванов В. Л., Поляков Р. И., Травина Е. А. Проблемы и экономическая эффективность автоматизации контроля качества продукции на предприятиях пищевой отрасли // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Том 9. № 1А. С. 121–134.

Двухферментная биосенсорная система для определения лактозы в молочных продуктах

Шавронская Д. О., Гриценко М. М., Назарова Е. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
На сегодняшний день наблюдается повышенный интерес к применению биосенсоров в пищевой промышленности для оценки качества продукции. В данной работе раскрывается принцип создания оптической сенсорной системы для определения лактозы на основе реакций ферментов β-галактозидазы и глюкозооксидазы, иммобилизованных в матрицу диоксида титана, образующего окрашенный пероксокомплекс. По изменению цвета матрицы можно судить о количественном содержании молочного сахара в образце. Рассматриваемый подход к определению лактозы в молочных продуктах относится к экспресс-методам анализа и отличается простотой применения в производственной практике и относительной экономичностью.

Ключевые слова
Диоксид титана, биосенсор, β-галактозидаза, глюкозооксидаза, иммобилизация ферментов, лактоза.

В последние годы отмечается высокий спрос на разработку новых способов контроля качества и свежести пищевых продуктов как среди производителей, так и покупателей продукции. В настоящее время определение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей производится с помощью широкого спектра различных традиционных методов анализа. Биосенсоры представляют собой один из альтернативных подходов, позволяющих получить высокоточный результат за короткий промежуток времени без применения специальных навыков. При разработке большое внимание уделяется чувствительности и селективности биосенсора, так как пищевые продукты представляют собой сложные системы, в которых анализируется один или несколько компонентов.

В пищевой промышленности данные сенсорные системы могут применяться для детектирования и количественного определения ионов (металлов, галогенов), газов (диоксида углерода, кислорода, аммиака), малых молекул (антибиотиков, витаминов, гормонов, пестицидов),

больших биомолекул (токсинов, ферментов, ДНК и РНК, различных аллергенов), микроорганизмов, клеток и т.д. Использование биосенсоров позволяет производить не только быстрый качественный или количественный анализ, но и отслеживать динамику процесса в режиме реального времени [1].

Биосенсоры представляют собой устройства, которые могут использоваться в качестве самостоятельной единицы или являться частью более сложного оборудования [2]. Принцип работы биосенсоров основан на различных реакциях, имеющих биологическую природу и включающих в себя взаимодействие антиген/антитело, фермент/субстрат/кофактор, лиганд/рецептор, гибридизацию нуклеиновых кислот, химическую реакцию или иммобилизацию клеток, сигнал от которых преобразуется в оптический, электрохимический, пьезоэлектрический или термический отклик [3]. Обработка полученных данных производится визуально, с помощью смартфона, портативного аналитического устройства или лабораторного оборудования [1].

Иммобилизация ферментов физическими и химическими методами в матрицы различной природы служит одним из подходов к созданию биосенсоров. В отличие от традиционного ферментативного анализа процесс энтрапирования в матрицу позволяет повысить устойчивость ферментов к действию факторов окружающей среды, расширить диапазон pH и температур, в которых ферменты сохраняют свою активность, а главное сократить трудоемкость проведения анализа.

Для создания неорганических матриц могут быть использованы наноматериалы в виде нанотрубок, наночастиц, наностержней, нанопроволок и др. [4]. Среди оксидов металлов широкое применение нашел диоксид титана (TiO_2), обладающий хорошей биосовместимостью и сравнительно небольшой стоимостью [5]. Он был использован в качестве носителя в виде нанотрубок для иммобилизации глюкозооксидазы [5]; наночастиц для пенициллин-амидазы [6], глюкозооксидазы и пероксидазы [7]; пористых матриц для энтрапирования глутаматдегидрогеназы [8].

Одним из перспективных способов синтеза наноструктурированного диоксида титана является золь-гель метод, включающий гидролиз прекурсоров титана с последующей поликонденсацией [9]. На данный момент в области современной энзимологии не решен ряд вопросов по адаптированию методик золь-гель синтеза неорганических матриц для энтрапирования ферментов в условиях, оптимальных для биомолекул.

В данной работе проводится изучение механизма совместной иммобилизации β-галактозидазы (КФ 3.2.1.23, лактазы) и глюкозооксидазы (КФ 1.1.3.4) в матрицу диоксида титана для создания биосенсора,

направленного на количественное определение лактозы. Лактоза (молочный сахар) является составной частью молока, которое обладает высокой биологической и пищевой ценностью. Гидролиз лактозы в организме человека осуществляется под воздействием лактазы, которая экспрессируется в энтероцитах тонкого кишечника. Лактазная недостаточность – врожденное или приобретенное состояние, которое характеризуется снижением или отсутствием выработки фермента клетками и сопровождается появлением клинических симптомов: диареи, повышенного газообразования и болевого синдрома. Молоко, в свою очередь, является важной составной частью питания детей и взрослых. Следовательно, актуален вопрос производства низколактозной и безлактозной продукции, который в настоящее время решается путем проведения ферментативной реакции с использованием β-галактозидазы (снижение содержания лактозы до 0,1%) или путем ультрафильтрации (конечная концентрация лактозы - 0,01%).

Концепция работы сенсора по определению остаточного количества лактозы основана на каскаде ферментативных реакций: производится гидролиз лактозы под действием β-галактозидазы до галактозы и глюкозы с последующим окислением глюкозы в присутствии глюкозооксидазы до глюконовой кислоты и пероксида водорода. Выделившийся пероксид водорода вступает в реакцию с диоксидом титана с образованием пероксокомплекса желтого цвета (рисунок). Новизной предлагаемого подхода является объединение в одной системе процессов биокатализа и проявления окрашивания без использования хромогена.

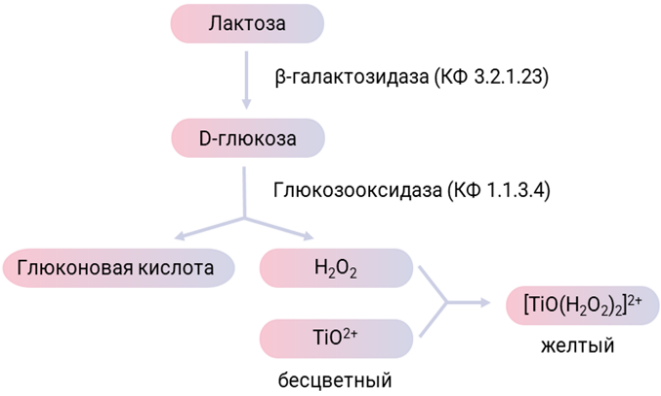


Рис. 1. Каскад ферментативных реакций, лежащий в основе принципа работы разрабатываемого биосенсора

Коллективом авторов на данный момент разработан оптический сенсор, определяющий наличие пероксида водорода в молоке. Основная цель исследования заключалась в создании однородных воспроизводимых чувствительных пленок на основе гелей TiO_2, способных реагировать с перекисью водорода, а также количественно определять ее содержание [10].

Создание биокаталитической сенсорной системы проводится в два этапа: получение гелей диоксида титана с оптимальным значением pH и введение ферментов в матрицу TiO_2. Изготовление образцов гелевых композиций на основе диоксида титана осуществляется с помощью золь-гель метода по известной методике [9] с последующей диализной очисткой. Далее производится энтрапирование β-галактозидазы и глюкозооксидазы в полученную матрицу. Индикатор представляет собой тест-полоску с чувствительной зоной. На данный момент нанесение чувствительного слоя на подложку производится в ручном режиме с использованием шаблона. В дальнейшем планируется использовать технологии струйной печати или 3D принтинга, в зависимости от реологических характеристик композиции. Оценка интенсивности проявления цветной реакции осуществляется путем снятия спектров отражения с поверхности индикатора на приставке VideoBarrelino к спектрофотометру Aglient Cary 60, представляющую собой оптоволоконную консоль для измерения диффузного отражения.

В ближайшей перспективе планируется проверить чувствительность, селективность и воспроизводимость полученного оптического биосенсора.

Работа выполнена в рамках научного проекта № 21-76-00034 при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Литература

1. Yang T., Duncan T.V. Challenges and potential solutions for nanosensors intended for use with foods // Nat. Nanotechnol. 2021. № 16 (3). С. 251–265.
2. Terry L. A., White S. F., Tigwell L. J. The application of biosensors to fresh produce and the wider food industry // Journal of agricultural and food chemistry. 2015. № 53 (5). С. 1309–1316.
3. Thakur M. S., Ragavan K. V. Biosensors in food processing // Journal of food science and technology. 2013. № 50 (4). С. 625–641.
4. Pérez-López B., Merkoçi A. Nanomaterials based biosensors for food analysis applications // Trends in Food Science & Technology. 2011.№ 22 (11). С. 625–639.

5. Wang W., Xie Y., Wang Y., Du H., Xia C., Tian F. Glucose biosensor based on glucose oxidase immobilized on unhybridized titanium dioxide nanotube arrays // Microchimica Acta. 2014. № 181 (3–4). С. 381–387.
6. Wang X., Chen Z., Li K., Wei X., Chen Z., Ruso J.M., Liu Z. The study of titanium dioxide modification by glutaraldehyde and its application of immobilized penicillin acylase // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2019. № 560. С. 298–305.
7. Viticoli M., Curulli A., Cusma A., Kaciulis S., Nunziante S., Pandolfi L., Padeletti G. Third-generation biosensors based on TiO2 nanostructured films // Materials Science and Engineering: C. 2006. № 26 (5-7). С. 947–951.
8. Doong R., Shih H. Glutamate optical biosensor based on the immobilization of glutamate dehydrogenase in titanium dioxide sol–gel matrix // Biosensors and Bioelectronics. 2006. № 22 (2). С. 185–191.
9. Safaryan S. M., Yakovlev A. V., Vinogradov A. V., Vinogradov V. V. Inkjet printing of the chromogen free oxidase based optical biosensors // Sensors and Actuators B: Chemical. 2017. № 251. С. 746–752.
10. Gritsenko M. M., Nazarova E. A., Krivoshapkina E. F. A sensor based on titanium dioxide gel for the determination of hydrogen peroxide in the dairy products // Book of abstracts of XII International conference on chemistry for young scientists "Mendeleev 2021". 2021. С. 391.

Фенольные соединения семян подсолнечника

Крылова И. В. [1], Доморощенкова М. Л. [1], Баракова Н. В. [2]

1 – *ВНИИ Жиров,*
г. Санкт-Петербург, Россия,
2 – *Университет ИТМО,*
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Подсолнечник - сельскохозяйственная культура мирового значения и источник ценного белка. Использование этого белка ограничено наличием в семенах подсолнечника фенольных соединений, главным образом хлорогеновой кислоты. Изучение свойств фенольных соединений подсолнечника, их содержание в продуктах переработки подсолнечника, способов количественного определения и извлечения являются важными задачами, решение которых в дальнейшем позволит более эффективно либо удалять фенольные соединения, либо использовать их с учетом полезных антиоксидантных свойств. В статье приведен обзор российских и зарубежных исследований, посвященных изучению свойств фенольных соединений подсолнечника и их взаимодействию с белками продуктов переработки подсолнечника.

Ключевые слова
Подсолнечник, шрот, фенольные соединения, хлорогеновая кислота, антиоксиданты.

Подсолнечник (Helianthus annuus L.) – ценная сельскохозяйственная культура мирового значения. Производство масла подсолнечника в 2020–2021 гг. составило 18,9 млн т, или 7,9% мирового производства растительных масел - 4 место после пальмового (32,0%), соевого (25,1%) и рапсового масла (10,8%) [1]. Подсолнечник является основной масличной культурой, возделываемой в России. Посевные площади под подсолнечником в России в 2021 году достигли 9 643,5 тыс. га, а ожидаемый валовый сбор – 15,1-15,5 млн тонн [2], при этом основная масса семян перерабатывается на масло и кормовые жмыхи и шроты, а пищевое направление сводится в основном к фасовке семечек для розничной реализации и использованию продуктов, полученных из очищенного ядра семян, в кондитерской и хлебопекарной промышленности. При этом в семенах подсолнечника содержится 15–25% ценного белка со сбалансированым аминокислотным составом [3]. Поэтому це-

лесообразно говорить о разработке технологии извлечения белка из семян подсолнечника, но этому препятствует повышенное содержание сырой клетчатки в шротах и жмыхах подсолнечника [4, 5], а также наличие фенольных соединений [6, 7]. Наличие фенольных соединений - основное ограничение для применения белков подсолнечника в пищевых продуктах, так как при переработке они снижают качество белка.

Фенольные соединения - большая группа биологически активных веществ, широко распространенных в природе. Эти вещества нетоксичны или относительно безвредны для человека. Кроме того, большинство из них являются антиоксидантами за счет связывания свободных радикалов и ионов тяжелых металлов. К фенольным соединениям растительного сырья относятся производные оксибензойной кислоты (п-оксибензойная, протокатеховая, ванилиновая, галловая и сиреневая), производные оксикоричной кислоты (п-кумаровая, кофейная, ферруловая и синаповая), сложные эфиры оксикоричных и гидроароматических кислот (хлорогеновая кислота), полимерные соединения (эллаговая кислота) [8].

Всего в подсолнечнике обнаружено более 10 фенольных соединений, в том числе изомеры хлорогеновой кислоты: псевдо-, нео- и изохлорогеновая, а также кофейная, коричная, кумаровая, феруловая, синаповая кислоты и следы ванилиновой и оксибензойной кислот. В большинстве видов растительного сырья из фенольных соединений чаще всего встречаются хлорогеновая и кофейная кислоты. Хлорогеновая кислота впервые была обнаружена в семенах подсолнечника А. С. Фаминцыным в 1893 году. В семенах подсолнечника она составляет до 70% всех фенольных соединений, в сухом обезжиренном веществе семян ее концентрация может варьировать в диапазоне 0,58–4,50%, в зависимости от сорта подсолнечника, а также географической широты и метеорологических условий его выращивания и продолжительности хранения после уборки [9, 10]. Основное количество хлорогеновой кислоты находится в ядре, а в масле и лузге семян подсолнечника присутствуют только следовые количества [11].

Хлорогеновая кислота образует с белком ковалентные связи, количество которых зависит от соотношения белок: хлорогеновая кислота, при этом образуются новые связи между полипептидными цепями, нарушаются вторичные структуры белка, такие как α-спирали и β-складчатость, что приводит и к изменению третичной структуры белка. В результате происходит окисление хлорогеновой кислоты и образуются темноокрашенные комплексы хлорогеновой кислоты с белком, снижающие потребительские качества пищевого продукта [12].

Окисление хлорогеновой кислоты может быть также ферментативным, при этом фермент полифенолоксидаза, присутствующая в семенах

подсолнечника, окисляет хлорогеновую кислоту до хинона. Хлорогеновая кислота становится доступной для окисления полифенолоксидазой, когда высвобождается в цитозоль клетки при ее повреждении. Это происходит во время очистки семян от лузги, при прессовании, применении растворителей, воздействии ферментов. Оптимальным pH для полифенолоксидазы подсолнечника является pH 7,9 [13].

Таким образом, в щелочных растворах белок подсолнечника образует темно-зеленую, вплоть до коричневой, окраску в результате окисления соэкстрагированных полифенольных соединений. После осаждения белка при pH 4,7 зеленое окрашивание уже не может быть удалено из белкового изолята [13]. Цвет белка после взаимодействия с фенольными соединениями (например, во время выпечки изделий) становится темно-зеленым и достигает наибольшей интенсивности после хранения при комнатной температуре в течение 36 часов, после чего цвет уже не меняется [14]. Взаимодействие белка с фенольными соединениями приводит не только к изменению цвета, но и к снижению питательности и функциональных свойств [10, 13]. Например, их воздействие на ε-аминогруппы лизина и тиоэфирные группы метионина снижает атакуемость белка пищеварительными ферментами, ухудшая его кормовую и пищевую ценность [12].

Удалять фенольные соединения из продуктов переработки подсолнечника (очищенных семян, шрота, жмыха) можно на разных стадиях технологического процесса. Перед экстракцией белка из подсолнечного шрота их извлекают органическими, водными растворителями или их смесями. Во время экстракции белка можно предотвратить окисление фенольных соединений за счет использования вакуума, инертных газов или антиоксидантов, но эти методы мало применимы в промышленных масштабах. Также для предотвращения окисления хлорогеновой кислоты можно проводить экстракцию белка не в щелочной, а в слабокислой среде (pH ~ 6) с добавлением хлорида натрия, но такие условия не являются оптимальными для получения белка. Удаление фенольных соединений уже после экстракции белка, например с помощью мембранной фильтрации, затруднено из-за образования ковалентных связей с белком [15].

Полагаем, что целесообразно удалять фенольные соединения из шрота до извлечения белка, не допуская их окисления и взаимодействия с белковыми соединениями. Экстрагирование фенольных соединений из растительного сырья зависит от типа и полярности растворителя, размера частиц, соотношения образец: растворитель, времени и температуры процесса экстрагирования. Чаще всего для извлечения фенольных соединений используют водные растворы этилового спирта, при этом

максимально сохраняется питательная ценность белка. Для интенсификации извлечения фенольных соединений может использоваться воздействие ультразвука [7, 16]. При извлечении фенольных соединений повышаются гидрофобные свойства белка, что вызвано изменениями конформации белковых молекул. В результате на поверхности белка оказываются гидрофобные участки, что приводит к изменению функциональных свойств белка, например повышению его эмульгирующих свойств [17].

Помимо удаления фенольных веществ из продуктов переработки подсолнечника, перспективно их целевое извлечение для дальнейшего использования, в основном в качестве антиоксидантов. Фенольные соединения относятся к биологически активным веществам и обладают широким спектром действия, эффективны против аллергии, вирусного воздействия и воспалительных процессов. Добавление фенольных соединений в пищевые продукты снижает риск заболеваний, вызываемых свободными радикалами. Достаточное количество антиоксидантов в питании снижает риск развития опухолей, уровень холестерина, предотвращает возникновение заболеваний желудочно-кишечного тракта, кожи и органов дыхания [21, 22]. В частности, хлорогеновая кислота является стимулятором центральной нервной системы, обладает кофеиноподобным, но более слабым действием, усиливает интенсивность белкового обмена в мозговой ткани. Она ингибирует всасывание глюкозы в организме, способствует регулированию уровня сахара в крови. способствует поддержанию тонуса кровеносных сосудов [11].

На всех этапах выделения фенольных веществ из продуктов переработки подсолнечника важно определять их содержание как в полученном экстракте, так и в исходном сырье. Известны методы качественного определения хлорогеновой кислоты с использованием тонкослойной и бумажной хроматографии [11]. Данные методы используются для определения подлинности растительного сырья. Чаще всего полифенольные компоненты растительного сырья, в том числе хлорогеновую кислоту, определяют методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [17]. Этот метод дает возможность одновременного обнаружения различных видов фенольных соединений, характеризуется низкими пределами обнаружения [11]. Известен аналитический метод определения общего содержания фенольных соединений, основанный на использовании реактива Фолина-Чокалте и галловой кислоты как стандартного раствора. Количество фенольных соединений определяют по изменению оптической плотности при 285 нм и 320 нм, что соответствует максимумам поглощения растворов хлорогеновой кислоты. Содержание хлорогеновой кислоты при этом определяют спектрофотометриче-

ски [18]. К сожалению, аналитические процедуры экстракции фенольных соединений и используемые длины волн у разных исследователей отличаются, что затрудняет сравнение полученных результатов [8, 19, 20, 21].

В настоящее время можно выделить следующие задачи применительно к применению продуктов переработки подсолнечника:

- разработка и апробация унифицированного метода количественного определения фенольных соединений - для оценки качества как сырья для получения белка, так и готового продукта;
- мониторинг концентрации фенольных соединений на разных стадиях переработки подсолнечника;
- разработка способов удаления или целевого извлечения фенольных соединений из семян подсолнечника и продуктов переработки.

Решение этих задач позволит не только повысить степень комплексной переработки семян подсолнечника, но и получить качественный высококонцентрированный белок подсолнечника светлой окраски для использования в пищевых целях.

Литература

1. Oil World Annual// Chapter 3: 17 Oils & Fats. 2021. №4. С. 13–23.
2. Доморощенкова М. Л., Демьяненко Т. Ф., Крылова И. В., Камышева И. М., Белковый потенциал семян подсолнечника. Исследования процессов получения пищевых белков из подсолнечного шрота // Вестник ВНИИЖ. 2020. №1–2. С. 24–29.
3. Доморощенкова М. Л., Демьяненко Т. Ф., Крылова И. В., Перспективы получения белков из подсолнечного шрота Масла и жиры. – 2016. №5–6. С. 22–23.
4. Доморощенкова М. Л., Крылова И. В., Кандроков Р. Х. Исследование продуктов переработки подсолнечного шрота и жмыха, полученных механическим способом // Вестник ВНИИЖ. 2020. № 1–2. С. 30–36.
5. Доморощенкова М. Л., Крылова И. В., Керв Ю. А., Исследование содержания нейтрально-детергентной и кислотно-детергентной клетчатки в продуктах фракционирования подсолнечного шрота // Вестник ВНИИЖ. – 2017. – № 1–2. – С. 59–61.
6. Guo S., Ge Y. Jom K.N., A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (Helianthus annuus L.) // Chemistry Central Journal. 2017. №11. С. 95–105.
7. Cisneros-Yupanqui M., Chalova V. I., Kalaydziev H. R., Mihailova D., Preliminary characterisation of wastes generated from the rapeseed

and sunflower protein isolation process and their valorisation in delaying oil oxidation // Food and Bioprocess Technology. 2011. №14. С. 1962–1971.
8. Моисеев Д. В., Определение фенольных кислот в растениях методом ВЭЖХ // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 171–174.
9. Лобанов В. Г., Стрыгина М. В., Фенольный комплекс семян подсолнечника // Известия вузов. Пищевая технология. 2004. №1. С. 41–43.
10. Шаповалова И. Е., Федякина З. П, Демидов И. Н., Матвеева Т. В., Обоснование получения хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. №63. С. 39–41.
11. Бельтюкова С. В., Бычкова А. А., Люминесцентное определение хлорогеновой кислоты в зернах кофе // Вопросы химии и химической технологии. 2010. №3. С. 53–57.
12. Sosulski F., Organoleptic and nutritional effects of phenolic compounds on oilseed protein products: a review // Journal of the American Oil Chemistry Society. 1979. №56. С. 711–715.
13. Karefyllakis D., Salakou S., Bitter J. H., Goot A. J., Nikiforidis C. V., Covalent bonding of chlorogenic acid induces structural modifications on sunflower proteins // ChemPhysChem. № 19. С. 11–14.
14. Wildermuth S. R., Young E. E., Were L. M., Chlorogenic acid oxidation and it's reaction with sunflower proteins to form green-colored complexes // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2016. –№ 15. С. 829–843.
15. Pickardt C., Hager T., Eisner P., Carle R., Kammerer D. R., Isoelectric protein precipitation from mild-acidic extracts of de-oiled sunflower (Helianthus annuus L.) press cake // European Food Research and Technology. 2011. № 233. С. 31–44.
16. Taha F. S., Mohamed G. F., Mohamed S. H., Kamil M. M., Optimization of the extraction of total phenolic compounds from sunflower meal and evaluation of the bioactivities of chosen extracts // American Journal of Food Technology. 2011. №6. С. 1002–1020.
17. Salgado P. R., Ortiz S. E. M., Petruccelli S., Mauri A. N., Functional food ingredients based on sunflower protein concentrates naturally enriched with antioxidant phenolic compounds // Journal of American Oil Chemistry Society. 2012. №89. С. 825–836.
18. Sastry M. C. S., Subramanian N., Effect of heat processing on phenolic constituents and nutritional quality of sunflower flours // Journal of American Oil Chemistry Society. 1985. –№62. С. 1131–1133.
19. Pomenta J. V., Burns E. E., Factors affecting chlorogenic, quinic and caffeic acid levels in sunflower kernels // Journal of Food Science. 1971. №36. С. 490–492.

20. Артемьев А. И., Баурин Д. В., Гордиенко М. Г., Шакир И. В., Исследование адсорбции фенольных соединений из продуктов переработки растительного сырья // Успехи в химии и химической технологии. 2015. №4. С. 27–29.
21. Akl E. M., Mohamed S. S., Hashem A. I., Taha F. S., Biological activities of phenolic compounds extracted from flaxseed meal // Bulletin of the National Research Centre. 2020. №44. С. 27–35.

Development of the technology of obtaining an extract with antioxidant and coloring effect from grape pomace

Shakiryanova Z. M., Saparbekova A. A., Khegay R., Zinoviyeva D. S

South Kazakhstan University,
Shymkent, Kazakhstan

Annotation
Nowadays using of the viticulture by-products can play key role as natural additive with antioxidant effect for favourable influence of phenols on human health. Also, as an agent to stabilize the color of meat products; however, usage of these additives at high levels could lead to toxicity and cancer originating from the formation of nitrosamines. Currently, application of natural preservatives in order to reduce the nitrite content in meat products is increasing.
Beef and horse sausages are one of the popular foodstuffs, but is vulnerable to microbial contamination, lipid oxidation, color changes and off-odors and flavours during storage. It was important to investigate the effect of grape seeds polyphenols extract on chemical composition, lipid oxidation and microbial growth. No doubt, the effectiveness of application of an extract as natural antioxidant with idea to reduce using nitrite and other additives to processed meat basically beef and horse sausage it is very economically effective from local winemaking industries and application it in development of new product with improved qualities and with less harm to the health of people.

Keywords
Extract, viticulture, by-products, antioxidant effect, processed meat products.

Ways of preparation extract from viticulture byproducts
Grape (*Vitis vinifera*) is one of the largest fruit crops in the world, with an approximate annual production of 61 million metric tons (FAO STAT Database). The main by-products are collected during destemming (stems), grape crushing, and pressing (skins, seeds, and lees). Grape pomace consists mainly of peels, stems, and seeds and accounts for about 20% of the weight of the grape processed into wine. Recent investigations have stressed the importance of by-products from wine processing as plant materials particularly rich in a wide range of polyphenols. The effect of drying temperature (60, 100, and 140 °C) on the polyphenols' content and antioxidant activity of red grape pomace peels was studied [1].

Although in one of the relevant studies was aim to determine the total phenolic contents and antibacterial effects of grape pomace extracts (cultivars

Emir and Kalecik karasi) against 14 bacteria, and the effects of the extracts on the growth and survival of two of the bacteria during storage. The total phenolic contents of grape pomace of Emir and Kalecik karasi cultivars extracted with acetone/water/acetic acid (90:9.5:0.5) were 68.77 and 96.25 mg GAE g^{-1}, respectively. The agar well diffusion method was used to test the antibacterial activity of the extracts at 1, 2.5, 5, 10 and 20% (w/v) concentrations in methanol on spoilage and pathogenic bacteria including *Aeromonas hydrophila, Bacillus cereus, Enterobacter aerogenes, Enterococcus faecalis, Escherichia coli, Escherichia coli* O157:H7. *Mycobacterium smegmatis, Proteus vulgaris, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens, Salmonella enteritidis, Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Yersinia enterocolitica*. All the bacteria tested were inhibited by extract concentrations of 2.5, 5, 10 and 20%, except for *Y enterocolitica* which was not inhibited by the 2.5% concentration [2, 3].

Agiorgitico red grape pomace by-products were dehydrated by air drying and accelerated solar drying and sequentially extracted by three different extraction methods using water, water: ethanol (1:1) and ethanol as solvents. The methods include microwave assisted (MAE) and ultrasound assisted extraction (UAE) and the conventional Soxhlet extraction (SE) [4].

Other research evaluated the release of polyphenols, the solubilisation of carbohydrate, and the antioxidant capacity of these grape by-products after enzymatic reaction with carbohydrases (cellulolytic and pectinolytic activities) and tannase for 24 h. The use of tannase in these by-products, and pectinase in grape pomace changed the galloylated form of catechin to its free form, releasing gallic acid and increasing the antioxidant activity. In grape pomace, cellulase treatment was not efficient for phenolic release and antioxidant activity improvement [5]. Also, one of the effective approach extractions in a semi-batch extraction process. Methanol was used as solvent and the raw material studied consisted of skins of the tempranillo grape, which was obtained from the pomace from red wine vinification. The results show large diffusional effects due to strong control from the mass transfer [6].

In contrast to mentioned above methods was proposed new method for grape pomace application in food industries based on the ultrasound-assisted extraction of phenolics compounds. Dehydration of grape pomace is the first step before extraction [7]. Also, was proposed more optimized method of grape pomace application in food industries, based on the microwave-assisted extraction of phenolic compounds followed by their encapsulation by spray drying [8].

Latest research aims to prolong the storage stability of polyphenols, obtained from grape pomace, using a spray drying-based microencapsulation technique. The microcapsules obtained under optimal conditions were stored at two different relative humidities (33% and 52%) during 75 days [9].

Application of extract of the viticulture by-products wit antioxidant effect in processed meat products in Kazakhstan

The consumers in Kazakhstan like meat products for their characteristic sensory properties, while some prefer them for their durability and minimal storage requirements. Microbially, these are highly stable products. However, after an extended storage, another factor comes into play that ultimately causes spoilage of these products, and that is the oxidation of fats. This undesirable tendency in dry meat products is typically protected by the addition of antioxidants. The viticulture by-products can play key role as natural additive with antioxidant effect for favourable influence of phenols on human health.

It is possible to apply knowledge and obtained results in antioxidant activity of extract of grape pomace in appropriate way. One of the proposed methods was use of extract from blue grapes in the manufacturing of dry sausages in Czech Republic. The objective of this study was to evaluate the effect of adding a powdered extract of grapes on the quality of Poličan dry fermented sausages, and Vysočina dry non-fermented sausages. Samples of these meat products were prepared by the Department of Meat Hygiene and Technology, University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences in Brno [10].

Beef sausage is one of the popular foodstuffs, however, is vulnerable to microbial contamination, lipid oxidation, color changes and off-odors and flavours during storage. It was important to investigate the effect of grape seeds polyphenols extract (GPE) on chemical composition, lipid oxidation and microbial growth in raw beef sausage which was made with (0.01%) or without nitrite during frozen storage at -18°C for 3 months. GPE was added by 0.02 and 0.04% to beef sausage during making sausage [11].

Moreover, fruit pigments have always incorporated the natural pigments of fruits, vegetables and spices into their dietary requirements. Naturally occurring red pigments in plants are carotenoids, anthocyanins and betacyanins. Natural pigments, apart from colour, provide added properties and are therefore considered to be bioactive constituents. Red natural colorants are one of the most widely used in the food industry. The interest in these pigments lies in the enhancement of the healthy effects of the diet. In this context, attention is given to carotenoids, anthocyanins and betacyanins, with emphasis on the basic chemical and biochemical attributes and wide-ranging health-promoting benefits of these pigments. Thus, in this review, were systematically present the advantages and limitations of these natural pigments as food colorants in relation to their physico-chemical properties, reactivity and bioactivity [12].

An addition important to underline the effect of different levels of red grape pomace (1 and 2%, w/w) on the color changes, lipid oxidation (TBARS), antioxidant activity, microbial counts, total phenol content and sensory attributes of the sausages formulated with various levels of sodium nitrite (30, 60 and

120 mg/kg). It was found that the addition of grape pomace (1%, w/w) in combination of reduced nitrite levels to the beef sausage samples reduced TBARS content and the degree of lipid oxidation. Antioxidant activity and total phenol contents were further evaluated based on DPPH scavenging activity method. A significant reduction in lightness (L^*) and yellowness (b^*) of systems containing grape pomace was observed, following by an increase in the oxidative stability and the radical scavenging activity. Acceptability of beef sausages was not significantly ($P > 0.05$) affected by the addition of grape pomace and had relatively greater scores from a sensory point of view [13].

In this context sodium nitrite and potassium nitrite have been traditionally used for inhibition of Clostridium botulinum and also as an agent to stabilize the color of meat products; however, usage of these additives at high levels could lead to toxicity and cancer originating from the formation of nitrosamines. Nowadays, application of natural preservatives in order to reduce the nitrite content in meat products is increasing. Moreover, the residual nitrite level declined both during the storage of sausage and after the addition of DRGP. So the use of DRGP in combination with nitrite for sausages was more effective in keeping the quality and safety of the refrigerated consumer products as indicated by the lower nitrite levels, microbial count and similar composition as compared to the samples treated with nitrite and without nitrite [14].

Recent study in Italy was dedicated to evaluation of the sensory and physical properties of meat and fish derivatives containing grape pomace powders [15]. Then was searched the effects of grape seed flour on the physical-chemical properties, microbiological and sensory properties of Turkish dry fermented sausage, sucuk. After the sausages produced with beef, beef fat, sheep tail fat and spices, they were ripened for 14 d. Then they were vacuum-packaged and stored for 80 d at 4°C. It was concluded that grape seed flour has a potential application as an additive in dry fermented sausages [16].

Meanwhile studied fat replacement by vegetal fibres to improve the quality of sausages. Based on the need to find alternatives for the use of meat from non-castrated male pigs that contains high levels of androstenone and skatole, the production of meat products (raw and Frankfurt sausages) with reduced fat content was proposed, as these compounds are lipophilic [17]. Research analyzed dry-fermented pork sausages, from Cinta Senese local breed, were manufactured replacing sodium nitrite (NIT) with two mixtures of natural antioxidants consisting of: i) grape seed extract and olive pomace hydroxytyrosol (GSE); ii) chestnut extract and olive pomace hydroxytyrosol (CHE) [18].

Conclusion

Currently in South Kazakhstan one of the biggest wine industries it is recently opened Chateau Silk Alley which specializing primarily in production of white and red wine such as: Cabernet Sauvignon, Cabernet Fran, Chardonnay, Muscat,

Rkatseteli, Taifi and etc. The capacity of the plant is 3000 tons per season, its capacity base offers a one-time supply of 3 million liters of wine material. Usually, approximate quantity of by-products it is 30 % from whole amount.

Also considering that in the South Kazakhstan region there are about three primary and secondary wine-making plants operating, the following applications of grape pomace are known: 1) using grape pomace as a high-protein feed for cattle; 2) preparing grape vinegar; 3) obtaining alcohol or grape brandy; 4) preparation of nutrient media for growing yeast.

But the consumers in Kazakhstan like meat products for their characteristic sensory properties, while some prefer them for their durability and minimal storage requirements. Microbially, these are highly stable products. However, after an extended storage, another factor comes into play that ultimately causes spoilage of these products, and that is the oxidation of fats. This undesirable tendency in dry meat products is typically protected by the addition of antioxidants. Grape pomace extract can play key role as natural additive with antioxidant effect for favourable influence of phenols on human health. It is possible to apply knowledge and obtained results in antioxidant activity of extract of grape pomace in appropriate way.

In conclusion, assumptions made by many researchers allow us to propose the effectiveness of application of an extract as natural antioxidant with idea to reduce using nitrite and other additives to processed meat basically beef and horse sausage. As a result, we are planning to get extract from grape pomace from local winemaking industries and apply it in development of new product with improved qualities and with less harm to the heath of people.

Literature

1. Murthy, K.N Chidambara, Ravendra P. Singh, and Guddadarangavvanahally K. Jayaprakasha. "Antioxidant activities of grape (Vitis vinifera) pomace extracts." 2002.
2. Özkan, Gülcan, et al. "Antibacterial activities and total phenolic contents of grape pomace extracts." Journal of the Science of Food and Agriculture 84.14. 2004. Pp. 1807–1811.
3. Ruberto, Giuseppe, et al. "Polyphenol constituents and antioxidant activity of grape pomace extracts from five Sicilian red grape cultivars." *Food Chemistry* 100.1 2007. Pp. 203–210.
4. Drosou, Christina, et al. "A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts." *Industrial Crops and Products* 75. 2015. Pp. 141–149.
5. Chamorro, Susana, et al. "Changes in polyphenol and polysaccharide content of grape seed extract and grape pomace after enzymatic treatment." *Food Chemistry* 133.2. 2012. Pp. 308–314.

6. C Mantell, M Rodrıguez, EM de la Ossa. “Semi-batch extraction of anthocyanins from red grape pomace in packed beds: experimental results and process modelling” Chemical Engineering Science, Volume 57, Issue 18, 2002. Pp. 3831–3838.
7. Goula, Athanasia M., Konstantinos Thymiatis, and Kyriakos Kaderides. "Valorization of grape pomace: drying behavior and ultrasound extraction of phenolics." Food and Bioproducts Processing 100. 2016. Pp. 132–144.
8. Tsali, Alexandra, and Athanasia M. Goula. "Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract." *Powder Technology* 340. 2018. Pp. 194–207.
9. Tolun, Aysu, Nevzat Artik, and Zeynep Altintas. "Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract." *Food chemistry* 302. 2020. P. 125347.
10. Saláková, Alena, et al. "The use of extract from blue grapes in the manufacturing of dry sausages." *Maso Internat* 1. 2012. Pp. 39-43.
11. El-Zainy, A. R., et al. "Polyphenols grape seeds extract as antioxidant and antimicrobial in beef sausage." *International Journal of Current Science* 19.2. 2016. Pp.112–121.
12. José A. Fernández-López, Vicente Fernández-Lledó, José M. Angosto “New insights into red plant pigments: more than just natural colorants”. RSC Advances Issue 4. 2020.
13. Riazi, Fatemeh, et al. "Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems." *Meat science* 121. 2016. Pp. 350–358.
14. Riazi, Fatemeh, et al. "Effect of dry red grape pomace as a nitrite substitute on the microbiological and physicochemical properties and residual nitrite of dry-cured sausage." *Nutrition and Food Sciences Research* 3.3. 2016. Pp. 37–44.
15. Kurt, Şükrü. "The effects of grape seed flour on the quality of Turkish dry fermented sausage (sucuk) during ripening and refrigerated storage." *Korean journal for food science of animal resources* 36.3. 2016. P. 300.
16. Mainente, Federica, et al. "Evaluation of the sensory and physical properties of meat and fish derivatives containing grape pomace powders." *International Journal of Food Science & Technology* 54.4. 2019. Pp. 952–958.
17. Egea, Macarena, et al. "Fat Replacement by Vegetal Fibres to Improve the Quality of Sausages Elaborated with Non-Castrated Male Pork." *Animals* 10.10. 2020. P. 1872.
18. Pini, Francesco, et al. "Characterization of the microbial community composition in Italian Cinta Senese sausages dry-fermented with natural extracts as alternatives to sodium nitrite." Food Microbiology 89. 2020. P. 103417.

Обоснование рецептуры и технологии желированного биопродукта, предназначенного для повышения стрессоустойчивости организма

Король С., Мезенова О. Я.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия

Аннотация

Показана актуальность разработки продуктов антистрессовой направленности. Проведен анализ компонентного состава проектируемого биопродукта по типу жевательного мармелада с нейромедиаторными свойствами. В рецептуру биопродукта включены растительные компоненты мяты, стевии и биологически активные олигопептиды – продукты гидролиза рыбной чешуи, обладающие функциональными эффектами. Предложена принципиальная технологическая схема биопродукта на основе эстракта мяты с введением в него желатина и агара, функциональных ингредиентов и глянцеванием поверхности раствором хитозана. Определены органолептические свойства, химический состав и функциональность биопродукта. Разработаны рекомендации по применению биопродукта для укрепления нервной системы.

Ключевые слова

Стресс, жевательный мармелад, нейромедиаторы, мята, гидролизат, рыбная чешуя, функциональные ингредиенты.

На сегодняшний день под словом «стресс» понимают реакцию организма на раздражитель. Система наша работает таким образом, чтобы, несмотря на раздражитель, организм сохранял постоянство внутренней среды. Стресс вызывает в организме ряд различных заболеваний: психических, эндокринных, сердечно-сосудистых, нервных. Употребление продуктов питания, обогащенных биологически активными веществами антистрессовой направленности, повышающих иммунитет, обладающих целевыми физиологическими эффектами, облегчает течение стресса и неврозов [1]. К продуктам антистрессовой направленности относятся такие продукты, которые в своём составе содержат компоненты с доказанным положительным влиянием на работоспособность и функциональность всех систем организма человека [2].

К растительным источникам с названными свойствами относится мята перечная (*Mentha piperita L.*). В листьях, стеблях и цветах содержится эфирное масло с высоким процентом ментола, азулена, флавоноидов, обладающих нейромедиаторными свойствами [3]. Основным

функциональным компонентом мяты перечной является ментол. Механизм развития антистрессового эффекта ментола заключается в стимулировании холодовых рецепторов кожи и слизистых, проявлении антисептических и анестезирующих свойств. При попадании ментола на слизистую запускаются реакции, приводящие к расширению кровеносных сосудов и выработке эндорфинов и энкефалинов, которые проявляют антистрессовый эффект [4-6].

В состав биопродукта антистрессовой направленности были включены в качестве вкусового агента тонкоизмельченная стевия, как натуральный подсластитель, не имеющий калорий. В листьях стевии содержатся дитерпеновые гликозиды, которые придают сладкий вкус, за счёт наличия в составе стевиозида, ребаудиазида, дулказида, стелвиолбиозида. Стевиозиды, кроме сладости, придают молекуле гликозида растворимость, влияют на всасываемость и на активность. В присутствии стевиозидов ускоряется нормализация всех обменных процессов, а именно: белкового, углеводного, жирового, восстанавливается антитоксическая функция печени, снижается уровень свободных радикалов, нормализуется содержание сахара в крови. Дитерпеновые гликозиды регулируют гормональную деятельность и повышают устойчивость организма к неблагоприятным условиям окружающей среды, к токсичным веществам, инфекциям [7].

Ценными биологически активными веществами, содержащимися в стевии, являются функциональные ингредиенты, важные в антистрессовом питании. Это - флавоноиды, витамины А, С и Е, которые обладают иммуномодулирующим и антиоксидантным действием. В стевии содержится эфирное масло, которое включает более 50 различных веществ и оказывает противовоспалительное, мочегонное, противосудорожное и тонизирующее действие на многие органы. Также является источником всех незаменимых аминокислот [8-11].

Основным протеиновым нейромедиатором в проектируемом биопродукте являются пептидные гидролизаты коллагенсодержащего сырья, обладающие биологической активностью. На кафедре пищевой биотехнологии КГТУ из рыбной чешуи получена пищевая добавка «Ихтиоколлагеновый гидролизат», представляющая собой олигопептиды, полученные ферментолизом чешуи сардины и сардинеллы [12]. Установлено, что в данной добавке содержится более 85% пептидов, молекулярная масса которых в 95% случаев менее 10 кДа, что означает наличие у них физиологической активности, обусловленной аминокислотным составом. В наибольшем количестве в добавке содержится глицин, пролин, аланин, аргинин. Глицин является регулятором обмена веществ, нормализует процессы возбуждения и торможения в центральной нервной системе, обладает антистрессорным эффектом, повышает

умственную работоспособность. Аланин - важный источник энергии для головного мозга и центральной нервной системы; укрепляет иммунную систему путем выработки антител; активно участвует в метаболизме сахаров и органических кислот. Аланин может быть сырьем для синтеза глюкозы в организме, что делает его важным источником энергии и регулятором уровня сахара в крови. Аргинин, условно заменимая аминокислота, участвует в выведении из организма конечного азота (продукта распада отработанных белков).

В качестве структурообразователя проектируемой добавки использованы желатин и агар.

Желатин был выбран в состав биопродукта в качестве загустителя животного происхождения, который способствует синтезу собственных коллагеновых тканей, укреплению опорно-двигательного аппарата, связок и сухожилий. Употребление желированных продуктов рекомендуется для улучшения кожи, ногтей, волос, нормализации пищеварения, избавления от страхов, восстановления после активных физических нагрузок. Желатин является главным источником редкой аминокислоты – глицина.

Для повышения прочности структуры желированного продукта рекомендуется использовать комплексный структурообразователь, включающий желатин белковой природы, несущий положительный заряд, и агар - полисахарид углеводной природы с преобладающим отрицательным зарядом. Их взаимодействие в пищевой системе основано на образовании ионных, ковалентных и водородных связей, в результате чего формируется устойчивая полимерная сетка, внутри которой располагаются биологически активные вещества (олигопептиды, компоненты стевии и мяты).

Для предотвращения усушки желированного биопродукта предлагается покрыть его тонкой пленкой биополимера хитозана в растворе лимонной кислоты в качестве глазирователя. Эта операция позволяет повысить барьерные свойства продукта, защитить от воздействия внешних факторов, создать привлекательный внешний вид, продлить срок годности продукта.

В ряду природных пищевых полимеров хитозан является уникальным компонентом, обладающим биосовместимостью, нетоксичностью, биодеградируемостью. В связи с растворением его в пищевых кислотах последние привносят дополнительный вкусовой и антисептический эффекты в проектируемый биопродукт [13].

В результате проведенного анализа по подбору компонентов с нейромедиаторными, вкусовыми и структурообразующими свойствами и выбора формы биопродукта в виде жевательного мармелада была предложена принципиальная технологическая схема его изготовления

(рисунок 1) и соответствующая рецептура (таблица 1). Были исследованы химические показатели (таблица 2).

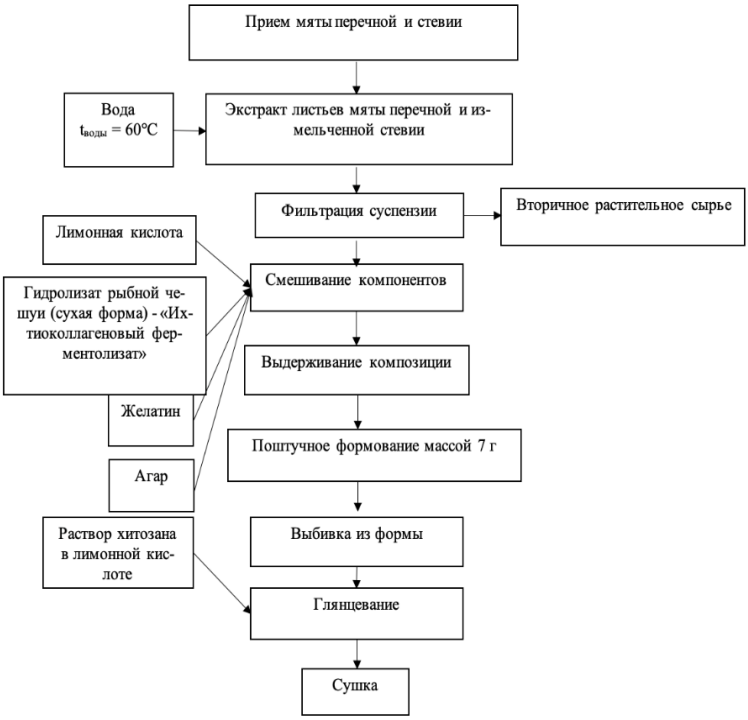


Рис. 1. Технологическая схема изготовления биопродукта по типу жевательного мармелада с нейромедиаторными свойствами

Сущность технологии получения биопродукта (рис. 1) заключается в получении водного экстракта листьев мяты перечной и суспендированной измельченной стевии, введении в него заданного количества желатина и агара, с одновременным обогащением низкомолекулярными пептидами рыбной чешуи. После формования пищевой системы и застывания биопродукта в виде заданных форм массой 7г проводят штучное глазирование раствором хитозана.

После фильтрации экстракта остается вторичное растительное сырье. Данное вторичное сырье моет быть использовано для получения компостов, кормовой муки, эфирного масла.

Таблица 1.
Рецептура желированного биопродукта антистрессовой направленности

Состав	**Содержание, г к-нта на 100 г**
Экстракт листьев мяты перечной и стевии	78,5
Добавка пищевая технологическая «Ихтио-коллагеновый ферментолизат» (сухая форма)	3,7
Желатин	7,5
Агар	3,7
2% раствор хитозана в 9% лимонной кислоте	6,6

Таблица 2.
Химические показатели желированного биопродукта антистрессовой направленности

Наименование показателя	Результат эксперимента	Пересчет на 7 г готового продукта	Суточная потребность *	% от суточной потребности при употреблении 100 г
Витамин С, мг /%	40,14	16,11	70–7000 мг	54,37
Биофлавоноиды, мг /%	34,3	2,4	85–120 мг	40
Глицин, %	5,12	0,36	3,5–5,6 г	91,43

* С учетом требований МЗ 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ».

Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод, что данный биопродукт является функциональным по содержанию нейромедиаторов – глицина, витамина С, биофлавоноидов, если его употреблять систематически по 14 изделий массой 7 г в сутки. В данном случае будет удовлетворяться физиологическая норма в употреблении веществ-нейромедиаторов: глицина – на 91,43%, витамина С – на 54,37%, биофлавоноидов – на 40%.

Принимать новые биопродукты следует как обычный жевательный мармелад.

Литература

1. Белинская Е. П. Homo Laborans, Человек Работающий. Междисциплинарный подход к проблемам здоровья/ Е. П. Белинская, Д. В. Бондарев, К. А Бочавер–М.: Издательство, 2018. 194 с.
2. Новиков В. С. Функциональное питание человека при экстремальных воздействиях/ Н. С. Новиков, В. Н. Каркищенко, Е. Б. Шустов–СПб.: Политехника–принт, 2017. 346 с.
3. Акопов И. С. Растения, оказывающие успокаивающее (седативное) действие на центральную нервную систему /И. С. Акопов-RELGA – научно- культурологический журнал, 2005. N 13, ч. 1–64 с.
4. Borisov M. I. Medicinal properties of agricultural plants/ M. I. Borisov, B. M. Korshikov, G. V. Makarova– Journal of plants, 2020. №28. 125–128 p.
5. Zhoglova K. N. Morphological and anatomical analysis of raw peppermint (Mentha piperita L) of the family Lamiaceae (Lamiaceae)/ K. N. Zhoglova, O. S. Poloveckaya, M. B. Nikishina, E. V. Ivanova -Bulletin of modern research, 2018. №12.1(27). Pp. 339–341.
6. Jorgacheva, E. G. The potential of medicinal, aromatic plants in improving the quality of wheat bread/ E. G. Jorgacheva, T. E.-East European Journal of Advanced Technology. 2014. №2/12(68). Pp.101–107.
7. Astaf'eva, O. V. Studies of antibacterial activity extracts of some plants of the Astrakhan region/ O. V. Astaf'eva, Z. V. Zhuravleva – Materials of the II scientific-practical conference of students and young scientists, 2018. 10–11 p.
8. Ядав С. К. Гликозиды стевиола из стевии: обзор путей биосинтеза и их применение в пищевых продуктах и медицине/ С. К. Ядав, П. Гулерия - Крит. Науч. – практ. конф., 2012. –№52(11). 988–998 p.
9. Чжан К. Токсикологическая оценка этанольного экстракта из листьев стевии ребаудиана Бертони: генотоксичность и субхроническая пероральная токсичность/ К. Чжан – Regul. Токсикол. Фармакол. 2017. №86. 253–259 с.
10. Укия М. Цитотоксическая и индуцирующая апоптоз активность производных стевиола и изостевиола в отношении линий раковых клеток человека/ М. Укия, С. Савада, Т. Кикучи-Химия. Biodivers, 2013.-№10(2). 177–188 с.

11. Tavarini S. Stevia rebaudiana Bertoni as a source of bioactive compounds: the effect of harvest time, experimental site and crop age on steviol glycoside content and antioxidant properties/ S. Tavarini, L.G. Angelini - J. Sci. Food Agric, 2013. – № 93(9). 121–129 p.
12. Мезенова О. Я. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности / О. Я. Мезенова, В. В. Волков, Т. Мерзель, Т. Гримм, С. Кюн, А. Хелинг и др. - Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 4. С. 83–94.
13. Варламов В. П. Хитин и Хитозан: природа, получение и применение / В. П. Варламов, С. В. Немцев, В. Е. Тихонов — М.: российское хитиновое общество, 2010. 292 с.

Обоснование состава протеинового батончика, предназначенного для спортивного питания, с использованием добавок из коллагенсодержащего рыбного сырья

Некрасова Ю. О., Мезенова О. Я.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия

Аннотация

Показана возможность использования в составе протеинового батончика специализированных пищевых добавок, получаемых из коллагенсодержащего рыбного сырья. Исследован биопотенциал данных видов добавок и показана актуальность его использования при создании продуктов спортивного питания. Исследован биопотенциал дополнительного сырья, используемого в рецептуре разрабатываемого продукта. Обосновано использование данного вида сырья в рецептуре разрабатываемого продукта.

Ключевые слова

Протеиновый батончик, спортивное питание, специализированные добавки, биологически активные вещества.

Главными тенденциями развития рынка спортивного питания в России можно считать разработку новых продуктов, оказывающих более эффективное специфическое воздействие, а также активное завоевание новых потребителей. Этому явлению способствует увеличение количества фитнес-клубов и различных спортивных сообществ [1].

Сегодня спортивное питание представлено множеством товарных категорий, таких как протеиновые смеси, креатин, аминокислотные и витаминные комплексы, жиросжигатели, гейнеры, энергетики, спортивные напитки и батончики, изотоники и прочее [1].

В состав продукта спортивного питания – протеинового батончика – включены следующие компоненты: протеиновый гидролизат и белково-минеральная добавка, получаемые путем ферментолиза с последующим термолизом из чешуи рыб, добавка из яблочных выжимок, льняной жмых, измельченный кедровый орех и шоколадная глазурь.

Протеиновый гидролизат характеризуется высоким содержанием белка (98%), соответственно, является основным источником белка в разрабатываемом продукте [2]. Что касается белково-минеральной

добавки, то она является также источником минеральных веществ. Минеральный состав белково-минеральной добавки определяли по методу атомно-абсорбционной спектрометрии (таб. 1)

Таблица 1.
Содержание минеральных веществ в белково-минеральной добавке из рыбьей чешуи

Минеральные вещества (макроэлементы)	**Содержание в БМО, г/100 г**
Натрий	0,2158
Калий	0,0936
Кальций	22,1922
Магний	0,3200
Фосфор	11,9789

Как видно из таблицы 1, белково-минеральная добавка характеризуется высоким содержанием кальция и фосфора, а также магния и натрия.

Кальций необходим для ограничения декальцификации костей и повышения плотности костей, для нормализации легочного газообмена, регулирует уровень глюкозы в крови. Кальций участвует, в частности, в поддержании целостности клеточной мембраны, а также в улучшении функций клеток [3].

Фосфор играет важную роль в получении и передаче энергии, служит строительным блоком в клеточных мембранах и влияет на действие различных гормонов. Кроме того, он используется организмом в качестве буфера в кислотно-щелочном равновесии, так как поддерживает стабильный pH крови. Суточная потребность в фосфоре составляет около 700 мг у здорового человека [4].

В качестве биологически активных веществ растительной природы используется добавка из яблочных выжимок как альтернатива яблочному пюре в традиционных батончиках для спортивного питания. Биопотенциал яблочных выжимок представлен в таблице 2.

Яблочные выжимки являются лигноцеллюлозными по своей природе и богатым источником целлюлозы, пектина и гемицеллюлозы. Содержание сырой клетчатки составляет 9,94%. Сырая клетчатка состоит из нескольких фракций: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Лигнин связывается с желчными кислотами, способствуя снижению уровня холестерина, и ускоряет прохождение пищи через кишечник [5].

Таблица 2.

Биопотенциал вторичного яблочного сырья

Показатели	**Содержание**
Влага, %	80,2
Сухие вещества, %	19,8
Белок, %	0,38
Жир, %	0,69
Зола, %	0,81
Углеводы, %, в том числе: сырая клетчатка, % - лигнин, % пектин, %	17,92 9,94 1,6 3,1
Витамин С, мг%	21,3
Полифенолы, мг%	25,4
Кислотность, %	0,065

Содержание пектина в выжимках составляет 3,1%. Пектин — это растворимая вязкая сбраживаемая клетчатка и обычная добавка в пищевой промышленности, которая действует как желирующий агент, эмульгатор и загуститель в различных пищевых продуктах. Важное свойство пектиновых веществ – компексообразующая способность, основанная на их взаимодействии с ионами тяжелых и радиоктивных металлов, выводя их из организма человека. Также пектиновые вещества в кишечнике сдвигают pH среды в более кислую сторону, что обеспечивает бактерицидное действие на болезнетворные бактерии [5, 6].

В яблочных выжимках идентифицировано большое содержание полифенолов (25,4мг/100г). Фенольные соединения из жмыха яблони в основном состоят из гликозидов флоридзина, эпикатехина, хлорогеновой кислоты и кверцетина [5]. Полифенольные соединения обладают широким спектром биологической активности, включая антибактериальную, противораковую, противовоспалительную, сосудорасширяющую, ингибируют процессы перекисного окисления липидов, агрегацию тромбоцитов, снижают хрупкость и проницаемость капилляров, влияют на различные ферментные системы. Несколько исследований показали, что яблочная выжимка не только помогает в профилактике запоров и гипертонии, но также может поглощать некоторые вредные вещества в организме человека, такие как свободные радикалы. Наличие этих соединений также указывает на потенциал использования яблочной выжимки в качестве ингредиента в пищевой промышленности [6, 7].

Таким образом, яблочный жмых является источником биологически активных компонентов, таких как пищевые волокна, лигнин, пектиновые вещества, витамин С, полифенолы, которые важны в питании не только спортсмена, но и любого человека.

На основании проведенных исследований предложена рецептура протеинового батончика с применением добавок из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья (на 100 г готового продукта): протеиновый гидролизат – 21,5 %, белково-минеральная добавка – 3,5%, яблочный жмых – 16,7%, кедровый орех – 15%, льняной жмых – 15%, шоколадная глазурь – 8,3%. Необходимое содержание белка достигается за счет внесения протеинового гидролизата в рецептуру батончика и его комбинирования со вспомогательным сырьем – льняным жмыхом и кедровым орехом.

Полученный белковый продукт, содержащий ценные аминокислоты, липиды, пищевые волокна, витамины и минеральные вещества, рекомендуется употреблять всем категориям населения, в том числе людям, которые занимаются спортом или ведут активный образ жизни. Белок протеинового батончика-снека являются полноценным по содержанию всех незаменимых аминокислот, необходимых как растущим организмам, так и динамично живущим людям для пластических целей и компенсации энергетических затрат. Рекомендуемая суточная доза батончика – 60 г в качестве перекуса до или после тренировки или активной деятельности.

Литература

1. Худяков С. М. Рынок спортивного питания // СТЭЖ. 2015. №1 (20). с. 89–91.
2. Мезенова О. Я., Мезенова Н. Ю., Байдалинова Л. С. Биотехнология гейнеров для спортивного питания на основе активных пептидов рыбной чешуи// Вестник биотехнологии и физико-химической биологии, 2014. № 1. С. 20–24.
3. Иорданская Ф. А., Цепкова Н. К. Кальций в крови: диагностическое и прогностическое значение в мониторинге функционального состояния высококвалифицированных спортсменов // Вестник спортивной науки. 2009. С. 33–35.
4. Иорданская Ф. А., Цепкова Н. К. Фосфор крови: диагностическое и прогностическое значение в мониторинге функционального состояния высококвалифицированных спортсменов // Вестник спортивной науки. 2011. С. 30–33.
5. Kruczek, M.; Gumul, D.; Kacanoiva, M.; Marecek, J.; Gambus, H. Industrial Apple Pomace by-products as a Potential Source of Pro-health

Compounds in Functional Food. Journal of Microbiology, Bitochnology and Food Sciences 2017, 7 (1), 22–26 p.

6. Lu, Y.; Foo, L.Y. Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Polyphenols from Apple Pomace. Food Chem. 2000, 68. Pp. 81–85.
7. Lyu, F.; Luiz, S.F.; Azeredo, D.R.P.; Cruz, A.G.; Ajlouni, S.; Ranadheera, C.S. Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. *Processes* 2020, *8*, 319.

Влияние пектина моркови на потребительские свойства низкожирного мороженого с функциональными свойствами

Разумовский Д. А., Морозова О. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Тенденция к популяризации функционального питания является обоснованным откликом общества на возрастающее число социально-значимых заболеваний, встречающихся до 30 лет, к которым можно отнести онкологию, диабет 2 типа, болезнь Альцгеймера и т.д. Наибольшие опасение вызывают заболевания сердечно-сосудистой системы, т.к. их диагностика не всегда своевременна из-за отсутствия явных признаков для беспокойства. Количество смертей из-за нарушения сердечно-сосудистой системы за 2020 год составляет - 620,7 на 100 тыс. Населения, что на 6,6% больше по сравнению с 2019 годом. Заболевания сердечно-сосудистой системы и состояния организма, предшествующие им, можно отнести к алиментарно-зависимым, за исключением случаев, которым предшествуют генетические мутации, передающиеся по наследству. Основным средством профилактики алиментарно-зависимых заболеваний является правильно сбалансированный рацион и пероральное введение БАВ, обладающих терапевтическим эффектом, в том числе и БАВ в составе пищевой продукции. В настоящей работе в качестве функционального ингредиента использовался пектин моркови, регулирующий уровень холестерина и соотношение ЛПНП/ЛПВП, что напрямую связано со здоровьем сердечной мышцы. В качестве обогащенного продукта было выбрано низкожирное мороженое ввиду высокого потребительского спроса на данную категорию продуктов. В результате проделанной работы были разработаны и обоснованы состав, технология и технологические параметры низкожирного мороженого, исследованы его технологические свойства, составлена технологическая и аппаратурно-технологические схемы производства, определена оптимальная доза внесения пектина моркови в мороженое.

Ключевые слова
Замороженные десерты, мороженое, пектин моркови, пектин, функциональные продукты, функциональные ингредиенты, БАВ, технология.

Замороженные десерты пользуются большой популярностью среди населения различных стран, особенно в летний период. Согласно ГОСТ 31457–2012, мороженое — это пищевой продукт-десерт, представляющий собой замороженную в процессе непрерывного взбивания массу, содержащую в основе своей питательные, вкусовые, ароматические и эмульгирующие вещества. Отличительной особенностью данного продукта является повышенное содержание сахарозы и молочного жира, что является стрессовым фактором для организма и стимулирует выброс инсулина, нарушение адекватного метаболизма и способствует накоплению жировой клетчатки в организме. Оптимизация состава мороженого путем использования растительных БАВ с целью снижения себестоимости и улучшения потребительских свойств является целью данной работы [1].

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

- Проведена оценка компонентного состава в соответствии со следующими критериями: себестоимость, доступность и воспроизводимость;
- Разработан состав и технология мороженого;
- Определена доза внесения пектина моркови;
- Исследовано влияние пектина моркови на органолептические, физико-химические, технологические и потребительские свойства мороженого;
- Оценена хранимоспособность готового продукта;
- Разработан комплект технической документации на готовый продукт (ТИ и ТУ)

Исследование литературных данных российского и зарубежного авторства показало, что пектиновые вещества обладают рядом свойств, оказывающих выраженный терапевтический эффект при систематическом употреблении на ЖКТ, сердечную мышцу, иммунную систему и когнитивные функции. Пектиновые вещества являются полимерами галактуроновой кислоты и содержатся в клеточных стенках высших растений. Традиционными источниками промышленных пектинов являются яблоки и цитрусовые культуры, однако из-за их дефицита производство пектина затруднительно и требует поиска альтернативного сырья. В последние годы были разработаны и внедрены на рынок технологии пектина из свеклы и тыквы, также ведутся исследования по использованию топинамбура и борщевика в качестве сырья.

Морковь также следует рассматривать как сырьевой ресурс для производства пектина ввиду ее высокой урожайности и повсеместности выращивания. Пектин моркови был экстрагирован при следующих условиях: гидромодуль морковь: экстрагент 1:10, pH экстрагента 2–3 ед., время экстрагирования 120 минут при температуре 80С. Полученный

пектин при концентрации 1% мас/об в водном растворе давал вязкие гели (731 сП). В присутствии ионов кальция (в молоке) 1% раствор при прочих равных условиях имел более высокую вязкость (1121 сП), что является причиной полагать, что пектин моркови низкоэтерифицированный.

Расчет рецептуры низкожирного мороженого производился на основании уравнений массо- и жиробаланса. Была составлена система уравнений, решение которых было найдено в программном обеспечении MathCad посредством решения матрицы. В качестве основных сырьевых компонентов были использованы сухое обезжиренное молоко (СОМ) и сыворотка молочная деминерализованная (50%) (СМС) одной партии. Вторичное молочное сырье (ВМС) имеет низкую рыночную себестоимость по сравнению с традиционными молочными компонентами (СОМ, сгущеное молоко, сухое цельное молоко и т.д.). Использование ВМС позволяет расширить потребительскую аудиторию за счет сегмента граждан с доходом ниже среднего. Кроме того, повышенное содержание лактозы в сыворотке (36,4–42,2 г/л) позволяет сократить расход сахара без ухудшения потребительских свойств. Однако увеличение концентрации молочного сахара обусловливает риск возникновения порока консистенции. В результате неравномерной кристаллизации лактозы возможно появление крупинчатости и мучнистости в процессе хранения готового продукта. Для решения данной проблемы был использован фермент В-галактозидаза на стадии нормализации. Оптимальная продолжительность ферментации молочной смеси составляет 1 ч при 37 С, степень гидролиза при этом составляет 45% при внесении 0,08% ферментного препарата. Степень гидролиза лактозы определялась на спектрофотометре Shimadzu UV-1800. Также, учитывая, что сывороточные белки являются термолабильными, для предотвращения тепловой денатурации на стадии нормализации были также внесены соли-стабилизаторы (цитрат натрия, динатрий фосфат) в количестве 0,6г/т [2].

Дозу внесения пектина в качестве стабилизатора консистенции оценивали путем сравнения органолептических и технологических свойств контрольного образца (без внесения пектина) с опытными. Диапазон дозы внесения пектина моркови в опытные образцы мороженого составлял 0,05–0,2% от массы заквашиваемой смеси с шагом +0,05%

Пектин вносился на стадии нормализации при 37˚С. Влияния функциональной добавки оценивалось по физико-химическим показателям, таким как взбитость готового продукта, вязкость нормализованной смеси после созревания, стабильность воздушной дисперсии при оттайке после закаливания, дисперсность воздушной фазы.

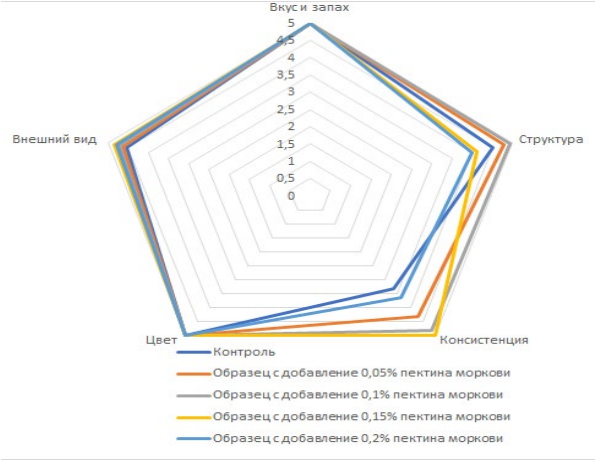


Рис. 1. График зависимости характеристик продукта от количества внесенного пектина

Использованные методы исследования приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1.

Использованные методы исследования

Наименование исследуемого показателя	**Нормативный документ, методика**
Взбитость мороженого, %	ГОСТ 31457-2012
Вязкость, сП	Вязкость образцов измерялась посредством вискозиметра Брукфильда DV2T на шпинделе LV-3 и скорости вращения 100 об/мин
Стабильность воздушной дисперсии	Оценивалась скоростью и временем оттаивания одинаковых по массе проб мороженого при равных условиях
Дисперсность воздушной фазы, мкм	Оценивалась путем микроскопирования проб при увеличении в 600 раз посредством камеры Горяева или программного обеспечения

Для моделирования консистенции и взбитости мороженого были также использованы дополнительные структурообразователи - гуаровая камедь и карбоксиметилцеллюлоза. Влияние растительных гидроколлоидов на взбитость представлено на рисунке 2. Оптимальная дозировка гуаровой камеди была принята 0,05%, карбоксиметилцеллюлозы 0,05%.

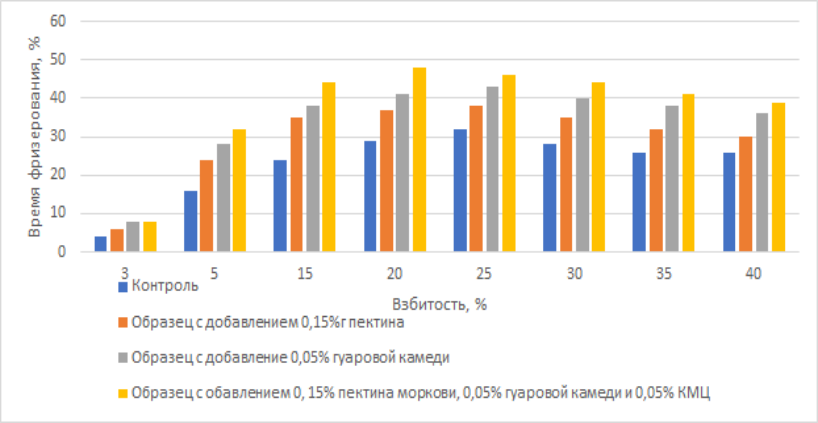


Рис. 2. График зависимости взбитости от типа растительных гидроколлоидов

Исследование дисперсности воздушной эмульсии производилось посредством микроскопирования на микроскопе Ziess. На рисунках 1, 2, 3 показаны контрольный образец без использования стабилизаторов, опытный образец с пектином моркови, опытный образец с подобранной стабилизационной системой соответственно, из которых видно, что пузырьки воздуха в мороженом с использованием стабилизационной системы на основе пектина имеют меньший размер по сравнению с контрольным образцом.

Органолептическая оценка контрольного и опытного образцов проводилась дегустационной комиссией в количестве 10 человек различного пола и возраста в соответствии с ИСО 22935-1-2011 по следующим дескрипторам: структура, консистенция, вкус и запах, цвет, внешний вид, на основании 5 бальной гедонической шкалы, где 5 - отлично, 0 - очень плохо. Контрольный образец, в отличие от опытного, оценивался как излишне твердый с неполным вкусовым профилем и неравномерной структурой и включениями льда на поверхности и в объеме продукта. Результаты органолептической оценки отражены на профилограмме (рисунок 3).

Рис. 3. Профилограмма органолептической оценки продукта

Таблица 2.

Рецептура мороженого с добавлением пектина

Наименование компонента	**Количеств кг/1000кг**
СОМ	75
Сыворотка подсырная деминерализованная 50%	80
Масло сливочное, МДЖ=72,5%	27,6
Сахар-песок	80
Мальтодекстрин	60
Пектин моркови	1,5
Гуаровая камедь	0,5
Карбоксиметилцеллюлоза	0,5
Ароматизатор ванилин	0,15
Вода	674,75

Стоит отметить, что опытный образец был воспринят как более жирный, что позволяет использовать пектиносодержащий стабилизатор как имитатор жирности при производстве низкожирных замороженных десертов. По органолептическим свойствам низкожирное мороженое характеризуется чистым, молочным запахом, вкусом без посторонних привкусов, характерным для выбранного ароматизатора. Консистенция плотная, внешний вид без механических повреждений, трещин, обледенения, подтеков, структура однородная без ощутимых включений жира и стабилизирующих добавок белка, лактозы, кристаллов льда, сахара, сухих молочных компонентов и прочих, цвет однородный от белого до молочного, в случае использования красителя - характерный для него.

Для приготовления смеси мороженого применяли традиционную технологию с учетом изложенных выше дополнений. Рецептура смеси для мороженого представлена в таблице 2 [4].

Срок годности готового продукта был определен в соответствии с МУК 4.2.1847-04 и составляет 6 мес, коэффициент запаса равен 1,15.

Физико-химические показатели готового продукта представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Физико-химические показатели мороженого

Показатель	**Значение**
Массовая доля жира, %	2
Массовая доля сахарозы, %	8
Массовая доля сухих веществ, %	32

Литература

1. Дунченко Н. И., Мороженое, обогащенное пищевыми волокнами / Н. И. Дунченко, В. Г. Сущик, С. Н. Сулимина // Питание и здоровье. 2008. № 1. С. 60–61.
2. Федотова М. А., Производство мороженого с функциональными свойствами / М. А. Федотова, В. И. Ганина, В. А. Обелец, А. А. Творогова // Молочная промышленность. 2009. № 2. С. 61–62.

3. Доронин А. Ф., Функциональные пищевые продукты: учебник / / А. Ф. Доронин, Л. Г. Ипатова, А. А. Кочеткова, А. П. Нечаев, С. А. Хуршудян, О. Г. Шубина. М.: ДеЛи принт, 2009. 215 с.
4. ГОСТ 31457–2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия».

Использование морковного пектина в качестве стабилизатора структура полидисперсных пищевых систем

Ванина А. С., Оглоблина В. В., Морозова О. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
На сегодняшний день рынок пищевых продуктов представлен полидисперсными продуктами, состоящими из дисперсионной среды и дисперсной фазы, различных по физико-химическим характеристикам, что может привести к таким порокам консистенции, как седиментация, разделение фаз, синерезис и т.д. Поэтому потребность в разработке стабилизационных систем остается актуальной проблемой пищевой промышленности. К многокомпонентным стабилизационным системам проявляется особый интерес промышленных производителей в связи с их универсальностью. В данной работе был разработан многокомпонентный стабилизатор на основе морковного пектина для продуктов на основе молочного и растительного сырья.

Ключевые слова
Пектин моркови, стабилизатор, технология, пищевые добавки, растительные продукты.

Пектин - основной компонент клеточных стенок. Он представляет собой растворимое пищевое волокно, которое имеет сложную молекулярную структуру. Пектиновые вещества обладают выраженным функциональными свойтвами – антиоксидантными, радиопротекторными, пребиотическими. Подобные свойства пектина обусловлены изменением его конформации в процессе пищеварения. Являясь нерастворимым пищевым волокном полисахаридной природы, пектин в водной фазе превращается в неструктурированную систему - гель, состоящий из неупорядоченных цепей полигалактуроновой кислоты, проявляющей реакционную способность по отношению к ионам тяжелых металлов, радионуклидам, желчным кислотам, холестерину. Образованные гели оказывают раздражающее действие на стенки кишечника, тем самым увеличивая скорость транзита каловых масс и перистальтики. Нормальная кишечная микрофлора в присутствии пектиновых веществ увеличивает синтез витаминов B_1, B_2, B_6, PP, фолиевой кислоты, короткоцепо-

чечных жирных кислот, при этом доля бифидо- и лактобацилл увеличивается, а доля колиморфных форм снижается. Пектин способен образовывать нерастворимые комплексы с радионуклидами, тяжелыми металлами (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть) и другими токсичными веществами. Кроме того, европейское агентство по пищевым стандартам утверждает, что 6 г пектина, потребляемого ежедневно, способствует поддержанию нормального уровня холестерина в крови.

Ввиду вышеизложенного, разработанный на основе пектина моркови поликомпонентный стабилизатор можно позиционировать как функциональный продукт и применять в производстве продуктов лечебного питания.

Целью настоящей работы являлось получение многокомпонентного стабилизатора на основе пектина моркови для полидисперсных систем животного и растительного происхождения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Определена рациональная дозы внесения стабилизатора.
2. Исследовано влияния пектинсодержащего стабилизатора на реологические характеристики полидисперсных систем на основе молочного и растительного сырья.

Состав поликомпонентного стабилизатора представлен в таблице.

Таблица.

Состав поликомпонентного стабилизатора на основе пектина моркови

Наименование компонента	**Количество кг/1000 кг**
Пектин моркови	500
Мальтодекстрин	475
Камедь тары	15
Карбоксиметилцеллюлоза	10

Пектиновые вещества широко используются в кондитерской и молочной промышленностях ввиду их способности к образованию вязких растворов. Однако для расширения ассортимента продуктов, к которым может быть применима разрабатываемая технологическая добавка, рационально использовать дополнительные структурообразующие агенты.

Разрабатываемый стабилизатор может быть использован в качестве эмульгатора. Пектин демонстрирует лучшую эмульгирующую способность при более низком pH, о чем свидетельствует образование более мелких масляных капель в эмульсиях при pH 2,0 по сравнению с pH 6,0. Это объясняется лучшей и более плотной адсорбцией пектиновых цепей при низком pH, которая лучше стабилизирует вновь образованную поверхность раздела во время эмульгирования [1]. Включение катионов влияет на эмульгирование пектина за счет образования межфазных поперечных связей. При значениях pH 2,0 и 6,0 присутствие катионов влияет на стабильность эмульсии в следующем порядке (наиболее стабильный) Ca^{2+}> Mg^{2+}> Al^{3+}> Cr^{3+}> Zn^{2+}> Fe^{3+} (наименее стабильный). Следовательно, чем выше сродство катиона к пектину, тем менее стабильна эмульсия [2].

Эмульгирующая способность стабилизатора оценивалась по методике, предложенной в ГОСТ 33692–2015, и составляет 1:6:9 (эмульгатор: вода: жировая фаза).

Рациональная доза внесения стабилизатора оценивалась по изменению органолептических свойств в отношении следующих критериев: внешний вид, консистенция, вкус и запах, - и составляет 0,2% от массы йогурта и 0,4% от массы рисового ферментированного продукта.

Стоит отметить, что при изготовлении рисового ферментированного продукта для нивелирования влияния нативных крахмальных соединений риса в технологию производства был включен дополнительный технологический этап - гидролиз нормализованной растительной смеси в присутствии амилолитических ферментов. В качестве ферментного препарата был использован амилосубтилин в количестве 0,03% от массы нормализованной смеси.

Влияние разрабатываемого стабилизатора на реологические характеристики йогурта и рисового ферментированного продукта представлено на рисунках 1 и 2.

В растительных дисперсных системах динамическая вязкость снижена, что, вероятно, обусловлено отсутствием ионов кальция. Поэтому в случае использования стабилизатора в растительных продуктах рекомендуется добавлять кальциевые соли, например цитрат кальция (0,5кг/1000кг). В обоих случаях наблюдается снижение вязкости при механическом сдвиге, что характерно для неньютоновских жидкостей. Стоит отметить, что явление тиксотропии более выражено в присутствии соевого белка.

Восстановление структуры в йогурте происходит на 86 %, в рисовом ферментированном продукте - на 68 %, в то время как в отсутствии соевого белка на 78% и 61% соответственно.

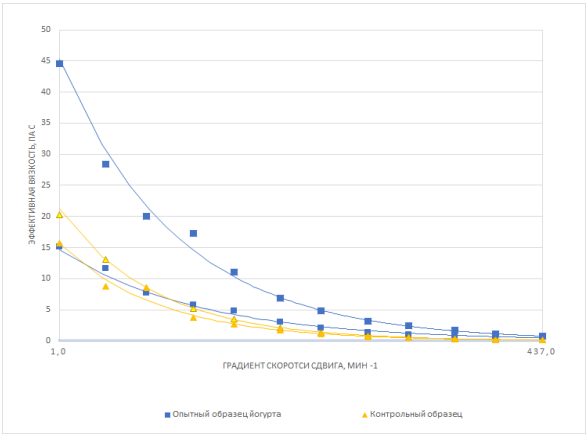


Рис. 1. Тиксотропные свойства контрольного и опытного образцов йогурта

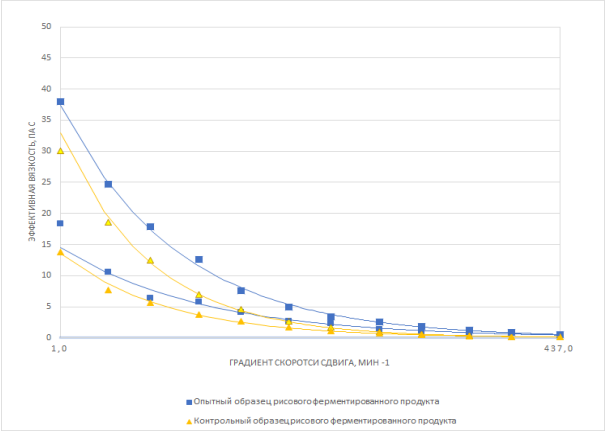


Рис. 2. Тиксотропные свойства контрольного и опытного образцов рисового ферментированного продукта

Литература

1. Neckebroeck B., Verkempinck S. H. E., Vaes G., Wouters K., Hendrickx M. E., VanLoey A. M. Advanced insight into the emulsifying and emulsion stabilizing capacity of carrot pectin subdomains [Электронный

ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/337997575_Advanced_insight_into_the_emulsifying_and_emulsion_stabilizing_capacity_of_carrot_pectin_subdomains (дата обращения 13.10.2021).

2. Ürüncüoglu S., Alba K., Morris G. A., Kontogiorgos V. Influence of cations, pH and dispersed phases on pectinemulsification properties [Электронный ресурс] URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34169284/ (дата обращения 12.10.2021).

Исследование потенциала применения моркови как пектинсодержащего сырья

Морозова О. В., Забодалова Л. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Данная работа посвящена исследованию свойств пектина моркови с целью выявления возможности его промышленной реализации. В результате проделанной работы был получен пектин моркови, исследованы его реологические и биоактивные свойства.

Ключевые слова
Пектин моркови, стабилизатор, пектинсодержащее сырье.

Пектиновые вещества являются гетерополисахаридами, которые содержатся в клеточных стенках высших растений. Они имеют практическую значимость при производстве широкого спектра пищевых продуктов – фруктово-ягодных наполнителей, джемов, желе, фруктовых соков, кондитерских кремов, молочных продуктов, в том числе и кисломолочных. Использование пектина в качестве функционально-технологической добавки обусловлено в первую очередь его уникальными реологическими свойствами. В зависимости от степени этерификации пектины способны образовывать гели различной прочности, стабильные в широком диапазоне pH. Помимо способности к гелеобразованию, пектины также применяются в качестве стабилизатора, эмульгатора и загустителя. Наиболее распространённые коммерческие пектины получают из отходов плодовоовощного сырья – яблочного жмыха или жома сахарной свеклы [1]. Однако в настоящий момент из-за существующего дефицита традиционного сырья и повышенного спроса на пектин на мировом рынке (более 30000 тонн/год) [2] актуальны вопросы оптимизации технологии получения и поиска некоммерческих источников пектина с целью их внедрения в промышленное производство. В данной работе предлагается использовать морковь (*Daucus carota L.)* как сырьевой ресурс для промышленного получения низкоэтерифицированного пектина. Выбор данного корнеплода был обусловлен его доступностью, воспроизводимостью и повсеместностью произрастания.

Для получения морковного пектина использовали сушеную морковь производства ООО «Колос», Иваново, Ивановская обл. Использование

сушеной моркови обусловлено однородностью партии, что позволило избежать разногласий полученных результатов. Сушеную морковь измельчали на лабораторной мельнице. Дисперсность морковного порошка составляла не более 500 мкм и оценивалась при помощи лабораторных сит с соответствующим диаметром пор. Подготовленный морковный порошок предварительно гидратировали в подготовленной отфильтрованной воде с гидромодулем 1:10 не менее 2 ч при 45°С, затем отфильтровывали через лавсановый фильтр.

Экстрагирование проводили в растворе лимонной кислоты при следующих параметрах: pH=2-3 ед., температура 80±2°С, время выдержки 2 ч. По окончании экстрагирования фильтрат отделяли на лавсановом фильтре. В качестве коагулянта пектиновых веществ использовали этанол в пропорции 2:1 (этанол: фильтрат). Концентрация этанола в фильтрате составляла 60%. Осаждение пектина проводили методом декантации при температуре 4±2°С. Полученный пектиновый осадок высушивали в сушильном шкафу с принудительной конвекцией воздуха Snol, при 50°С в течении 8 часов. Полученный пектин представлял собой аморфный порошок желтого цвета. Массовая доля выделенного пектина в пересчете на сухое вещество составила 10,3±0,2%. Погрешность рассчитывалась как среднее квадратичное отклонение по 3 выработкам.

Определение степени этерификации проводилось в соответствии с методом, предложенным в ГОСТ 29186–91. Степень этерификации составила 51,2%.

Эмульгирующая способность (ЭС) пектина моркови составляла 1:7:8,5. Для определения ЭС готовили эмульсию типа масла в воде в соотношении 1:10:10 (пектин:вода:масло подсолнечное) и диспергировали на лабораторном диспергаторе IKA при 10 000 об/мин в течение 5 мин с последующей выдержкой при 4±2°С в течение 60 мин. Затем эмульсию переносили в градуированные пробирки 10 $см^3$ и центрифугировали в течение 5 мин при 1350 об/мин. ЭС рассчитывали как соотношение удержанных частей воды и подсолнечного масла к 1 части пектина.

Антиоксидантную активность пектина оценивали *in vitro* по его способности ингибировать реакцию аутоокисления адреналина в щелочной среде (pH=10.65) на спектрофотометре Shimadzu UV-1800. Антиоксидантная активность пектина составляет 13%, что говорит о наличии антиоксидантных свойств, которые, вероятно, обусловлены остаточным содержанием каротиноидов. Содержание каротиноидов в полученном пектине было определено по ГОСТ 54058–2010 и составляет 24 мкг/г.

Исследование реологических свойств производилось на вискозиметре Брукфильда DV2T с использованием шпинделя LV-3 при возрастающих значениях градиента скорости (от 1 до 200 об/мин). Касатель-

ное напряжение 1%-ного раствора пектина при 20°С снижается с увеличением скорости вращения шпинделя, что говорит о псевдопластичном поведении геля. Вязкость 1%-ного раствора в присутствии йонов Ca^{2+} существенно возрастает, что делает полученный пектин перспективной функционально-технологической добавкой в молочной отрасли.

Литература

1. Донченко Л. В., Технология пектина и пектинопродуктов: учебное пособие / Донченко Л. В. – М.: ДеЛи, 2000. 255 с.
2. Maran J. P., Swathi K., Jeevitha, P., Jayalakshmi, J., & Ashvini, G. (2015). Microwave-assisted extraction of pectic polysaccharide from waste mango peel // Carbohydrate Polymers. 2015. №123. p. 67–71.

Антибактериальная и антиоксидантная активность трутовика скошенного ((INONOTUS OBLIQUUS) IN VITRO

Милюхина А. К., Забодалова Л. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Inonotus Obliquus известен своими антиоксидантными и антибактериальными свойствами в отношении различных микроорганизмов. В данной работе были проведены исследования аптечного гриба чаги. Определены его антиоксидантные и антимикробные свойства. Это исследование показало, что этанольный экстракт *Inonotus Obliquus* обладает выраженной антимикробной активностью в отношении штаммов как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий. Экстракт также показал хорошую антиоксидантную активность. Чага показала значительно более сильную антибактериальную активность против кишечной палочки. Диаметр зоны угнетения составлял 11,8 мм. Таким образом, *Inonotus Obliquus* продемонстрировала потенциал в качестве пищевой добавки благодаря своей более сильной антибактериальной активности.

Ключевые слова
Растительные экстракты, антимикробная активность, срок годности, чага.

Inonotus obliquus (I. obliquus), принадлежащий к семейству *Hymenochaetaceae*, является черно-коричневым растительным паразитическим грибом. Полезность *I. obliquus* доказана в медицине, например в лечении диабета, паразитарных и вирусных инфекций.

Чага способна производить различные биологически активные вещества: антиоксиданты, тритерпеноиды, эргостерин и его пероксида, сесквитерпены, производных бензойной кислоты, аналоги гистидина и меланинов. Кроме того, также была обнаружена высокая экспрессия антиоксидантных ферментов [1]. Более того, во многих исследованиях говорится, что фракция полисахаридов, присутствующая в экстрактах чаге, является самой большой группой активных соединений, кроме фенолов. Экстракты *I. obliquus* содержат много низкомолекулярных полисахаридов, которые считаются антиоксидантными веществами, ответственными за указанную активность упомянутых экстрактов. Например, в исследовании [2, 3] водный экстракт содержал 19,76–26,51%

нейтральных сахаров, состав которых варьировался в зависимости от метода сушки, но рамноза, галактоза и глюкоза были преобладающими сахарами, тогда как арабиноза или манноза были наименее распространенными компонентами. Также в состав чаги входит меланин, инодотиол, флаваны, тритерпеноиды, стероиды, полифенолы или полисахариды [4].

Целью исследования было оценить антибактериальную и антиоксидантную активность экстрактов *I. obliquus in vitro*.

В этом исследовании использовались бактериальные штаммы *S. aureus* (NCIMB 8625), *Enterococcus spp, E. coli* (ATCC25922). Все бактериальные штаммы выращивали и поддерживали на скошенных питательных агарах.

Антибактериальную активность чаги в различных соотношениях оценивали методом дисков или диффузией в агаре против трех бактериальных штаммов. Бактериальные штаммы сначала выращивали на питательном агаре в течение 24 часов при 37 ° С. Затем суспензию бактериальных клеток (10^6 КОЕ / мл) выливали в чашки Петри, содержащие сухой питательный агар. Диски (диаметром 5 мм) наносили на поверхность засеянного агара и пропитывали 50 микролитрами экстракта чаги. Бензоат натрия, известный консервант, использовали в качестве контроля. Концентрация бензоата натрия составляла 1 г / мл. Контрольные диски также пропитывали раствором бензоата натрия. Все чашки Петри инкубировали при 37 ° С в течение 24 часов.

После инкубации антибактериальную активность определяли путем измерения диаметра зоны ингибирования в миллиметрах (мм).

Антиоксидантную активность определяли методом FRAP. Метод FRAP (трехвалентная восстанавливающая антиоксидантная способность) основан на регистрации снижения концентрации комплексного иона трехвалентного железа - TPTZ (2,4,6-3 (2-пиридил) -1,3,5-триазин) при взаимодействии с антиоксидантом. Связывание Fe^{2+} с лигандом создает очень интенсивный темно-синий цвет раствора. Измеряя оптическую плотность, вы можете определить количество восстановленного железа и соотнести его с количеством антиоксидантов. В качестве вещества сравнения использовали аскорбиновую кислоту. Все эксперименты проводились в трех повторностях.

Растительный материал массой 10 г помещали в коническую колбу с 96% этанолом. Затем колбу помещали в микроволновый реактор Monowave 300 на мощность 850 Вт на 30 минут. После фильтрации экстракта был получен раствор. Затем были приготовлены четыре образца в соответствии со следующими соотношениями, указанными в таблице 1.

Таблица 1.

Этаноловый экстракт чаги в разных соотношениях

Соотношение	**Основной раствор**	**Этанол 96%**
1:0	10 мл	0 мл
1:1	5 мл	5 мл
1:2	3,33 мл	6,67 мл
1:3	2,5 мл	7,5 мл

Затем из каждого образца отбирали 0,1 мл и добавляли 3 мл реагента FRAP. Через 5-7 минут оптическую плотность измеряли при $\lambda = 593$ нм. Реагент FRAP использовали в качестве раствора сравнения.

Антиоксидантную активность определяли по формулам:

$$AA = \frac{A}{0{,}134} (\text{мг / мл}), \quad (1)$$

где А - абсорбция исследуемых образцов, 0,134 - абсорбция аскорбиновой кислоты (витамина С). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты исследования антиоксидантной активности

Растительное сырье	**Разбавление**	**Концентрация (мг / мл)**	**Поглощение**	**Такое же количество аскорбиновой кислоты (мг / мл)**
Inonotus obliquus (I. obliquus).	1:0	50,0	0,435	6,450
	1:1	25,0	0,285	4,723
	1:2	16,7	0,101	2,105
	1:3	12,5	0,078	1,835

Зоны ингибирования микроорганизмов экстрактом чаги определяли методом диффузии в агар. Химический консервант бензоат натрия использовался для контроля действия экстракта чаги. После 24 часов инкубации диаметры зон ингибирования измеряли для каждого типа экстракта (табл. 3).

Таблица 3.

Антимикробная активность чаги в разных разведениях (мм)

Разбавление	***S. aureus (mm)***	***Enterococcus spp (mm)***	***E. coli (mm)***
1:0	8 ± 0,5	6 ± 0,5	11,8 ± 0,2
1:1	3 ± 0,5	5,5 ± 0,5	8 ± 0,5
1:2	3 ± 0,5	3 ± 0,2	5± 0,5
1:3	1,8 ± 0,2	2 ± 0,5	2 ± 0,5
Бензоат натрия	31 ± 0,5	30 ± 0,5	28 ± 0,5

Результаты показывают, что максимальная антимикробная активность чаги наблюдается в соотношении 1:0. При уменьшении количества чаги в растворе антимикробная активность полученных экстрактов также снижается. Однако эти данные уступают стандартному химическому консерванту бензоату натрия, служащему контролем. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что экстракт *I. obliquus* обладает антибактериальной активностью в отношении всех протестированных бактерий.

По полученным данным видно, что противомикробная активность в отношении грамотрицательных бактерий проявлялась лучше, чем в отношении грамположительных. Это связано с различием в строении клеточной мембраны грамположительных и грамотрицательных бактерий.

Заключение

Исследование показало, что этанольный экстракт *I. Obliquus* обладает выраженной антимикробной активностью в отношении штаммов как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий. Экстракт чаги также показал хорошую антиоксидантную активность.

Литература

1. Taji S., Yamada Wada T. S., Tokuda H., Sakuma K., Tanaka R. Lanostane-type triterpenoids from the sclerotia of Inonotus obliquus possessing anti-tumor promoting activity // Eur J Med Chem. – 2008. – № 43. C. 2373–2379.
2. Ma C. L., Chen H., Zhu W., Wang Z. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom Inonotus obliquus // Food Res Int. 2013. № 50. C. 633–640.
3. Mizuno T., Zhuang C., Abe K., et al. Antitumor and hypoglycemic activities of polysaccharides from the sclerotia and mycelia of inonotus obliquus // Int J Med Mushrooms. 1999. № 1. C. 301–316.
4. Babitskaya V. G., Shcherba V. V., Ikonnikova N. V. Melanin complex of the fungus Inonotus obliquus // Prikl Biokhim Mikrobiol. 2000. № 36. c. 444.

Разработка технологии отделения томатной кожуры от мякоти плода

Кыздарбек У., Баракова Н. В., Басковцева А. С., Милюхина А. М.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Исследовали способ получения кожуры томатов с минимальным содержанием мякоти. Для этого применяли два способа обработки плодов томатов: комбинированный – замораживание и последующий резкий нагрев и бланширование – обработка при высоких температурах. Было установлено, что наиболее эффективным способом удаления кожуры является традиционное бланширование при температуре 100°С с выдержкой в течение 5 сек, охлаждение до 20°С с выдержкой в течение 5 сек, при этом процент отделения кожуры от плода составил 1,7%, содержание ликопина в кожуре – 286 мг/ кг, что выше, чем при обработке плода комбинированным способом – замораживание при -18 °С с выдержкой в течение 24 часов и резкий нагрев до + 42 °С с выдержкой в течение 40 сек, при этом процент отделения кожуры от плода составил 3,1%, содержание ликопина - 137 мг/ кг. Были подтверждены данные, что в кожуре томатов содержится больше ликопина, чем в соке и жоме, что является обоснованием для разработки технологии извлечения ликопина из кожуры томатов.

Ключевые слова
Бланширование, комбинированный способ (замораживание-нагрев), кожура томатов, сок, жом, ликопин.

При переработке томатов, в зависимости от технологии, образуется большое количество вторичного сырья в виде томатного жома, в состав которого входят 27% кожуры, 33% семян и 40% - остаточное количество мякоти с соком [1, 2]. Каждый компонент, входящий в состав жома, является ценным сырьем с нулевой стоимостью, из которого можно получать пищевые ингредиенты. К примеру, из семян томата получают томатное масло, обладающее свойствами снижения концентрации общего холестерина в плазме крови человека, кожуру с остаточным содержанием сока и мякоти используют для повышения вязкости и придания томатопродуктам необходимой консистенции [3, 4].

Перед внесением кожуры с мякотью в продукты переработки томатов – соки и томатную пасту, массу подвергают сильному механическому воздействию (протиранию) с целью разрушения клеточной и тканевой структуры кожуры для получения массы с минимальной вязкостью и максимальной гомогенностью. Недостатком данного способа является то, что при таком воздействии страдает структура мякоти, которую необходимо сохранить для придания необходимой консистенции продукту, в который в дальнейшем будет вноситься мякоть. Кожура создает трудности и при производстве томатных паст. Присутствие кожуры усложняет процесс уваривания массы при концентрировании, усложняет перекачивание массы с одной емкости в другую, забивая трубы и насосы. Концентрирование томатной массы с кожурой увеличивает время уваривания, тем самым ухудшает качество готового продукта. В некоторых случаях применяют двойное протирание, что в свою очередь требует дополнительного оборудования и временные затраты. Таким образом, целесообразно отделить кожуру томатов от плода до начала их измельчения и тем самым снизить трудозатраты при гомогенизации мякоти.

В силу того, что в кожуре плода томатов 80% от общего количества каротиноидов содержится ликопин [5], предлагается использовать этот вторичный продукт переработки томатов для извлечения ликопина и получать на его основе пищевую добавку, при этом предпочтительно кожуру получать с наименьшим количеством семян и мякоти, поскольку последние будут препятствовать эффективному выделению ликопина из кожуры.

Чтобы получить кожуру томатов с такой характеристикой – без мякоти и семян, необходимо отделить кожуру от плода до начала его дробления. На некоторых заводах для этого предлагается предварительное замораживание томатов до -79 ºС и последующий быстрый нагрев, при этом градиент температуры должен составлять 60°С. При таком виде обработки за счет градиента температуры происходит разрушение связей между двумя разными видами тканей - тканью кожуры и мякотью [6].

Градиент температур, приводящий к разрыву межтканевых связей, можно получить и путем бланширования, то есть высокотемпературной обработкой плода при температуре свыше 95 °С и последующим резким охлаждением до 20 °С. Бланширование в настоящее время используется только при производстве томатопродуктов с целью инактивации окислительных ферментов, но не используется для отделения кожуры от мякоти [7].

Целью данной работы являлось: выбор способа обработки плода томатов для отделения кожуры от мякоти для получения кожуры с минимальным содержанием мякоти.

Бланширование осуществляли путем опускания плодов томатов в кипящую воду. Для охлаждения использовали криостат HUBER серии CC, в котором поддерживалась постоянная температура + 20°C. Замораживание осуществляли в морозильной камере бытового холодильника.

Степень отделения кожуры от общей массы плода сорта «Roseo» определяли весовым способом, для этого у плодов, обработанных двумя разными способами, вырезали кожуру в форме квадрата площадью 1 см^2, проводили взвешивание и рассчитывали % полученный массы от массы всего плода.

Таблица 1.

Степень отделения кожуры от мякоти и содержание ликопина в кожуре при разных способах обработки плодов томатов

Режим обработки				**Показатели**	
Температура T_1, °C	**Время, сек**	**Температура T_2, °C**	**Время, сек**	**Отделение кожуры от мякоти плода, %**	**Содержание ликопина в кожуре, мг/кг**
Бланширование					
100	5	20	5	1,7	286±2,2
100	10	20	10	2,3	281±1,9
100	20	20	20	4,5	283±1,7
100	40	20	40	7,8	257±1,1
100	60	20	60	8,6	243±0,6
100	120	20	120	12	238±2,3
Комбинированная обработка					
Температура T_1, °C	**Время, час**	**Температура T_2, c°C**	**Время, сек**	**Отделение кожуры от мякоти плода, %**	**Содержание ликопина в кожуре, мг/кг**
-18	1,5	42	40	17,1	99±1,9
-18	2,0	42	40	15,4	117±1,1
-18	2,5	42	40	9,3	122±0,6
-18	24	42	40	3,1	137±0,6

Из полученной кожуры отбирали навеску 2 грамма и определяли содержание ликопина по ГОСТ Р 54058–2010. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Метод определения каротиноидов [8]. Метод основан на экстракции каротиноидов из пробы с последую-

щей очисткой выделенного препарата петролейным эфиром и спектрофотометрическим определением массовой концентрации или массовой доли каротиноидов. Доли отдельных каротиноидов (от общего содержания каротиноидов) определяли спектрофотометрическим методом измеряя во фракциях, полученных в ходе хроматографического разделения экстракта, содержание ликопина в том числе. Результаты, полученные в ходе проведения экспериментов по выбору способа обработки томатов перед отделением кожуры от мякоти, представлены в таблице 1. Наилучший результат при бланшировании был получен при режиме обработки: 100 ºС - 5 секунд, при 20 ºС - 5 секунд, при этом процент отделенной кожуры от плода составил 1,7 %, содержание ликопина – 286 мг/кг. Увеличение времени выдержки как при 100 ºС, так и при 20ºС приводит к более затруднительному отделению кожуры от мякоти, а также более низкому содержанию в ней ликопина.

Наилучший результат при комбинированной обработке был получен при замораживании плода до -18ºС с выдержкой в течение 24 ч, последующим быстрым нагревом до 42ºС и выдержкой в течение 40 секунд, при этом процент отделенной кожуры от плода составил 3,1%, содержание ликопина – 137 мг/кг.

На основании полученных данных было установлено, что наиболее эффективным способом обработки томатов для отделения кожуры от мякоти является традиционная бланшировка, поскольку при такой обработке получается кожура с наименьшим содержанием мякоти, и содержание ликопина в кожуре выше, чем в образцах, обработанных комбинированным способом (замораживание-нагрев) почти в два раза.

На следующем этапе проведения экспериментов для подтверждения того, что в кожуре плода томатов содержится больше ликопина, чем в других частях плода, было определено содержание ликопина в соке и жоме, полученном после отжатия сока, а также в семенах. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Содержание ликопина в различных частях плода томата

Содержание ликопина					
Сок получен из помидоров с кожурой, мг/дм^3	**Сок получен из помидоров без кожуры, мг/дм^3**	**Жом-кожура, семена, мякоть, мг/кг**	**Жом-семена, мякоть, мг/кг**	**Кожура с частичками мякоти, без семян, мг/кг**	**Кожура, мг/кг**
29,5 ±0,003	25,5 ±0,001	32,1 ±0,032	24,1 ±0,001	24 ±0,011	53,4 ±0,008

Результаты, представленные в таблице, подтверждают данные [9, 10], что максимальное содержание ликопина содержится в кожуре томатов, поэтому целесообразно говорить о разработке технологии извлечения ликопина из кожуры томатов и об использовании его как пищевую добавку.

Ликопин является антиоксидантом, способным усиливать защитные функции организма. Он способствует торможению дегенеративных процессов в тканях, снижает риск развития онкологических, сердечно-сосудистых и других патологий. Ликопин рассматривается как перспективное средство профилактики и лечения различных хронических заболеваний, связанных со старением организма [11]. В связи с этим включение пищевой добавки, содержащей ликопин, в рецептуру различных продуктов питания придаст этим продуктам функциональную направленность, а включение технологической операции – получение ликопина из томатной кожуры - в общую схему переработки томатов позволит производителям расширить ассортимент выпускаемой продукции.

Литература

1. Trombino S., Cassano R., Procopio D., Gioia M.L., Barone E., Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. // Molecules. 2021. С. 50–62.
2. Allison B. J., Simmons C.W. Valorization of tomato pomace by sequential lycopene extraction and anaerobic digestion // Biomass and Bioenergy. 2017. № 105. P. 331–341.
3. Патент №2449563 Российская Федерация, МПК Способ получения концентрированных томатопродуктов [Текст] / Мурадов М.С., Гаджиева А. М. Мурадов М. М.; Заявка: 2010111502/13. Заявлено 25.03.2010. Опубликовано 10.05.2012.
4. Патент РФ No 2130049. МПК С 11 В 1/10. Способ переработки семян томатов и томатных выжимок / Калманович С.А., Мартовщук В.И., Вершинина О.Л. и др. Заявка No 97108301/13. Заявлено 20.05.1997. Опубликовано 10.05.1999.
5. Ramesh K.S., Moon S.H., Keum Y., An updated review on use of tomato pomace and crustacean processing waste to recover commercially vital carotenoids // Epub. 2018. С. 516–529.
6. Makroo H. A, Rastogi N. K., Srivastava B., Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste // Journal of Food Process Engineering. 2019. № 40. С. 124–130.
7. Патент № 2 448 536 Российская Федерация, МПК A23L3/00. Производства томатного сока [Текст] / Мурадов М.С., Гаджиева А. М.;

заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дагестанский Государственный Технический Университет" (ДГТУ). - № 2009149234/13; заявл. 28.12.00; опубл. 27.04.12, Бюл. No 12– 4 с.

8. ГОСТ Р 54058–2010. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Метод определения каротиноидов. - Введ. 01.01.12. - М.: Стандартинформ, 2019.
9. Poojary M., Passamonti P., Extraction of lycopene from tomato processing waste: kinetics and modelling // Food Chem. 2015. С. 127–134.
10. Phinney D. M., Frelka J. C., Cooperstone J. L., Schwartz S. J., Heldman D. R., Effect of solvent addition sequence on lycopene extraction efficiency from membrane neutralized caustic peeled tomato waste. // Food Chem. 2017. С. 123–134.
11. Caseiro M., Ascenso A., Costa A., Creagh-Flynn J., Johnson M., Simoes S., Lycopene in human health // LWT. 2020. № 127. С. 1–15.

Безотходные технологии в пищевом производстве

Джамалдинова Б. А., Ушаева И. У., Хапаева А. Л.

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М. Д. Миллионщикова,
г. Грозный, Республика Чечня

Аннотация
В настоящее время в связи с ухудшением экологической ситуации в мире, необходимостью решать вопросы импортозамещения сырья, важным считается вовлечение в хозяйственный оборот региональных сырьевых ресурсов и создание на их основе продуктов функционального назначения на принципах безотходных технологий. В ранее проведенных исследованиях были разработаны порошкообразные полуфабрикаты из дикорастущего сырья (кизила и мушмулы) для обогащения кондитерских изделий. В продолжение этого направления нами предлагается переработка косточки этого сырья для получения жирного масла, исследование его качественного состава и полная утилизация отходов производства.

Ключевые слова
Пищевая комбинаторика, плодовая косточка, утилизация, масличность, кизил, мушмула германская, полиненасыщенные жирные кислоты, ИК-спектр.

В последние десятилетия сочетание тенденций ресурсосбережения, безотходных технологий и повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания предопределяет поиск новых нетрадиционных источников сырья для пищевой и перерабатывающей промышленности.

Широкое распространение получил принцип комбинаторики. Особенно важно то обстоятельство, что пищевая комбинаторика предусматривает оценку и коррекцию жирнокислотного состава, как отдельных сырьевых компонентов, так и разрабатываемого продукта в целом [6].

Переработка плодовой косточки в промышленных масштабах практикуется давно, как в нашей стране, так и за рубежом.

Так, узбекскими исследователями рассматривается вопрос по переработке отходов от абрикосовых плодов, его аппаратурного оформления для дальнейшего использования и исследования, направленного на разработку нового способа производства узбекских национальных соленых косточек.

В РХТУ им. Д. И. Менделеева разрабатывается метод и технология получения недорогих углеродных сорбентов с высоким индексом качества для решения проблемы утилизации отходов (косточек). В странах Ближнего Востока косточковое масло используется в составе качественной косметики для ухода за проблемной кожей.

Утилизации косточек отводится особая роль, поскольку они являются ценным сырьем для масложировой промышленности, на предприятиях которой проводится комплексная переработка косточек. На основе анализа существующих путей переработки плодовых косточек составлена единая схема их утилизации (рисунок 1).

Из литературных источников известно, что масса, размеры и форма косточек зависит от вида, сорта, района произрастания и степени зрелости плодов. Содержание косточек к массе плодов составляет, %: абрикосы - 5,1–9,4; вишня - 8,3–13,0; персики - 5,0–9,1; слива - 3,3–7,0; черешня - 5,8–9,9, в широких пределах колеблются влажность, масса скорлупы и ядра, масличность и химический состав косточек [4]. Исследования по определению состава сухих косточек показали, что наибольшей масличностью ядра характеризуются косточки абрикосов (таб. 1), химический состав ядер сушеных косточек представлен в таблице 2.

Таблица 1.

Состав сухих плодовых косточек, %

Наименование	Содержание		Масличность к железа массе шуваева ядра
	ядра	скорлупы	
Абрикосы	27,0-28,0	71,9-72,9	47,2-50,3
Вишня	16,8-18,0	81,9-82,7	36,2-37,5
Слива	15,7-16,0	83,9-84,2	44,9-45,5

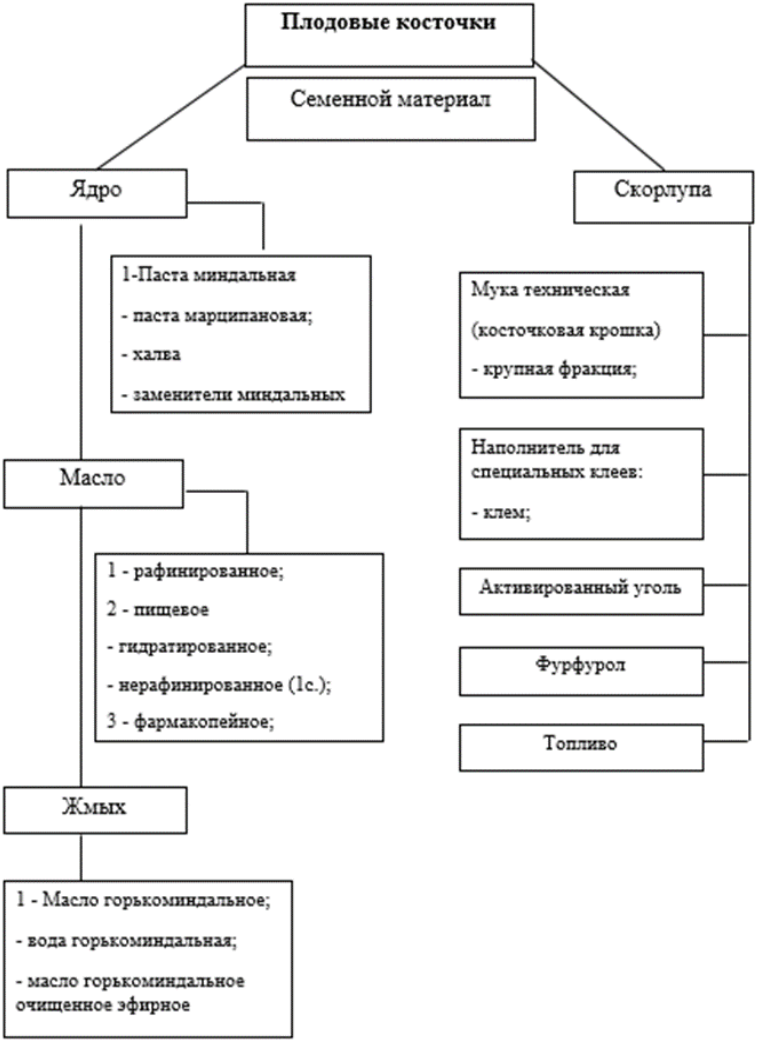


Рис. 1. Схема утилизации плодов

Ядра плодовых косточек богаты минеральными веществами, такими как соли калия и магния, по содержанию магния они значительно пре-

восходят орехоподобные (650–1340 мг/кг), а по количеству меди – миндаль (почти в 8,5 раза). Ценность ядер косточковых плодов обусловливается также содержанием в них железа, меди, кобальта [2].

Таблица 2.

Химический состав ядер сушеных косточек, (в %)

Наименование	**Сухие в-ва**	**Жир**	**Белок**	**Безазотистые экстрактивные мембран в-ва**	**Клетчатка**	**Зола**
Абрикосы	93,0	48,0-57,0	25,0-26,0	-	-	2,0-3,0
Вишня	93,5	41,0	18,0-25,0	23,0-27,0	5,0-8,0	1,5-2,5
Слива	93,0	31,0-59,0	20,0-30,0	17,0-24,0	6,0-7,4	2,5-3,5

Известно, что вес косточки кизила составляет 19,30 % от веса плода, количество жира в ядрах косточки-32,92%; дубильных веществ-1,62% от веса сырой косточки, литературных данных по косточке мушмулы германской вообще не найдено, более изученной является мушмула во японская.

Из всех составных частей косточки наибольший интерес представляет жирное масло, так как в числе жирных кислот глицеридов косточкого масла имеются насыщенные жирные кислоты (пальмитиновая и стеариновая и др.) и ненасыщенные (олеиновая, линолевая, линоленовые и др.). Эти структурные компоненты липидов участвуют в построении клеточных мембран, способствуют выведению из организма избыточного количества холестерина, повышают эластичность стенок кровеносных частей сосудов [1].

Косточковые масла – полувысыхающие прозрачные жидкости, от желтого до темно-коричневого цвета, со слабым запахом и вкусом миндаля. Ценность этой группы растительных масел определяется их физическими свойствами и особенностями химического состава, в который в большом количестве (74–87%) входят биологически активные полиненасыщенные жирные кислоты: олеиновая, линолевая и линоленовая,

среди которых преобладает наиболее важная для организма человека олеиновая кислота (до 47 %) [3].

Из пищевых отраслей потребителями косточковых масел являются кондитерская и молочная, которые не уступают по величине его закупок фармацевтической и парфюмерной промышленности [5]. Для пищевых и медицинских целей масло рафинируют и обесцвечивают темноокрашенные масла.

В ранее проведенных исследованиях рассматривается возможность промышленного применения косточек кизила и мушмулы германской, являющихся отходами при переработке обозначенных плодов в порошкообразные полуфабрикаты, так как для северокавказского региона запасы дикорастущих плодов кизила и мушмулы германской значительны и промышленная их переработка перспективна [3].

Для исследования качественного состава ядра косточки нами предлагается получить спектрограммы на приборе ИК-Фурье-спектрометре и по библиотеке спектров определить жирнокислотный состав.

Так как отделение ядра от скорлупы исследуемых косточек сопряжено со значительными потерями ядра, для подготовки образца получаем тонкий порошок из целой высушенной косточки кизила и мушмулы германской.

Получение опытного образца из косточек проводится в три этапа: сначала измельчаем на микромельнице до размера 100 мкм, далее вручную в ступке с пестиком из агата доводим до необходимой кондиции, затем вносим порошок бромида калия (предварительно подготовленный) и продолжаем перемешивать в ступке до равномерного распределения компонентов смеси.

Изготовление образца (таблетки) для оптических спектральных измерений проводим на пресс-форме ПФ-13 с усилием до 10 Тс, далее образец направляется на снятие ИК-спектров.

В настоящее время нами проводится работа по определению количественного состава полиненасыщенных жирных кислот, содержащихся в ядре косточек кизила и мушмулы методами экстракции и подбор наиболее оптимального растворителя.

Литература

1. Биотехнология биологически активных веществ: учебное пособие для студентов высших учебных заведений (Текст)/ Под редакцией И. М. Грачевой, Л.А.Ивановой. - М.: «Эвалар», 2006. 453 с.
2. Марчук Г. С. Перспективы полной утилизации плодовых косточек предприятиями консервной промышленности [Текст] / Г. С. Марчук. –М.: ЦНИИТЭИ, 1980. 42 с.

3. Рогова И. А., Антипова Л. В., Шуваева Г. П. Пищевая биотехнология: В 4 кн. Кн.1. Основы пищевой биотехнологии. –М.: КолосС, 2004. 440 с.
4. Щербаков В. Г., Лобанов В. Г..Биохимия и товароведение масличного сырья: Учебник. -7-е изд.- СПб.: Издательство «Лань», 2016. 392 с.
5. Джамалдинова Б. А. Получение и применение полуфабрикатов дикорастущих плодов для обогащения кондитерских изделий: дис.канд. тех. наук. Воронеж: 2007.
6. Журнал Кондитерское производство. №3. 2013. с. 6 [Электронный ресурс] URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19528360 (дата обращения 14.10.2021).

Исследования по влиянию внесения порошка топинамбура в рецептуру мясных полуфабрикатов на свойства котлет

Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия

Аннотация
В статье представлена пугающая ситуация в России по сахарному диабету. Предложен путь улучшения качества продуктов питания, в том числе для решения проблемы сахарного диабета. Исследован химический состав порошка топинамбура. Изучено влияние порошка топинамбура на функционально-технологические свойства фарша.

Ключевые слова
Топинамбур, порошок топинамбура, мясная промышленность, сахарный диабет.

Уже долгие годы сахарный диабет является важной проблемой человечества. Количество больных с каждым годом растет. По статистике, приведенной заместителем председателя правительства РФ по вопросам социальной политике Татьяной Голиковой, с начала 2019 по начало 2020 года количество больных диабетом среди взрослого населения увеличилось на 4,7% и составило 5,1 млн чел. Среди детей этот показатель увеличился на 5,3%, и составил 48,8 тыс. чел. [1].

Мир постоянно развивается. Существует множество различных методов по профилактике и лечению сахарного диабета. Существуют продукты, снижающие уровень сахара в крови, снижающие холестерин и выполняющие другие важные для нашего организма функции.

Инулин – полисахарид, состоящий из остатков β-D-фруктофуранозы, связанных между собой 2-1-гликозидными связями, и оканчивающимися остатком α-D-глюкопиранозы [2].

Инулин выполняет целый спектр функций в организме человека. Он может проникать сквозь мембраны клетки и заменять собою глюкозу, в дальнейшем выводит ее из организма. Инулин участвует не только в обмене углеводов, но и в обмене липидов. Он снижает количество холестерина, жирных кислот, ацетонов и альдегидов в организме и, таким образом, позволяет улучшить состояние организма [3].

Инулин является хорошим сорбентом, он выводит из организма шлаки, токсины, радионуклиды и тяжелые металлы, способствует очищению печени [3].

Инулин способствует усвоению некоторые минеральных веществ: кальция (и таким образом защищает здоровье костей), цинка и меди (повышает при этом резистентность организма) [3].

Положительное влияние инулина на ферменты печени, концентрацию кальция и фосфора в сыворотке крови и гематологические показатели у пациентов с сахарным диабетом II типа доказали Фарханги М.А., Джавид А.З., Дехган П. [4].

Инулин содержат некоторые растительные объекты: топинамбур, цикорий, одуванчик, ревень, чеснок и некоторые другие. В данной работе в качестве источника инулина используется топинамбур, а именно порошок из клубней топинамбура. В пищу поступают клубни топинамбура, а зеленая часть, которая составляет большую часть растения, идет на корм скоту.

Клубни топинамбура имеют следующий химический состав: 80% - вода, 2% - белок, 0,1% - жир, 1,5% - зола, 12,9% - углеводы, 4,6% - пищевые волокна. Калорийность клубней топинамбура составляет 60 ккал/ 100 г [5].

Для облегчения технологического процесса решено взять порошок из клубней топинамбура. Это позволяет убрать из технологической схемы такие операции, как мойка, очистка и измельчение клубней топинамбура. Помимо этого, такое решение позволяет повысить качество и биологическую ценность готового изделия.

Химический состав порошка топинамбура производства «Дары Памира» представлен в таблице 1.

Мясные продукты занимают не последнее место на каждом столе России. В настоящее время существует широкий ассортимент мясных продуктов: натуральные, рубленые мелкокусковые и крупнокусковые, фаршированные, в тесте и другие блюда. Одним из традиционных мясных блюд являются котлеты мясные. К сожалению, при современном темпе развития общества люди иногда не успевают питаться правильно и прибегают к помощи полуфабрикатов. Промышленные полуфабрикаты и готовые продукты часто несут в себе больше вреда, чем пользы. Высокий уровень животных жиров, замена животного белка на соевый, использование различных добавок неприродного происхождения, высокое содержание крахмала – все это негативно сказывается на здоровье населения.

Таблица 1.

Химический состав порошка топинамбура [6]

Показатель	**Порошок топинамбура тонкого помола**
Влага, %	5,9
Сухие вещества, %	94,1
Белок, %	5,3
Липиды, %	0,48
Минеральные вещества, %	5,4
Клетчатка, %	5,3
Углеводы, (расчетная), %	77,62
В том числе инулина (расчетная), %	33,2
Калорийность (расчетная), ккал/100 г	242

Для решения этой проблемы необходимо спроектировать такой продукт, который являлся бы полуфабрикатом, но при этом не нес в себе вреда для здоровья человека и обладал бы высокой биологической ценностью.

С этой целью предлагается вносить в мясные рубленые полуфабрикаты порошок топинамбура. Это позволит создать продукт с высокой биологической ценностью, который при этом будет подходить для питания людей, страдающих сахарным диабетом.

Для внесения порошка топинамбура в фарш, его необходимо гидратировать водой при температуре около 60°С, с гидромодулем порошок топинамбура: вода = 1:2.

Внесение порошка топинамбура в котлеты способствует не только повышению их биологической ценности, но и улучшает функционально-технологические свойства фарша.

На рисунке 1 представлена зависимость влагоудерживающей способности от массы вносимого порошка топинамбура.

Рис. 1. Зависимость ВУС фарша от содержания порошка топинамбура

Как видно из этих данных, при добавлении гидратированного порошка топинамбура ВУС увеличивается. Данное явление происходит благодаря наличию в составе порошка топинамбура белков с высокой гидрофильностью и наличием полисахаридного комплекса, который также удерживает влагу. Также внесение порошка топинамбура способствует повышению pH, что, в свою очередь, приводит к повышению водосвязывающей способности, а также водоудерживающей способности белков мясного фарша [7].

Оптимальная масса внесения гидратированного порошка топинамбура в фарш составляет 20%.

На рисунке 2 показана зависимость потерь массы при термической обработке изделий от массы вносимого порошка топинамбура

Рис. 2. Массопотери при термической обработке

По результатам видно, что при увеличении концентрации гидратированного порошка топинамбура массопотери понижаются. Это связано с увеличением водоудерживающей и жироудерживающей способ-

ности белков фарша при внесении гидратированного порошка топинамбура. Оптимальная масса внесенного гидратированного порошка топинамбура составляет 20%.

Заключение

Установлено, что использование порошка топинамбура в технологии мясных рубленых полуфабрикатов незначительно повышает ВУС, и в свою очередь снижает потери массы при термической обработке. Оптимальным количеством внесенного гидратированного порошка топинамбура в фарш является 10% от массы готового продукта. Возможно и дальнейшее повышение количества порошка топинамбура для повышения биологической ценности, но не выше 20%, от массы готового продукта. Дальнейшее повышение количества массы гидратированного порошка топинамбура снижает органолептические показатели.

Литература

1. Татьяна Голикова провела заседание Совета по вопросам попечительства в социальной сфере // Правительство России [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/news/40689/ (дата обращения 6.10.21)
2. Кнунянц И. Л. Химический энциклопедический словарь/ И.Л. Кнунянц, Е.В. Вонский, А. А. Гусев и др. Москва: Советская Энциклопедия, 1983. 791 с.
3. Муравьева Н. А. Использование порошка из топинамбура в технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов/ Н. А. Муравьева, Л. С. Байдалинова //IX Международная научно-практическая конференция «Пищевая и морская биотехнология» – 2020.
4. Farhangi M. A. The effect of enriched chicory inulin on liver enzymes, calcium homeostasis and hematological parameters in patients with type 2 diabetes mellitus: A randomized placebo-controlled trial/ M. A. Farhangi, A.Z. Javid, P. Dehghan// Primary care diabetes. – 2016. №10.1016.
5. Кочнев Н. К. Лечебно-диетические свойства топинамбура / Н. К. Кочнев, Л. А. Решетник // Иркутский государственный медицинский университет. 1997.№ 4 С. 6–11.
6. Муравьева Н. А., Использование инулинсодержащего сырья в качестве добавки в мясные эмульгированные продукты для людей, страдающих сахарным диабетом Н. А. Муравьева, Л. С. Байдалинова //Вестник молодежной науки. 2019. №4.
7. Ермош Л. Г., Использование муки топинамбура в технологии мясных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности Л. Г. Ермош // Вестник Красноярского государственного аграрного университета – 2013.

Catalytic action of water soluble fullerenol C60(OH)24 on vital activity of Streptococcus Thermophiles

Blokhin A. A. [2], Shaimardanov Zh. K. [1], Shaimardanova B. K. [1],

Kulenova N. A. [1], Keskinov V. A. [1,2], Ayat Kanbar [2],

Charykov N. A. [1,2,3], Gerasimova L.V. [2]

1 – Centre of excellence «Veritas», D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

2 – Saint-Petersburg State Technological Institute, Saint-Petersburg, Russia

3 – Saint-Pretersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg, Russia

Annotation

A starter culture based on live yogurt cultures (Streptococcus thermophiles) was used as the object of the study. Acccording to the results of potentiometry, it was found that acid accumulation occurs in all samples (with the absence or presence of fullerenol) and practically does not have a catalyzing or inhibiting effect on the formation of lactic acid. The equilibrium constants of pseudo-reactions of the formation of diplococcus and streptococcus from (mono)coccus are estimated in the framework of the locally equilibrium approximation.

Keywords

Streptococcus thermophiles, fullerenol, catalytic action on the acid formation and streptococcus consolidation.

A starter culture based on live yogurt cultures (Streptococcus thermophiles) was used as the object of the study [1]. The raw material for conducting research was whole milk pasteurized in the laboratory. Fullerenol $C_{60}(OH)_{24}$ concentration were varying in the range 0.0002-0.02 g/dm^3. The dynamics of lactic acid formation was determined, using a pH-potential-meter. It was shown that formal order of lattice formation at all fullerenol concentrations is nearly n=2/3 (Fig.1).

Acccording to the results of potentiometry, it was found that acid accumulation occurs in all samples (with the absence or presence of fullerenol)

and practically does not have a catalyzing or inhibiting effect on the formation of lactic acid.

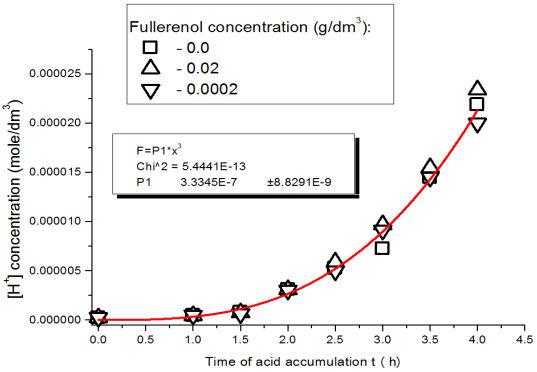


Fig. 1. Dynamics of lactic acid accumulation as a function of time (red line is calculation, according to the reaction of the order $n = 2/3$)

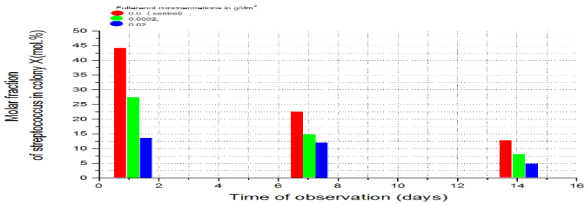


Fig. 2. The proportion of extended streptococcal chains in the total number of formations depending on the exposure time for the control experiment (red), at a concentration of fullerenol $C_{C60(OH)24} = 2 \cdot 10^{-4}$ g/dm^3 (green), at a concentration of fullerenol $C_{C60(OH)24} = 2 \cdot 10^{-2}$ g/dm^3 (blue)

The morphology of the culture was studied by optical microscopy. When analyzing the morphology of the resulting coccus structures, it was shown that fullerenol has an inhibitory effect on the formation of an extended chain coccus – streptococcus (Fig. 2), while have no effect on the formation of diplococcus. Let us introduce molar percent of streptococcus in the sum of all coccus formations:

$$X_{streptococcus} = [N_{streptococcus}/(N_{coccus}+N_{diplococcus} + N_{streptococcus})] \cdot 100\%,$$

where: N_i – average number of i-th formations in the standard in the field of illumination of microscope. As an example, the dependence of the molar per-

cent of the extended coccus structures - $X_{streptococcus}$ on fullerenol concentration are represented in Fig. 2. From Fig. 2 one can see, that fullerenol clearly suppresses development of streptococcus, catalyzing their decay in time. The equilibrium constants of pseudo-reactions of the formation of diplococcus and streptococcus from (mono)coccus are estimated in the framework of the locally equilibrium approximation.

Acknowledgements

This research has been supported by the Project IRN BR10965186 “Development and implementation of geoinformation support for "smart" agriculture to improve the management of the agro-industrial complex”, funded by the Science Committee of The Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

References

1. Podolsky N. E., Marcos M. A., Cabaleiro D., Semenov K. N., Lugo L., Petrov A. V., Charykov N. A., Sharoyko V. V., Vlasov T. D., Murin I. V. Physico-chemical properties of C60(OH)22-24 water solutions: density, viscosity, refraction index, isobaric heat capacity and antioxidant activity. // J. of Mol. Liq, 2019. № 278. P. 342–355.

Полифенолы как главные антиоксиданты для поддержания иммунитета в составе напитков с функциональными свойствами

Кварталова М. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Работа носит исследовательский характер. Описаны биологические эффекты полифенолов в составе разных категорий напитков.

Ключевые слова
Полифенолы, иммунитет.

Полифенолы (фенольные соединения растений) — класс соединений, широко представленных в плодах растений, отличаются наличием одного или нескольких бензольных колец, одной или более гидроксильных функциональных групп [15]. Полифенолы обладают широким спектром биологических эффектов (Таблица 1).

К сожалению, часто в ходе производства из-за особой обработки продукт теряет часть пищевой ценности, обедняется состав и количество функциональных ингредиентов, в первую очередь антиоксидантов [3]. Так, все группы полифенолов в разной степени чувствительны к воздействию высоких температур, окислению и свету, что существенно снижает диапазон возможностей кулинарной обработки. Кроме того, готовый продукт для сохранения всех полезных свойств необходимо хранить в плотной либо тёмной упаковке для предотвращения попадания на продукт солнечных лучей [15].

Плоды садовых и лесных растений содержат большое количество антиоксидантов, в том числе полифенолов и усиливающего действие полифенолов витамина С [15]. Так, с добавлением ягод можно изготовить кондитерские изделия, безалкогольные и алкогольные напитки [11]. В кондитерских изделиях и в йогуртах ягоды и фрукты обычно добавляются в виде варенья либо сиропа, реже в свежем виде, десерты традиционно характеризуются высоким содержанием вносимого дополнительно сахара. Поэтому наиболее предпочтительной категорией для сохранения полезных свойств полифенолов, в том числе из-за более щадящих по времени и интенсивности действия температур, являются напитки.

Таблица 1.
Состав полифенолов разрабатываемого функционального напитка

Группа полифенолов	**Соединение**	**Эффект**
Антоцианы	цианидин, пеонидин, дельфинидин, мальвидин, пеларгонидин	Противоопухолевый, сосудоукрепляющий [11]
Стильбены	ресвератрол	Противоопухолевый [8]
Катехины	(+)- катехин, (-)- эпикатехин	Антирадикальный [7], усиливают эффект рентгенооблучения при лечении опухолей [10, 2, 9]
Флавонолы	кверцетин, мирицетин, кемпферол	Антиоксидантный, детоксикация [3,10], антирадикальный [9]
Гидроксибензойные кислоты	галловая, эллаговая, протокатеховая	Антибактериальный, антивирусный, гипогликемический, антиоксидантный [1]
Гидроксикоричные кислоты	кофейная, феруловая, кумаровая, хлорогеновая	Иммуномодулирующий, антимикробный, противовирусный, антиоксидантный, гипогликемический [1]

Напитки с полифенолами, обладающие функциональными свойствами, условно можно разделить на категории: безалкогольные напитки - морсы, соки, чаи; спиртосодержащая продукция - вино, настойки, спиртованные морсы.

Спиртосодержащая продукция. В красном вине содержится большое количество антоцианидинов, флавонолов (3-гидроксифлавонов), гидроксикоричных кислот, стильбенов. Антоцианы обладают наибольшей активностью из полифенолов улавливать и инактивировать три типа кислородных радикалов - пероксид радикал, гидроксил радикал и пероксинитрит [10, 3]. Гидроксикоричные кислоты способствуют формированию адекватного иммунного ответа и поддержанию адаптационного потенциала организма; участвуют в подавлении процессов воспа-

ления, усиливают активность белков, которые должны защищать организм от чужеродных агентов (в т.ч. микроорганизмов), стимулируют поглощение клетками иммунной системы чужеродных частиц, вирусов, бактерий, усиливают выработку интерферонов – мощного противовирусного оружия [1]. Флавонолы оказывают антиоксидантное действие [10]. Ресвератрол (семейство стильбеноидов) являются мощными ингибиторами канцерогенеза *in vivo* и обладают антипролиферативным действием на опухолевые клетки *in vitro* [8]. Ассортимент настоек очень разнообразен, возможно добавление различных трав, что усиливает изобилие витаминов и полифенольных соединений. Например, настойки отличаются высоким содержанием кумаринов, которые являются природными спазмолитиками и сосудорасширяющими средствами, губительно влияют на грибки, и дубильных веществ, которые оказывают противовоспалительное, местное вяжущее либо раздражающее действие непосредственно на слизистые оболочки [4]. Спиртованные морсы производят из разных ягод, например, из калины, черноплодной рябины или клюквы. Существует спиртованный сок из чёрной смородины [13].

Безалкогольные напитки.

Чаи содержат катехины (флаван-3-олы), таннины (проантоцианидины). Катехины поддерживают в нормальном состоянии или восстанавливают нарушенную проницаемость капилляров (укрепляют сосуды) — обладают наиболее высокой Р-витаминной активностью по сравнению с другими группами флавоноидных соединений — флаванолами и флаванонами. Они также усиливают эффект рентгенооблучения при лечении опухолей и повышают сопротивляемость организма к действию рентгеновских лучей [10, 2, 9]. Одним из самых полезных напитков в мире признан чай матча. Он содержит в 137 раз больше антиоксидантов и в 10 раз больше питательных веществ по сравнению с обычным листовым чаем. Это достигается с помощью уникальной обработки и технологии изготовления чая [2].

Наиболее широко отдельные полифенольные группы представлены в соках и морсах из-за богатого состава возможных ингредиентов этих категорий. Морсы делают из ягод или их сочетания: чёрная смородина, черника, клюква, малина, черёмуха [18]. Причём польза морса напрямую зависит от содержания антоцианов, что визуально можно определись по насыщенности окраски. Антоцианы имеют оттенки от розового до чёрно-фиолетового [18].

Соки и морсы назначают в качестве лекарства при некоторых заболеваниях. Известно, что проантоцианидины, содержащиеся в клюквенном соке, препятствуют образованию зубного камня, а также замедляют

прикрепление бактерий типа *E. coli* к стенкам мочевыводящих путей и предотвращают воспаления в этих органах [10].

При анализе рыночных предложений категории соков было замечено преобладание одного вида ягод в составе, тогда как остальные ингредиенты - фрукты. Существует несколько продуктов разных производителей, в составе которых 3 вида ягод. Такая рецептура отражена в названии с помощью слова «Лесные». Морсы же, в основном делают из одной-двух ягод.

Существуют различные ограничения, по которым такие категории, как вина и настойки, нельзя продавать лицам, не достигшим 18 лет, т.к. эти формы являются спиртосодержащей пищевой продукцией (на основании подп. 11 п. 2. Ст. 16 Закона № 171-ФЗ) [5]. Как правило, для приготовления настойки на 20 г сырья берут 100 мл спирта и получают 20% настойку [4]. Алкоголь противопоказан беременным женщинам из-за губительного влияния на организм матери и плода, в частности, из-за явления окислительного стресса вследствие увеличения количества свободных радикалов и уменьшения уровня антиоксидантов [12, 17]. Это пагубное действие алкоголя противоположно ожидаемым биологическим эффектам от употребления разработанного функционального напитка, поэтому разработанный напиток не относится к данной категории.

Безалкогольные напитки пользуются спросом у всех групп населения, в том числе в питании здоровых и больных людей, а также детей [14].

Была проведена фокус-группа, в состав которой входили 5 пищевых биотехнологов, в ходе которой было выяснено, что для напитков с антиоксидантами из категорий «Сок», «Морс» чрезвычайно важна натуральность, насыщенность вкуса, в составе данных категорий отталкивает большое количество вносимого сахара, воды, ненатуральный вкус или привкусы, которые могут давать составляющие, не указанные в составе, либо неучтённое влияние составляющих друг на друга.

Напиток, лабораторные образцы которого разработаны на факультете биотехнологий, отличается тем, что он имеет натуральный состав, является функциональным напитком по содержанию полифенолов (таблица 1) и витамина С. Ягоды, фрукты и травы в составе сока являются источниками витаминов, напрямую влияющих на иммунитет: С, Р, Е, А, В2, В6, РР [20]. Полифенолы, витамин С, Е обладают антиоксидантными свойствами. Витамин К, вит. В5, калий, железо, медь, магний поддерживают в норме состояние сердечно-сосудистой системы. Кремний стимулирует синтез коллагена. Калий способствует нормальной передаче нервных импульсов, медь и железо участвует в насыщении клеток кислородом. Медь и марганец поддерживают в норме состояние костной ткани [19].

Опираясь на литературные данные, компоненты напитка подобраны таким образом, что напиток показан для профилактики простудных заболеваний, борется с окислительным стрессом, анемией, снижает уровень сахара в крови, холестерин, улучшает состояние кровеносных сосудов, борется со старением.

Был проведён сенсорный анализ напитка, выделены следующие параметры для описания: сладость, ягодный вкус, травяной вкус, фруктовый вкус, кислотность, насыщенность цвета, мутность. Так как разрабатываемый напиток не имеет аналога на рынке, было принято решение взять для сравнительного профилирования морс известного бренда, который, как заявляет производитель, имеет в составе антиоксиданты. Результаты представлены на рисунке 1.

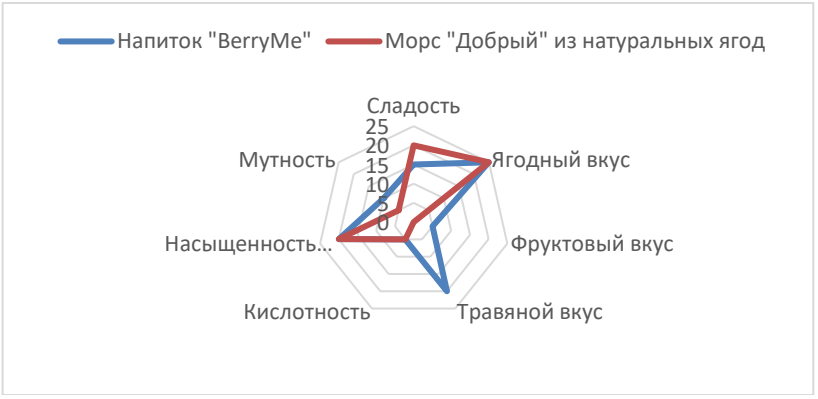


Рис. 1. Сравнительное профилирование разрабатываемого продукта и продукта схожей категории

Из рисунка видно, что напиток существенно отличается от типичного представителя категории безалкогольных напитков из-за выраженности ягодного и травяного вкуса. Напиток имеет ярко-красный цвет (рис. 2) и приятную текстуру, его рекомендуется пить не на голодный желудок.

Следующим этапом работы станет определение суммы растворимых полифенольных соединений, витамина С, сухих веществ, общих сахаров, подбор параметров обработки сока, получение сертификата качества, получение пробной партии промышленных образцов функционального напитка.

Рис. 2. Внешний вид лабораторного образца разрабатываемого функционального напитка

Литература

1. Быстрова Е. А., Алексеенко Е. В. Исследование компонентного состава фенольных соединений и антиоксидантной активности брусничного сока // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 3. С. 19–26.
2. Ву Тхи Тинь Использование японского чая матча в производстве йогуртов / Ву Тхи Тинь, И. В. Мгебришвили, В. Н. Храмова, А. А. Короткова, И. Ф. Горлов // Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 26—29.
3. Донская Г. А. Напитки кисломолочные с повышенным содержанием сывороточных белков и водорастворимых антиоксидантов / Г. А. Донская, В. М. Дрожжин, В. В. Брызгалина // Вестник МГТУ. — 2018. Т. 21. № 3. С. 471–480.
4. Ершова И. Б. Общие требования к приготовлению настоек, отваров. Дозирование фитопрепаратов / И. Б. Ершова, Т. Ф. Осипова // Актуальная инфектология. 2016. № 3. С. 123–127.
5. Закон № 171-ФЗ.
6. Зверев Я. Ф. Антитромбоцитарная активность флавоноидов // Вопросы питания. 2017. № 6. С. 6–20.
7. Зверев Я. Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Антиоксидантная и противовоспалительная активность // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т.15. № 4. С. 5—13.

8. Костюк В. А. Растительные полифенольные соединения как компоненты функционального питания // Труды Белорусского государственного университета. 2016. Том 11. С. 32–41.
9. Кудрявцев Г. П. Химия природных соединений: учебно-методический комплекс для студентов биологических специальностей. — Витебск.: Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, 2009. 233 с.
10. Лютикова М. Н. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы / М. Н. Лютикова, Э.Х. Ботиров // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 5–27.
11. Макарова Н. В. Антиокислительное действие ягод / Н. В. Макарова, А.В., Ю.И. Мирошкина // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2010. № 2–3. С. 10–12.
12. Марянян А. Ю. Патогенетическое влияние алкоголя на организм беременной женщины и плода // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. С. 87–90.
13. Поляков В. А. Антиоксиданты и их применение в ликёроводочной промышленности / В. А. Поляков, И. М. Абрамова, Е. В. Воробьёва, Л. П. Галлямова, Н. Е. Головачёва // Пищевая промышленность. 2017. № 12. С. 12–16.
14. Ребезов М.Б. Анализ рынка функциональных безалкогольных напитков (на примере города Челябинска) / М. Б. Ребезов, Н. Л. Наумова, С. А. Комаров, Р. В. Залилов, О. В. Зинина // Пиво и напитки 2011. № 4. С. 4–6.
15. Соловьёва Н. Л., Сокуренко М. С. Технологии повышения стабильности полифенольных соединений в лекарственных препаратах // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 4. С. 82–91.
16. Сухорская О. П Анализ основных растительных источников биофлавоноидов для создания продуктов лечебно-профилактического назначения / О.П. Сухорская, Н.Б. Сливка, О.Я. Билык // Научный вестник ЛНУВМБ имени С.З. Гжитского. 2017. № 80. С. 107—110.
17. Тё Н. В. Оценка опыта влияния вредных привычек у беременных на здоровье новорождённых / Н.В. Тё, Т. Г. Кашафутдинова // Вестник КазНМУ. 2020. № 2 С. 535–537.
18. Фараджаева Е. Д. Безалкогольный напиток функционального назначения / Е. Д. Фараджаева, А. Е. Чусова, Н. И. Алексеева, К. К. Полянский // Пиво и напитки. № 1. 2010 г. С. 17–19.
19. Химический состав и пищевая ценность продуктов питания (Электронный ресурс) URL: https://health-diet.ru (дата обращения: 19.10.2021).
20. Vitamins associated with immunity (Электронный ресурс) — URL: https://www.efsa.europa.eu/en/search?s=vitamins%20associated%20with%20immunity&page=1 (дата обращения: 12.10.2021).

Определение общего содержания полифенольных соединений внапитках на основе виноградного сока и экстракта шиповника

Пасечный Д. С., Смотраева И. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Полифенольные соединения – антиоксиданты, играющие важную роль в борьбе с некоторыми заболеваниями. В рамках исследования были исследованы напитки, содержащие экстракт сушёных плодов шиповника и сок из красного винограда в массовом соотношении: 3:1; 1:1; 1:3. Количественное содержание суммы полифенолов определяли колориметрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Результат был получен на основании полученной зависимости оптической плотности стандартных растворов галловой кислоты от их концентрации. Полученные данные могут быть полезны при разработке рецептур функциональных напитков с антиоксидантными свойствами.

Ключевые слова
Полифенольные соединения, фитохимические вещества, реактив Фолина-Чокальтеу, экстракт шиповника, виноградный сок, напитки на растительном сырье.

Введение

В последнее время функциональные продукты растительного происхождения представляют интерес для исследователей. Всё большее внимание уделяется фитохимическим веществам вследствие их биологической активности.

Полифенольные соединения – многочисленная группа биологически активных веществ с выраженной антиокислительной активностью. Они также играют важную роль для борьбы с онкологическими заболеваниями, сахарным диабетом, заболеваниями сердечно-сосудистой системы и др. Вещества данной группы содержатся в растениях и, следовательно, в продуктах из растительного сырья. Чтобы вещества полифенольной природы могли оказать своё биологическое действие на организм, они должны быть биодоступными. Скорость их всасывания в кишечнике зависит от их химической структуры.

К числу основных причин смерти в развитых странах относятся инсульт и ишемическая болезнь. Результаты различных исследований показывают, что включение в рацион питания продуктов, богатых полифенолами, снижают риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы. Уровень смертности, вызванный данной группой заболеваний, снижается при употреблении флавононов и антоцианов. Отмечено благоприятное воздействие чая, какао и красного винограда на сердце.

Флаванолы и флавонолы могут быть использованы для предотвращения повреждения сосудов, обусловленного возрастом. Ряд исследований «случай-контроль» показал, что регулярное потребление овощей и фруктов замедляет прогрессирование некоторых видов рака. Согласно многим исследованиям, различные овощи и фрукты, богатые полифенолами, эффективны в защите от развития рака толстой кишки [1].

Полифенольные соединения относятся к антиоксидантам – веществам, важным для защиты от повреждений, вызванных действием свободных радикалов. Полифенолы также участвуют в повышении противоопухолевого потенциала. Экзогенные антиоксиданты играют важную роль в случаях, когда эндогенные (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидазы и др.) не могут обеспечить контроль над организмом [2]. Потребление антиоксидантов - полезный критерий для оценки потенциала диеты для предотвращения хронических заболеваний, связанных с окислительным стрессом и сопровождаемыми им заболеваниями и старением.

В сбалансированном питании здоровых людей присутствуют фрукты, овощи, злаки, орехи, напитки и др. Разнообразие продуктов растительного происхождения обеспечивает поступление в организм различных антиоксидантов [3]. Виноград содержит большое количество фитохимических соединений, в том числе полифенолов [4]. Шиповник используется в качестве сырья для экстрактов и витаминных добавок ввиду своего химического состава. В данном растении также присутствуют каротиноиды и фенолы, являющиеся диетическими антиоксидантами [5].

Объекты и методы исследований

Для исследования были приготовлены двухкомпонентные напитки, состоящие из экстракта сушеных плодов шиповника и сока красных сортов винограда в различном массовом соотношении: 3:1, 1:1, 1:3 соответственно. Внешний вид полученных образцов представлен на рис. 1. Концентрация сухих веществ была измерена с помощью автоматического рефрактометра PTR 46. В основе рефрактометрического метода лежит зависимость показателя преломления от состава исследуемого образца. Показатель водородных ионов pH был определён электрометрическим методом с использованием титратора автоматического

«Metrohm 848 Titrino plus». Метод основан на обмене ионов между раствором и погруженным в раствор электродом.

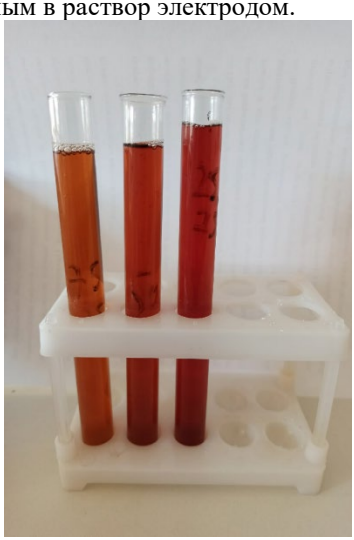


Рис. 1. Внешний вид образцов (3:1, 1:1, 1:3)

Общее содержание полифенольных соединений в образцах было определено методом Фолина-Чокальтеу в пересчете на галловую кислоту. В состав реактива Фолина-Чокальтеу входят фосфорно-вольфрамовые кислоты, которые восстанавливаются при взаимодействии с легко окисляющимися ОН-группами фенола. Образующаяся вольфрамовая синь придаёт образцам синий цвет. В качестве стандарта выступает галловая кислота. Для приготовления исходного стандартного раствора 0.110 ± 0.001 г моногидрата галловой кислоты поместили в мерную колбу объёмом 100 см^3, растворили в воде, довели до метки и перемешали. Для получения стандартных растворов 1–7 перенесли указанные в таб. 1 объёмы исходного стандартного раствора в мерную колбу вместимостью 100 см^3 и довели до метки водой при постоянном перемешивании.

Линейный градуировочный график (рис. 2) построили, откладывая на оси X значения концентрации галловой кислоты в стандартных растворах 1–7, на оси Y - значения результатов измерения оптической плотности каждого из стандартных растворов 1–7.

Таблица 1.

Стандартные растворы галловой кислоты

Галловая кислота, стандартный раствор	Объём исходного стандартного раствора галловой кислоты, $см^3$	Концентрация галловой кислоты в стандартном растворе, $мкг/см^3$	Оптическая плотность стандартного раствора галловой кислоты
1	0.3	3	0.0595
2	1.0	10	0.1295
3	1.5	15	0.1915
4	2.0	20	0.3265
5	3.0	30	0.3985
6	4.0	40	0.5505
7	5.0	50	0.5620

Рис. 2. Зависимость оптической плотности от концентрации галловой кислоты в стандартных растворах

Перед началом испытания образцы были разбавлены в сто раз (разбавление учитывалось при обработке результатов). В градуированную пробирку вместимостью 10 $см^3$ поместили 1 $см^3$ разбавленного образца,

добавили 1 см^3 дистиллированной воды и 0.5 см^3 реактива Фолина-Чокальтеу. Через три минуты остановили реакцию с помощью 1 см^3 10 %-ого раствора карбоната натрия и довели объём до 10 см^3 дистиллированной водой. Для приготовления холостой пробы вместо 1 см^3 разбавленного образца взяли 1 см^3 дистиллированной воды. Образцы выдерживались в течение одного часа при комнатной температуре в тёмном месте, после чего была измерена оптическая плотность при длине волны 760 нм.

Результаты исследований

Оптическая плотность стандартных растворов галловой кислоты (1-7) и образцов была измерена с помощью фотометра фотоэлектрического КФК-3- «ЗОМЗ». Среднеарифметические значения результатов трёх измерений оптической плотности A_{760} для образцов 3:1, 1:1 и 1:3 составили 0.303; 0.172 и 0.227 соответственно. Общее содержание полифенолов было определено с помощью уравнения линейной регрессии ($y = 0.0116x + 0.0388$). Результаты представлены в таб. 2.

Таблица 2.

Физико-химические показатели образцов

Параметр	3:1	1:1	1:3
Концентрация сухих веществ, %	4.5	6.5	7.4
pH	3.763	3.628	3.514
Общее содержание полифенолов, эквиваленты галловой кислоты, в мг/л	2268	1136	1613

Заключение

На основании проведённых исследований была получена зависимость оптической плотности стандартных растворов галловой кислоты от их концентрации. На основании этой зависимости было рассчитано выраженное в эквивалентах галловой кислоты в мг/л общее содержание полифенолов в исследуемых образцах. Исследования показали, что наибольшее содержание общих полифенолов получено в образце напитка с соотношением экстракта сушеных плодов шиповника и виноградного сока 3:1 и составило 2268 мг/л, что, предположительно, можно объяснить более высоким содержанием полифенолов в плодах шиповника по сравнению с виноградным соком. Данный образец может послужить основой для создания функционального напитка с антиоксидантными свойствами.

Литература

1. Abbas M. et al. Natural polyphenols: An overview //International Journal of Food Properties. 2017. Т. 20. №. 8. С. 1689–1699.
2. Pérez-Jiménez J., Saura-Calixto F. Fruit peels as sources of non-extractable polyphenols or macromolecular antioxidants: Analysis and nutritional implications //Food Research International. 2018. Т. 111. С. 148–152.
3. Goñi I., Hernández-Galiot A. Intake of nutrient and non-nutrient dietary antioxidants. Contribution of macromolecular antioxidant polyphenols in an elderly mediterranean population //Nutrients. 2019. Т. 11. №. 9. С. 2165.
4. Karthikeyan M. G. et al. Grapes (Vitis vitaceae)-potent medicinal fruit serves as a source of antioxidants and antibacterial agent //International Journal of Current Science Research and Review. 2020. Т. 3. С. 1–12.
5. Gao X. et al. Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems //Journal of the Science of Food and Agriculture. 2000. Т. 80. №. 14. С. 2021–2027.

Кинетика реакций превращения фенольных соединений в полуфабрикатах из цикория салатного Эндивий в процессе замораживания и хранения

Колодязная В. С., Кипрушкина Е. И., Румянцева О. Н.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

В пищевом рационе современного человека важную роль имеют зеленные культуры, отличающиеся высоким содержанием биологически активных веществ [1]. В почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона РФ, в том числе в Ленинградской области, выращиваются различные сорта цикория салатного - селекционного продукта дикорастущего цикория, многолетнего растения из семейства Asteraceae. Существует 3 разновидности салатного цикория - Эндивий, Эскариол и Витлуф, отличающихся по урожайности, химическому составу и биологической ценности [2, 3]. Промышленное значение имеет цикорий салатный Эндивий. Наличие гликозида интибина и таких макро- и микроэлементов, как калий, кальций, железо, марганец, медь, кобальт, магний, барий, алюминий, цинк, а также ряда витаминов (С, В1, В2, В6, РР, К), позволяет использовать салатный цикорий для лечебного и диетического питания [4, 5].

В настоящее время отсутствует научная информация по влиянию замораживания и продолжительности хранения салатного цикория различных сортов на изменение содержания ФС

В работе приведены результаты исследований по влиянию замораживания и продолжительности хранения полуфабрикатов из цикория салатного Эндивия различных сортов на изменение содержания моно- и димерных фенольных соединений и их суммы (ΣФС).

Цель исследования – изучить кинетику реакций окисления и гидролиза фенольных соединений цикория салатного Эндивия в процессе замораживания и хранения.

Объектами исследования выбраны следующие сорта цикория салатного: отечественные сорта салатного цикория Кружево и Эльвира, и итальянский сорт Корнетто К-56. Сорта выращены в коллекционном саду Павловской опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВНИИР). Урожай собран в начале октября 2019 гг.

После сбора урожая в свежем салате, после гомогенизации и замораживания и периодически в процессе хранения определяли общее содержание ФС, сумму фенолкарбоновых кислот и флавоноидов методом спектрофотометрии.

Таблица.

Изменение содержания ΣФС при хранении замороженных полуфабрикатов, %

Сорт	До замораживания	После замораживания	60	120	180	210
Кружево						
Контроль	1,43 ±0,12	1,30 ±0,11	1,27 ±0,10	1,24 ±0,09	1,20±0,09	0,76±0,04
Опыт		1,37±0,11	1,32±0,10	1,30 ±0,10	1,26 ±0,09	1,07±0,07
Эльвира						
Контроль	1,27±0,10	1,15±0,08	1,12±0,06	1,08±0,07	1,03± 0,07	0,67± 0,03
Опыт		1,22±0,10	1,18±0,08	1,14±0,08	1,11± 0,08	0,96±0,08
Корнетто К-56						
Контроль	1,18±0,09	1,07±0,08	1,04±0,05	1,00±0,05	0,94±0,04	0,56 ±0,03
Опыт		1,14±0,09	1,12±0,09	1,08±0,06	1,0 ± 0,05	0,94±0,05

Как следует из таблицы, в процессе замораживания цикория салатного сортов Кружево, Эльвира и Корнетто К-56 ΣФС уменьшается на 9,1;.9,3 и 9,4 %; в процессе хранения в течение 7 мес. в замороженном состоянии количество их изменяется незначительно и уменьшается на 8,7;10,5 и 12,2 % соответственно.

Рассчитаны константы скорости реакции (псевдопервого порядка) изменения содержания исследуемых веществ в процессе хранения полуфабрикатов из цикория салатного.

Показано, что в процессе хранения цикория салатного максимально сохраняются ФС и снижаются потери клеточного сока в сортах Эльвира и Кружево в течение 180 сут, в сорте Корнетто К-56 – 150 сут.

Замороженный полуфабрикат из гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов рекомендуется использовать в технологии низкокалорийных напитков, хлебобулочных и кондитерских изделий.

Выявлены кинетические зависимости изменения содержания фенольных соединений от продолжительности хранения замороженных полуфабрикатов, изготовленных из цикория салатного сортов Кружево, Эльвира, Корнетто.

Рассчитаны константы скорости реакции (псевдопервого порядка) изменения содержания исследуемых веществ в процессе хранения.

Для снижения потерь клеточного сока при размораживании и сохранения ФС при хранении рекомендуется на стадии гомогенизации добавлять пектин в количестве 3,0 % от массы гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов.

Показано, что в процессе хранения цикория салатного максимально сохраняются ФС и снижаются потери клеточного сока в сортах Эльвира и Кружево в течение 180 сут, в сорте Корнетто К-56 – 150 сут.

Замороженный полуфабрикат из гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов рекомендуется использовать в технологии низкокалорийных напитков, хлебобулочных и кондитерских изделий.

Литература

1. Пивоваров В. Ф., Пышная О. Н., Гуркина Л. К. Овощи – продукты и сырье для функционального питания // Вопросы питания. 2017. №3. с. 121–127.
2. Шевченко Ю. П., Харченко В. А., Ушакова И. Т., Курбаков Е. Л. Цикорий салатный – витлуф // Овощи России. 2016. №2 (31). с. 64–67.
3. Клементьев Д. А, Колодязная В. С. Биологически активные вещества цикория салатного и кинетика их изменения при холодильном хранении // Холодильная техника. 2019, №6. С. 46–51.
4. Сайбель О. Л., Изучение фенольных соединений травы цикория обыкновенного (Cichorium Intybus L.) // Химический журнал. 2016. № 1. С. 53–58.
5. Моисеев Д. В., Антимикробная активность растительного сырья, содержащего фенольные соединения, в зависимости от типа упаковки и температурных режимов хранения / Д. В. Моисеев // Вестник ВГМУ. 2014. № 5. С. 130–136.

6. Хайруллина З. А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности продуктов из цикория /З. А. Хайруллина, А. В. Канарский, Г. П. Шуваева // Вестник ВГУИТ. 2016. № 1. С. 203–206.
7. Хайруллина З. А. Фитохимический состав продуктов из цикория (Cichorium Intybus L.) / З. А. Хайруллина, А. В. Канарский // Вестник Международной академии холода. 2016. № 2. С. 21–25.
8. Базарнова Ю. Г. Методы исследования свойств сырья и пищевой продукции; СПб – НИУ ИТМО. 2012. 76 с.

Применение бетаина в хлебопечении

Герасимов А. А. [1,2], Баракова Н. В.[1]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – «САФ-НЕВА»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В данной работе исследована возможность применения бетаина для производства функционального продукта питания, а именно хлеба пшеничного. На основании результатов пробных лабораторных выпечек и анализа органолептических свойств готовых изделий сформулирован вывод о высоком потенциале использования продукта «Бетаинекс» в технологиях хлебопечения. «Бетаинекс» является переработанным вторичным сырьевым материалом дрожжевого производства и в дозировке 1,08% к массе муки способен восполнять 15% от суточной потребности человека в бетаине при употреблении дневной нормы хлеба.

Ключевые слова
Бетаин, Бетаинекс, хлебопечение, функциональные продукты питания.

Большинство транснациональных компаний пищевого сектора поддерживает и соблюдает принципы устойчивого развития, цели которого сформулированы ООН в 2015 году [1]. Цель №12 «Обеспечение рациональных моделей потребления и производства» имеет широкое распространение также среди предприятий регионального уровня. Улучшение питания и ликвидация голода отмечены в рамках цели №2. Основные положения данных целей довольно легко воспроизводятся в масштабах отрасли. В свою очередь, Стратегией развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года сформулирована задача, стимулирующая «широкое использование ресурсосберегающих технологий и внедрение инновационных биотехнологий, позволяющих использовать при переработке нетрадиционные виды сырья» [2]. На основании положений, предложенных организациями мирового и государственного значения, целесообразной является разработка пищевого продута функционального назначения с использованием вторичных сырьевых материалов.

В технологии производства хлебопекарных дрожжей уникальным является побочный продукт – винасса, которая находит широкое применение в различных отраслях агропромышленного комплекса – в ка-

честве кормовой добавки в животноводстве и удобрения в сельском хозяйстве. Отдельная форма данного продукта, богатого с точки зрения химического состава, под коммерческим названием «Битаинекс» отличается высокой степенью пищевой безопасности и высоким содержанием триметилглицина (бетаина), который имеет натуральное происхождение. Установлено, что бетаин является биологически активной добавкой, которая оказывает профилактическое действие на работу различных систем организма [3]. Например, в исследовании [4] отмечено сокращение смертности у раковых больных при повышенном потреблении бетаина. В работах, сопряженных с разработкой пищевого продукта, бетаин применяется в качестве функционального ингредиента, например, в рецептурах кондитерских изделий [5]. В технологиях хлебопечения некоторое применение винассы защищено патентом [6], в котором отмечаются положительные органолептические свойства хлеба, произведенного с использованием данного ингредиента в дозировке 0,5–1,5%. Следует подчеркнуть, что среднестатистическое потребление бетаина составляет 126,8 мг/сутки, причем продукты питания, произведенные из переработанного зерна, такие как макароны, хлеб и злаковые отруби, являются элементами рациона человека, которые обеспечивают практически 50% от указанного количества бетаина [4]. Тем не менее, для достижения рекомендованной нормы потребления (3 г/сутки) [3] необходимо использовать дополнительные источники. Одной из представленных на рынке форм бетаина является бетаин гидрохлорид синтетического происхождения. Данный препарат в виде кристаллического порошка также активно используется в животноводстве в качестве подкормки для скота.

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности применения бетаина различного происхождения в качестве функционального ингредиента при производстве хлебобулочных изделий.

Источниками бетаина служили: (1) синтетический бетаин гидрохлорид (Бетаин HCl): порошок, концентрация бетаина 99%, pH 2,08, производитель SUZHOUVITAJOY BIO-TECH CO. LTD., Китай; (2) кормовая добавка «Бетаинекс» – вязкая жидкость, содержание бетаина на сухое вещество (с.в.) 23%, pH 3,64, производитель ООО «САФ-НЕВА», Россия.

Пробную лабораторную выпечку проводили по модельной технологии пшеничного хлеба (таб. 1). При внесении источников бетаина на замес теста осуществляли корректировку рецептуры по с.в. Кислотность теста определяли титриметрическим способом (ТТА) по окончании расстойки, где в качестве титранта использовали 0,1 н раствор NaOH, результаты выражали в градусах кислотности. Газообразующую и газоудерживающую способности определяли с помощью измерения высоты

подъема куска теста в цилиндрах (цена деления 10 $см^3$). Значения регистрировали в $см^3$ по окончании основного времени расстойки. Удельный объем готовых изделий определяли методом вытесненного объема, значения выражали в $см^3/г$. Измерения удельного объема проводили дважды: анализировали изделия, выпеченные при основном времени расстойки и при дополнительном – 25 мин для определения стабильности теста при ферментации. На основании результатов дегустации определяли органолептические показатели качества выпечки. Балловую оценку качества давала фокус-группа, состоящая из 12 человек.

Таблица 1.

Рецептура и технологические параметры приготовления пшеничного хлеба

Рецептура		
Наименование ингредиента	**Расход, %**	
Мука пшеничная хлебопекарная высший сорт	100,0	
Дрожжи хлебопекарные прессованные	1,5	
Соль пищевая	1,5	
Вода	65,0	
Выход теста	168,0	
Технологические режимы		
Наименование технологического параметра	**Единица измерения**	**Значение**
Продолжительность замеса теста (1ая скорость)	с	300
Температура теста начальная	°С	27 – 28
Продолжительность брожения	мин	60
Продолжительность деления и отлежки	мин	20
Масса тестовой заготовки	г	400
Температура воздуха; расстойка	°С	38
Относительная влажность воздуха; расстойка	%	75
Продолжительность расстойки	мин	80–100 (определение по готовности)
Продолжительность выпечки	мин	20
Температура выпечки	°С	230

Расчет дозировки функционального ингредиента проводили с учетом данных Министерства здравоохранения Российской Федерации. Рекомендуемая норма потребления хлебных продуктов (в пересчете на муку) составляет 263 г/сут/человек [7], рекомендуемая суточная норма потребления человеком бетаина составляет 3 г [3]. Используя данные нормативной документации, принятую рецептуру и массовую долю бетаина в используемых ингредиентах и содержание с.в. в последних, были рассчитаны дозировки используемых ингредиентов к массе муки: 1,2% - Бетаин HCl, 7,1% - «Бетаинекс» для восполнения всей суточной потребности в бетаине и 0,18% - Бетаин HCl, 1,06% - «Бетаинекс» для восполнения 15% от суточной потребности в бетаине (согласно требованиям ГОСТ для функциональных продуктов питания) [8].

«Бетаинекс» представляет собой вязкую непрозрачную жидкость темно-коричневого цвета с ярко выраженным терпким запахом, сравнимым с запахом свекловичной мелассы. Именно поэтому высокая дозировка в 7,1% может послужить причиной резкого ухудшения потребительских свойств готового продукта – хлеба. В ходе исследования было принято решение исключить данный образец из сетки пробных лабораторных испытаний.

Фотографии готовых изделий, произведенных с использованием бетаин-содержащих ингредиентов представлены на рисунке 1.

Физико-химические показатели качества теста и готовых изделий, произведенных с использованием бетаин-содержащих ингредиентов, представлены в таблице 2.

По результатам определения физико-химических показателей качества теста и готовых изделий (таб. 2) следует отметить повышенную кислотность всех опытных образцов. Кислотность образца 1,2% Бетаин HCl превосходит кислотность контрольного более чем в 2 раза.

Это послужило препятствием для формирования клейковинной сети и ингибированию процессов брожения, что выражается в низкой газообразующей и газобразующей способности теста, бледной корке и минимальном удельном объеме.

Низкие потребительские качества, а именно резкий химический запах, послужили причиной исключения данного образца из группы образцов для дегустации. Существенных отличий по величинам подъема теста и удельного объема готовых изделий между контрольным и опытными образцами 0,18% Бетаин HCl и 1,06% «Бетаинекс» не выявлено. Значения удельного объема образца 1,06% «Бетаинекс» превосходит значения прочих образцов на 5% при дополнительной расстойке, что свидетельствует о повышенной стабильности теста.

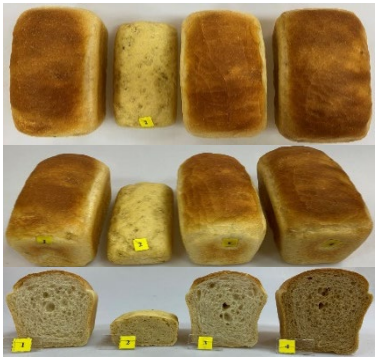


Рис. 1. Хлеб, произведенный с использованием ингредиентов, содержащих бетаин, где:
1 – контроль – без внесения бетаина, 2–1,2% Бетаин HCl, 3–0,18% Бетаин HCl, 4–1,06% «Бетаинекс»

Таблица 2.

Физико-химические показатели качества теста и готовых изделий, произведенных с использованием бетаин-содержащих ингредиентов

Наименование показателя	**Количество ингредиента, содержащего бетаин, % к массе муки**			
	Контроль без внесения бетаина	**1,2% Бетаин HCl**	**0,18% Бетаин HCl**	**1,06% «Бетаинекс»**
pH теста	5,8±0,1	3,4±0,1	5,2±0,1	4,9±0,1
Кислотность теста, град	2,6±0,2	6,4±0,2	3,2±0,2	4,2±0,2
Подъем теста, $см^3$	310±10	140±10	310±10	320±10
Удельный объем готовых изделий, $см^3/г$ (основная расстойка)	2,5±0,2	1,0±0,2	2,6±0,2	2,7±0,2
Удельный объем готовых изделий, $см^3/г$ (дополнительная расстойка)	3,3±0,2	1,1±0,2	3,3±0,2	3,5±0,2

Результаты оценки органолептических показателей качества готовых изделий представлены в виде лепестковой диаграммы (рис. 2).

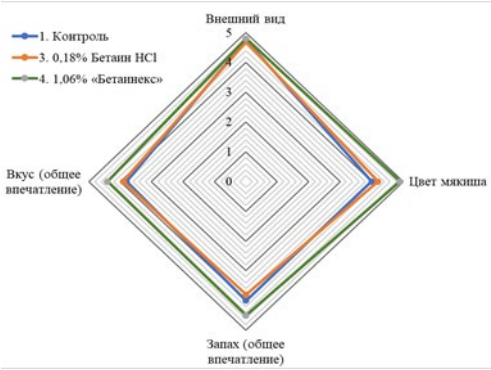


Рис. 2. Результаты оценки органолептических показателей качества готовых изделий, 5 баллов – наиболее привлекательный, 1 балл – наименее привлекательный

Отдельные комментарии дегустаторов позволяют сделать заключение, что отличающийся цвет мякиша, корки у 1,06% Бетаинекс, а также не резкие аромат и вкус, свойственные добавленному ингредиенту, являются положительными качествами продукта. Дегустаторы также отметили высокую эластичность мякиша данного образца. Значительных отличий между контрольным образцом и образцом 0,18% Бетаин HCl не выявлено.

По результатам проведенных исследований установлено, что использование кормовой добавки Бетаинекс, которая является переработанным побочным продуктом дрожжевого производства, возможно в технологиях хлебопечения. Дозировка 1,08% к массе муки позволяет создать функциональный продукт питания. Выработанные изделия не уступают контрольным по физико-химическим показателям качества, а по органолептическим даже превосходят. Для дальнейших исследований необходимо определить вид хлебопекарного продукта, где применение Бетаинекса будет наиболее целесообразным. В решении данной задачи может помочь исследование влияния данного функционального ингредиента на реологические свойства теста. Также предполагается, что длительные технологии тестоведения позволят усилить положительный эффект «Бетаинекса» на потребительские качества выпечки.

Литература

1. United Nations Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017, Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2017.
2. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 17 января 2020 года N 20-р [Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года].
3. МР 2.3.1.19150–04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 46 с.
4. Xu, X., Gammon, M. D., Zeisal, S. H., Bradshaw, P. T., Wetmur, J. G., Teitelbaum, S. L., Neugut, A. I., Santella, R. M., Chen, J. High intakes of choline and betainereduce breast cancer mortality in a population-basedstudy // FASEB J. 2009. № 23. С. 4022–4028.
5. Полунин Е. Г., Шубина О. Г., Влияния бетаина на пищевую ценность, структуру и сроки хранения зефира // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2010. № 2–3. С. 40–42.
6. Comini R., Lodigiani F., Zucchi G. and Hoogenes E. WO patent No. 02/060263 A2 (8 august 2002).
7. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Приказ №614 от 19.08.2015 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания».
8. ГОСТ Р 52349–2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. Апрель 2008.

Исследование ферментативной активности дрожжей saccharomyces cerevisiae var. Boulardii

Маньшин Д. В., Бритвина Т. А., Меледина Т. В.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Одним из направлений исследований современной пивоваренной отрасли является поиск путей, способных обеспечить не только снижение потенциального вреда продукта, но и способов, позволяющих повысить его физиологическую ценность. Одним из таких способов является применение пробиотических микроорганизмов в технологии пивоварения. Для этой цели перспективно использовать дрожжи *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii*, которые обладают пробиотическими свойствами. Несмотря на то, что они относятся к роду *Saccharomyces cerevisiae,* их физиологическая активность и продукты метаболизма при ферментации пивного сусла могут отличаться от известных штаммов пивоваренных дрожжей. В задачу данных исследований входило сравнение бродильной активности пробиотической дрожжевой культуры и штаммов, применяемых в производстве пива верхового брожения.

Ключевые слова
Функциональное пиво, функциональные продукты питания, пробиотики, *Saccharomyces cerevisiae var. Boulardii.*

Очевидно, что здоровой образ жизни – это неотъемлемый тренд сегодняшнего дня, который не обошел стороной и пивоваренную индустрию, именно под его влиянием был сформирован процветающий на сегодняшний день сегмент безалкогольного и низкокалорийного пива. Однако несмотря на то, что данный сегмент стремительно развивается как в России, так и во всем мире, пивоваренная отрасль не стоит на месте и находится в поиске путей, способных обеспечить не только снижение потенциального вреда продукта, но и способов, позволяющих повысить его физиологическую ценность.

Для достижения данной цели возможны и тестируются несколько ключевых подходов: обогащение продукта биологически активными веществами, например, витаминами и минералами; использование в рецептуре особого растительного сырья, например, лечебных трав и их

экстрактов; использование в технологии пива пробиотических микроорганизмов [1]. Первые два направления являются наиболее разработанными с научной точки зрения, и уже отчасти коммерциализированными. Третье же направление, а именно использование в технологии пива пробиотических микроорганизмов, по сей день находится на этапе научно-исследовательской работы.

Как правило, в качестве пробиотиков в медицине и пищевой биотехнологии используются виды молочнокислых бактерий, относящихся к родам *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* [2], однако включение этих микроорганизмов в матрицу пива затруднено. Это связано с тем, что молочнокислые бактерии обычно являются контаминирующей микрофолорой для пива верхового и низового брожения. Кроме того, состав пива, а именно содержание этанола и изо-α-горьких кислот, ингибирует их размножение [3]. Однако наряду с молочнокислыми бактериями дрожжи *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* также являются общепризнанным, зарегистрированным пробиотиком [4].

Прежде чем говорить о разработке технологии пива с использованием пробиотического штамма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* в качестве стартовой культуры, необходимо исследовать ферментативную активность данного штамма и штаммов, которые успешно применяются в пивоварении.

В качестве объектов исследования выступали штаммы дрожжей верхового брожения (BSG, Россия): 002A, 010A, 047A, 052A и пробиотический штамм *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* (*S.c.b.*), выведенный из лекарственного препарата Энтерола®. Исследование ферментативной активности дрожжей проводили в простой периодической культуре. Модельное неохмеленное пивное сусло (12%) было приготовлено из сухого мальт-экстракта (Muntons "Light", Англия). С целью исключения контаминации сусло подвергали стерилизации в течение 20 минут при 121℃, после чего асептично разливали в конические колбы вместимостью 100 мл, в количестве 30 мл. Затем сусло инокулировали дрожжами чистой культуры из расчета содержания в среде 12 млн клеток/мл. Процесс ферментации протекал в изотермических условиях (20℃) в течение 7 суток. В ходе процесса ферментации в образцах сбраживаемого сусла определяли концентрацию сухих веществ (г/100г) с использованием автоматического рефрактометра (PTR 46), а также рассчитывали скорость ассимиляции субстрата по формуле (1):

$$V_{\text{ассим.}} = \frac{\Delta \text{СВ}}{\Delta \tau}, \quad (1)$$

где ΔСВ – изменение концентрации сухих веществ (г/100г) за промежуток времени $\Delta\tau$ (ч).

После достижения плато по концентрации сухих веществ на кривых брожения рассчитывали видимую степень сбраживания (ВСС, %) по формуле (2):

$$ВСС = \frac{СВ_{нач} - СВ_{кон}}{СВ_{нач}} \times 100, \quad (2)$$

где $СВ_{кон}$ – конечная концентрация сухих веществ (г/100г), $СВ_{нач}$ - начальная концентрация сухих веществ (г/100г).

На рис. 1 представлены кривые брожения исследуемых штаммов дрожжей, в таблице 1 – значения скоростей ассимиляции субстрата, на рисунке 2 значения видимой степени сбраживания.

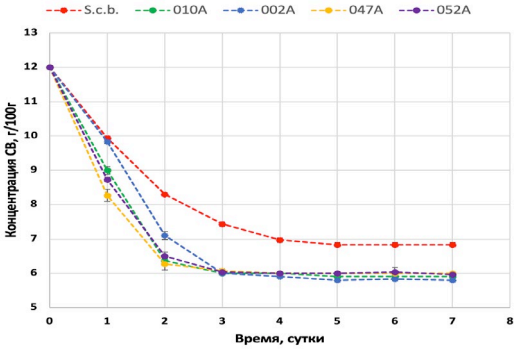


Рис. 1. Кривые брожения исследуемых штаммов дрожжей

Таблица 1.

Скорость ассимиляции субстрата, г/100г*ч

Период, сутки	Штамм				
	S.c.b.	***002A***	***010A***	***047A***	***052A***
0-1	0,088	0,092	0,125	0,154	0,138
1-2	0,067	0,113	0,108	0,083	0,092
2-3	0,038	0,046	0,017	0,008	0,021
3-4	0,017	0,004	0,000	0,004	0,000
4-5	0,008	0,004	0,004	0,000	0,000
5-6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6-7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

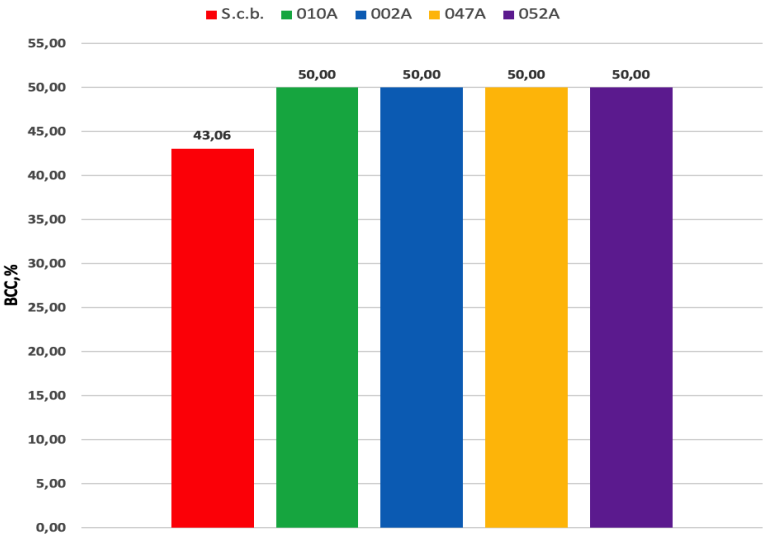


Рис. 2. Видимая степень сбраживания (ВСС) исследуемых штаммов дрожжей, %

На основании представленных на рис. 1, 2 и в таблице 1 данных можно сделать вывод о том, что пробиотический штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* (*S.c.b*) проявляет меньшую ферментативную активность в отношении модельного пивного сусла. Так, максимальная скорость ассимиляции субстрата в случае дрожжей *S.c.b* существенно меньше, чем у штаммов верхового брожения, и составляет 0,088 г/100г*ч, в то время как для элевых штаммов данный показатель принимает значения более 0,1 г/100г*ч. В свою очередь, меньшая скорость ассимиляции субстрата влечет за собой большую продолжительность процесса: для достижения плато по концентрации сухих веществ в случае пробиотического штамма требовалось 5 суток, в то время как для штаммов верхового брожения 3 суток. Наконец, наименьшее значение видимой степени сбраживания было также характерно для пробиотического штамма – 43,06% (в случае пивоваренных штаммов верхового брожения данный показатель принимал значение 50,00 %).

Согласно результатам исследования, возможно заключить, что пробиотический штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* обладает меньшей ферментативной активностью в отношении модельного

пивного сусла в сравнении с пивоваренными штаммами верхового брожения, что проявляется в меньших значениях таких показателей, как скорость ассимиляции субстрата и видимая степень сбраживания.

Предположительно, относительно низкая скорость ассимиляции субстрата связана с тем, что скорость утилизации мальтозы (основного сахара пивного сусла) у данного штамма дрожжей существенно ниже, чем у пивоваренных штаммов, это, в свою очередь, может быть связано с наличием существенных отличий в работе пермеаз, ответственных за перенос мальтозы из культуральной жидкости в клетку. Как известно, помимо мальтозы, к основным сахарам пивного сусла также относятся глюкоза и мальтотриоза, отношение концентраций этих сахаров в пивном сусле следующее:

глюкоза / мальтоза / мальтотриоза = (1–1,5) / (5–6) / (1,5–2) [5].

Исходя из того факта, что все основные сахара пивного сусла являются сбраживаемыми пивоваренными штаммами, меньшее значение видимой степени сбраживания в случае пробиотического штамма дрожжей *S. cerevisiae var. boulardii*, по всей видимости связано с неспособностью данного штамма ассимилировать мальтотриозу, либо с чрезвычайно низкой скоростью этого процесса.

Литература

1. Habschied K. et al. Functional Beer—A Review on Possibilities // Beverages. 2020. Vol. 6 (3).
2. Williams N. T. Probiotics // Am J Health-Syst Pharm. 2010. Vol. 67 (6). P. 449–458.
3. Sobrahvandi, S. et al. Viability of probiotic bacteria in low alcohol and non-alcoholic beer during refrigerated storage // Philipp. Agric. Sci. – 2010. Vol. 93. P. 24–28.
4. Łukaszewicz M. Saccharomyces cerevisiae var. boulardii – Probiotic Yeast // Probiotics. 2012.
5. Stewart G. G. Saccharomyces species in the Production of Beer // Beverages. 2016. Vol. 2(4).

Применение технического зрения для оценки цвета пивоваренного солода и сусла

Трошкин Д. Е., Горбунова Е. В., Чертов А. Н.

Университет ИТМО,
г.Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В работе предложен объективный подход к оценке цвета пивоваренного солода и сусла на основе технического зрения. При помощи цветовых измерений образцов солода с заранее известными цветовыми координатами в системе EBC найдена зависимость между традиционно используемой шкалой цветовых оттенков EBC и координатами в системах цвета RGB, HLS, а также XYZ. Обнаруженные корреляционные зависимости могут быть использованы для объективной оценки цвета солода и сусла, а также для прогнозирования цвета конечного продукта.

Ключевые слова
Солод, сусло, цвет, техническое зрение.

Введение

Производство пива – сложный процесс, включающий в себя множество промежуточных этапов, на каждом из которых необходим тщательный контроль, поскольку качественные характеристики конечного продукта зависят от качества исходного сырья и продуктов его переработки. Одной из сложнейших задач, стоящих перед технологами, является контроль над цветом получаемого продукта [1-3], поскольку существуют различные факторы: сезонные, географические, этнические и др., формирующие спрос на сорта, обладающие определенным цветом [4].

В большинстве случаев цвет оценивается отдельно для солода, сусла и пива при помощи сравнения с цветными таблицами EBC, сравнения с цветом раствора йода определенной концентрации, а также с использованием спектрофотометров и фотоколориметров [5]. Первые два подхода являются органолептическими, поэтому не обеспечивают объективности и точности измерений, спектрофотометры же работают в узком спектральном диапазоне, потому полученные данные хоть и объективны, дают очень мало понимания о природе цвета объекта, цвет которого не может быть описан при помощи единственной длины волны. Таким образом, существует необходимость в разработке прибора для объективного количественного измерения цвета твердых и жидких объектов.

Материалы

Для исследования были использованы 10 сортов ячменного солода с заранее известными цветовыми координатами системы EBC, предоставленные ОАО «Пивоваренная Компания «Балтика»».

Описание измерительной установки

Исследование проводилось с использованием устройства, содержащего верхний и нижний модули подсветки с рассеивателями, работающие в видимом диапазоне, телевизионную камеру EVS с объективом 8мм, а также прозрачной пластины для размещения объектов в зону анализа. Вид устройства в разрезе представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Макет измерительной установки: 1 – верхняя подсветка, 2 – камера с объективом, 3 – кассета для размещения образцов анализа, 4 – светорассеивающая пластина, 5 – нижняя подсветка

Перед проведением измерений проводилась колориметрическая калибровка системы с использованием эталона белого Ocean Optics WS, фотометрическая калибровка и метрическая калибровка.

Измерения проводилось следующим образом: Солод размалывался, размол помещался в чашку Петри, после чего чашка размещалась в зоне анализа на прозрачной пластине. Исследование сусла проходило аналогичным образом, вместо чашки Петри использовались небольшие круглые кюветы.

Для образцов солода получали изображения в режиме «на отражение», сусло измерялось дополнительно в режиме «на пропускание». Полученные изображения обрабатывались авторским алгоритмом, вычислялись координаты цвета объекта в системах RGB, HLS и XYZ.

Результаты

Для образцов солода различных оттенков были получены зависимости координат цвета RGB от значения ЕВС, в качестве примера на рисунке 2 представлена зависимость координаты R от ЕВС.

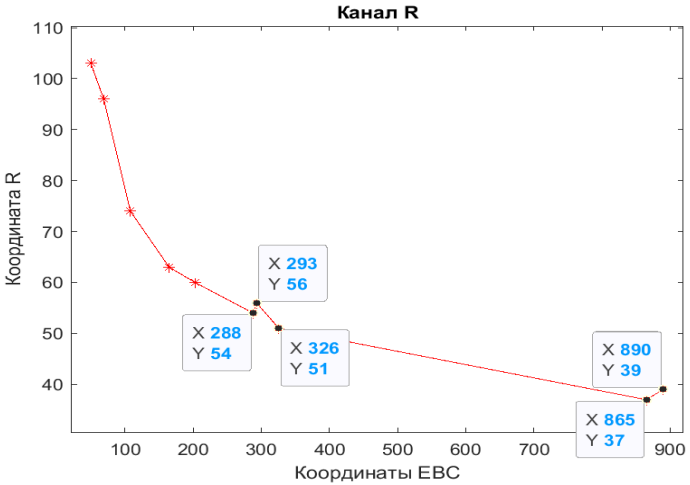


Рис. 2. Зависимость координаты цвета R от ЕВС

Как видно из рисунка 2, с увеличением координаты цвета ЕВС происходит уменьшение координаты цвета R, аналогичная тенденция наблюдается в зеленом и синем каналах. Цвет в целом становится темнее. Также мы видим, что образец ЕВС 293 выбивается из тенденции, возможно, имеет место неточность при определении цвета экспертом. Аналогичная ситуация наблюдается при переводе цвета из системы RGB в XYZ (рисунок 3).

При изготовлении из размолотого солода сусла и последующем измерении цвета получили характеристику, представленную на рисунке 4.

Как видно из сравнения рисунков 3 и 4, Размолотый солод гораздо светлее сусла (координата цвета Y размола имеет значение примерно в 2 раза большее по сравнению с координатой цвета Y сусла). Образец 293 также выбивается из общей картины изменения цветовых и спектральных параметров.

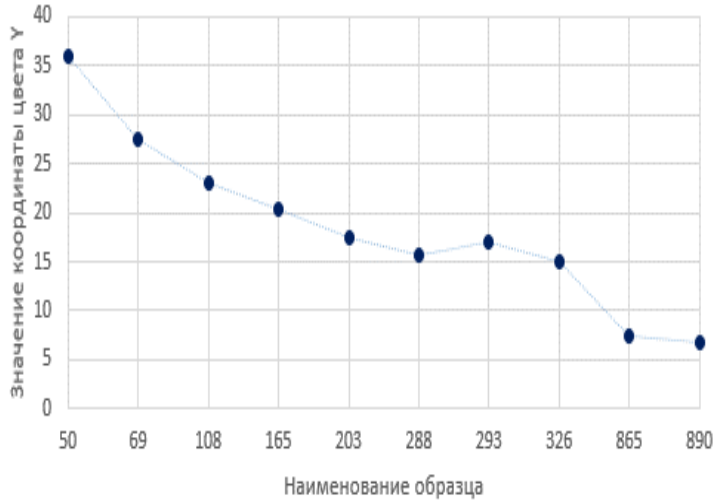


Рис. 3. Зависимость координаты цвета Y от ЕВС

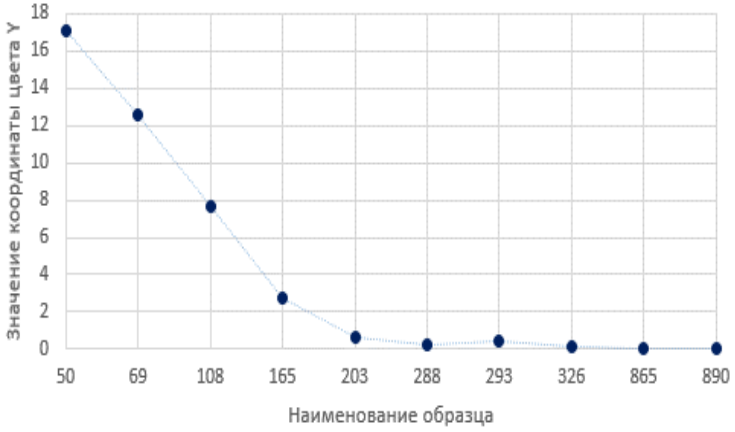


Рис. 4. Характеристика по цвету

Выводы

1. Показана возможность объективной оценки цвета пивоваренного солода и сусла с использованием технического зрения.

2. Полученные данные свидетельствуют о возможности прогнозирования цвета сусла в зависимости от цвета используемого солода.

Литература

1. Завадский Д. В., Матвейко Н. П. Контроль показателей качества пива. 2019.
2. Платова Р. А., Колориметрическая оценка пива / Р. А. Платова, Г. А. Бобожонова, Ю. Т. Платов // Товаровед продовольственных товаров. 2012. № 11. С. 11–21.
3. Платова Р. А., Инструментальная спецификация окраски пива и напитков / Р. А. Платова, Г. А. Бобожонова, Ю. Т. Платов // Товаровед продовольственных товаров. 2013. № 11. С. 23–34.
4. Мазанько Е. И., Киселева Т. Ф., Никитас В. В., Коркачева О. В. Структура регионального рынка бутилированного пива // Пиво и напитки. 2008.
5. Байдичева О. В., Хрипушин В. В., Рудакова Л. В., Рудаков О. Б. Цветометрия - новый метод контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. 2008. №5.

Применение натуральных красителей при производстве сахаристых кондитерских изделий и оценка их цветовых характеристик

Силин П. А., Баракова Н. В., Толстоба Н. Д.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Производители и потребители сахаристых кондитерских изделий все чаще отдают предпочтение натуральным пищевым красителям, которые, хотя и обладают рядом полезных свойств для человека, но имеют один недостаток – нестабильность цвета. Создалась необходимость в разработке метода оценки цвета сахаристых кондитерских изделий непосредственно в процессе их производства. Справиться с поставленной задачей может компьютерное зрение.

Ключевые слова
Сахаристые изделия, натуральные красители, компьютерное зрение, RGB-изображение.

В настоящее время увеличивается спрос на применение натуральных красителей. Происходит это из-за того, что все больше и больше людей предпочитают продукты, обогащенные натуральными биологически активными веществами [1].

Натуральный пищевой краситель содержит пигменты, которые получают из сырья растительного (овощи, ягоды, фрукты, растения) и животного (жуки) происхождения. Они состоять из каротиноидов, антоцианов, флавоноидов, хлорофиллов, содержит микроэлементы, витамины, гликозиды, ароматические вещества, органические кислоты, полезные для организма человека [2]. Производители красителей из натуральных ингредиентов получают богатую палитру красок.

Рибофлавин (витамин В2) – один из важнейших из всех водорастворимых витаминов. На вкус он горький, состоит из игольчатых кристаллов желто-оранжевого цвета. В основном этот краситель применяют с целью обогащения кондитерских, макаронных изделий, соусов, майонезов витамином.

Лютеин – кислотосодержащий каротиноид. Главную составляющую желтых пигментов получают из листьев, цветков, плодов и почек высших растений, водорослей и микроорганизмов.

Бета-каротин – желто-оранжевый пигмент, непредельный углеводород из группы каротиноидов. Его можно найти в листьях растений, в корне моркови, в плодах шиповника, является в организме человека провитамином витамина А.

Куркумин – получают из корня растения рода *Curcuma*. Придает продуктам ярко-желтый цвет, довольно сильно распространен в пищевой промышленности. Им подкрашивают майонезы, сыры, соусы, горчицу, сливочное масло, применяют в производстве напитков и кондитерских изделиях.

Аннато - помадное дерево прорастает в тропиках американского континента. В семенах дерева содержится красный пигмент, благодаря которому растение стало популярно. Его широко применяют в качестве альтернативы синтетическим красителям. Краситель используют в форме порошка или пасты.

Ликоин – пигмент, относится к классу каротиноидов и содержится во многих растениях: томатах, гуаве, в плодах шиповника. Придает продуктам насыщенный красный оттенок.

Карамин (кошениль) – красный пигмент, получают из караминовой кислоты, которая вырабатывается самками насекомых кошенили. Его используют при производстве молока, в мясопереработке, в винной промышленности, при производстве выпечных и кондитерских изделий, кетчупов и соусов.

Паприка – является пищевым красителем, получают путем экстракции из красного перца. Придает продуктам жгучий вкус и аромат, цвет от оранжево-красного до красного. Его используют в основном при производстве напитков, кондитерских изделий, копченостей, сыров и соусов.

Свекольный красный (бетанин) – считается, что это натуральная пищевая добавка, окрашивает продукты в красный цвет. Получают путем экстракции из сока корнеплодов свеклы. Его применяют при производстве различных кондитерских изделий, встречается при производстве мясных и колбасных изделиях.

Антоцианы – этот пигмент содержится в кожице винограда, чернике и во многих других овощах и ягодах. Чаще всего его применяют при изготовлении напитков и вин. Этот пигмент придает продукции красно-розовый цвет.

Хлорофилл – относится к пищевым красителям, обладает зеленым пигментом, извлекают из листьев растений и водорослей. При применении продукция получается зеленых и оливковых оттенков. Применяют в производстве мороженного, молочных десертов, соусов и кремов.

Ксантофилл – желтое красящее вещество зеленых листьев. Хлорофилл может переходить в ксантофилл (осенью листья желтеют), растворяются в спирте.

Карамельный краситель (солод) – относится к натуральным пищевым красителям. Придает цвет продукту от желтого до темно-коричневого. Имеет сладковатый вкус и карамельный запах без посторонних привкусов. Применяют в молочной и кондитерской промышленности, при производстве напитков, мороженного и кормов для животных, в мясной и рыбоперерабатывающей промышленности.

Индиго натуральный – из листьев индигоносных растений получают пигмент синего цвета.

Широкое применение натуральные пищевые красители находят и при производстве сахаристых кондитерских изделий: карамель, драже, мармелад, плиточный шоколад, пастила, фигурки из карамельной массы, восточные сладости, конфеты, ирис, жевательные резинки.

При производстве продуктов, обогащенных натуральными красителями, важным параметром готового изделия является его цвет, вернее даже сказать – постоянство цвета.

В настоящее время оценку цвета готовых кондитерских изделий и их полуфабрикатов оценивают спектрометрическими или колориметрическими способами [3], но эти методы не позволяют контролировать цвет полуфабриката в процессе его производства.

Применение метода компьютерного зрения, который уже начинает применяться в пищевых технологиях, например, для оценки цвета мяса и мясопродуктов, может стать эффективным способом оценки цвета полуфабриката и сравнения его с эталонным образцом [4]. Для получения колориметрической характеристики – RGB-изображений необходимо специальным образом организованное, равномерное по интенсивности освещение. Полученные изображения обрабатываются с применением специально разработанной компьютерной программы, получается численное значение исследуемого параметра, которое передается на систему автоматического дозирования красителя, обеспечивая тем самым стабильность цветовой характеристики продукта. Данная система контроля качества имеет большое практическое применение, особенно во время цифровизации индустрии.

Литература

1. Болотов В. М., Нечаев А. П., Сарафанова Л. А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. СПб. 2008. 240 с.

2. Дерканосова Н. М., Гинс В. К., Лупанова О. А., Андропова И. И. Разработка способа получения и применения натурального пищевого красителя //Техника и технология пищевых производств. 2015. №1. с. 18–23.
3. Байдичева О. В., Хрипушин В. В., Рудакова Л. В., Рудаков О. Б. Цветометрия - новый метод контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. 2008. №5. с. 20–22.
4. Томашевич И. Б. Система компьютерного зрения для измерения цветовых параметров мяса и мясных продуктов: Обзор. Теория и практика переработки мяса. 2018. № 4. с. 4–15.

Влагоудерживающие свойства порошков сухой моркови и свеклы и их влияние на режимы приготовления опары для бараночных изделий

Тихий А. В., Баракова Н. В., Басковцева А. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Проведено исследование влияния порошков моркови и свеклы на процесс брожения опары. Рассмотрены дозировки порошков от 1,5% до 9,0% к массе муки. В ходе исследования получены результаты, указывающие на положительное влияние порошков моркови и свеклы на процесс брожения опары. На момент окончания брожения опары, на 150-ой минуте от начала брожения, при внесении 3,0 % и 6,0% порошка моркови от массы муки максимальное время подъема опары сократилось на 2 мин (на 33%), при внесении 3,0% и 6,0% порошка свеклы время подъема опары сократилось на 1,5 мин (на 23%) по сравнению с контрольным образцом.

Ключевые слова
Опарный способ, морковный порошок, свекольный порошок; влагоудерживающая способность, подъемная сила дрожжей.

Бараночные изделия относятся к хлебобулочным изделиям пониженной влажности и являются традиционно русским продуктом. Одной из важных технологических операций при производстве баранок является приготовление опары. Опару для бараночных изделий готовят жидкую или густую.

Какой вид опары использовать для приготовления бараночного теста зависит от используемого оборудования, от характера самого технологического процесса, от возможности соблюдать все необходимые параметры на каждом этапе приготовления теста, поэтому каждое предприятие выбирает свой способ приготовления опары [1].

Для ускорения процесса брожения при приготовлении опары применяют различные способы активации: внесение сахара, минеральных веществ, витаминов, внесение растительного сырья, овощных масс в виде паст или сухих порошков. Включение сухих порошков моркови и свеклы в рецептуры бараночных изделий ранее не проводилось.

Активность дрожжевых клеток зависит от влажности опары. При внесении сухих порошках моркови и свеклы, содержащих пищевые волокна, будет меняться влажность опары и, как следствие, будет меняться скорость ее сбраживания. Поэтому, при внесении дополнительного сырья – сухих порошков моркови и свеклы, необходимо дополнительно вносить и воду для обеспечения аналогичной влажности с контрольным образцом и поддержания дрожжевой клетки в активном состоянии [2, 3].

Целью данных исследования явилось определить водоудерживающую способность порошков сухой моркови и свеклы и оценить их влияние на режим приготовления опары для бараночных изделий.

В работе использовались сухие порошки моркови и свеклы компании ООО «Витбиокор», производитель – Республика Беларусь. Порошки вносили в опару в дозировке 1,5%–9,0% к массе муки. Рецептура контрольного образца: мука пшеничная хлебопекарная высший сорт – 100,0 г, вода питьевая – 50,0 г, дрожжи прессованные хлебопекарные – 2,5 г. Температура вносимой воды – 30 °С, опару замешивали в течении 5 мин.

Брожение опары проводили при комнатной температуре, физиологическое состояние дрожжей оценивали методом всплывающего шарика по величине подъемной силы. В процессе сбраживания опары каждые 30 мин отбирали пробу опары по 5 г, закатывали ее в форму шарика и опускали в емкость с водой объемом 0,5 дм^3 (температура воды – 30 °С). Качество опары оценивали по подъемной силе дрожжей: чем меньше время всплытия шарика опары, тем подъемная сила дрожжей выше [4].

Влагоудерживающую способность порошков моркови и свеклы определяли методом центрифугирования. Для этого к 1 г порошка добавляли 10 мл воды температурой 30 °С, перемешивали и выдерживали при этой температуре в течении 30 мин. По истечении времени выдержки образцы центрифугировали при скорости вращения ротора 6000 об/мин в течение 20мин. Количество воды, вносимой в порошки сухой моркови и свеклы, и количество воды, полученной после центрифугирования, измеряли мерным цилиндром 1 класса точности, у которого погрешности точности при измерении в цилиндре на 10 см^3 составляет ± 0,1 [5].

Влагоудерживающую способность порошков рассчитывали, как процент объема выделившейся после центрифугирования воды от объема влитой в порошки воды.

По результатам определения влагоудерживающей способности порошков моркови и свеклы была составлена таблица 1.

Таблица 1.

Влагоудерживающая способность сухих порошков моркови и свеклы

Наименование порошка	Количество воды, внесенной на 1г порошка, $см^3$	Количествоводы, выделившейся после центрифугирования, $см^3$	Влагоудерживающая способность, %
Морковь	10,0 ±0,1	7,4±0,1	26,0
Свекла	10,0 ±0,1	7,7± 0,1	23,0

Из полученных результатов видно, что порошки моркови и свеклы обладают разной влагоудерживающей способностью. Порошок моркови способен удержать до 26% влаги, а порошок свеклыдо 23%. Исходя из этих результатов, можно сделать вывод, что при приготовлении опары необходимо дополнительно вносить разное количество воды, с учетом их влагоудерживающей способности, что в дальнейшем и учитывалось при приготовлении опары для бараночный изделий, с использованием порошков сухих моркови и свеклы.

Были проведены исследования по влиянию компонентов, содержащихся в порошке моркови, на подъемную силу дрожжей, при внесении в опару сухой моркови в количестве 1,5–9% от массы муки, пошедшей на приготовление опары. Результаты представлены на рисунке 1.

Из графиков, представленных на рисунке 1, следует, что при внесении порошка моркови в количестве от 1,5 до 9,0% к массе муки в процессе приготовления опары меняется подъемная сила дрожжей. Через 30 мин от начала брожения различия в подъемной силе дрожжей в контрольном образце и в образце опары с добавление 1,5% сухой моркови находятся в пределах ошибки эксперимента.

Внесение сухой моркови в количестве 3,0% от массы муки на 30 мин от начала брожения привело к повышению подъемной силы дрожжей на 54% относительно контрольного образца, и это преимущество сохранялось в дальнейшем в течение всего времени приготовления опары.

Внесение сухой моркови в количестве 6,0% от массы муки на 30 мин от начала брожения увеличило подъемную силу дрожжей на 30% относительно контрольного образца и это преимущество сохранялось в дальнейшем в течение всего времени приготовление опары.

Сокращение времени подъема шарика (увеличение подъемной силы дрожжей) при внесении сухой моркови обусловлено тем, что в питательную среду были внесены питательные компоненты - минералы и витамины, содержащиеся в сухой моркови.

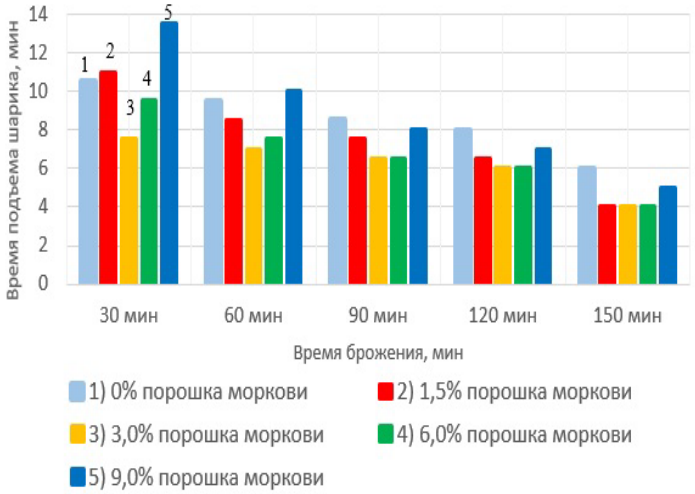


Рис. 1. График подъемной силы опары с порошком моркови

На момент окончания брожения подъемная сила дрожжей во всех образцах опары, независимо от процента внесения моркови, была выше, чем в контрольном образце, приэтом наилучший результат был получен при дозе внесения моркови 3,0 и 6,0%.

При внесении в опару сухой свеклы в количестве 1,5–9,0% от массы муки, пошедшей на приготовление опары, были проведены исследования по влиянию компонентов, содержащихся в порошке свеклы на подъемную силу дрожжей. Результаты представлены на рисунке 2.

Из графиков следует, что внесение порошка сухой свеклы в опару, также как и внесение сухой моркови, привело к повышению подъемной силы дрожжей, и также, как и в случае с сухой морковью, лучшие результаты были получены привнесении 3,0 и 6,0% сухого порошка свеклы к массе муки.

Если сравнивать эффективность действия порошка моркови и свеклы, то компоненты, которые содержатся в порошке сухой моркови, более эффективно повлияли на увеличении подъемной силы дрожжей. На конец брожения подъемная сила дрожжей в образце с добавлением 3,0% моркови была на 25% выше, чем при добавлении такого же количества сухой свеклы.

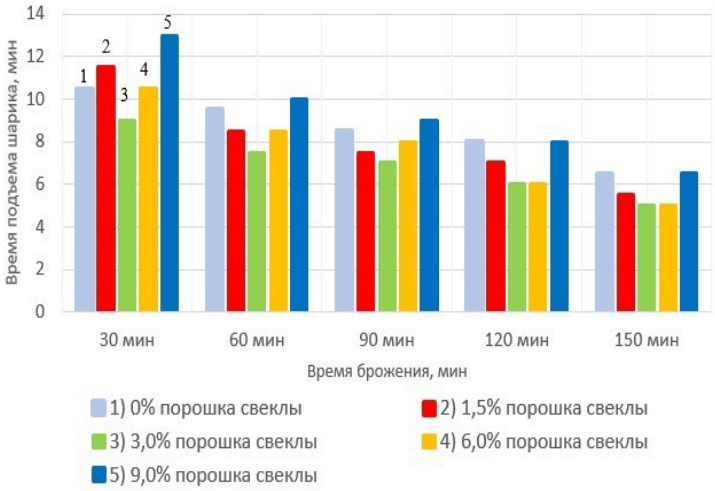


Рис. 2. График подъемной силы опары с порошком свеклы

По результатам можно сделать вывод о том, что при внесении порошков моркови и свеклы в дозировке 9,0% и более, на всем периоде брожения наблюдается ухудшение или отсутствие улучшения брожения. Внесение в опару 1,5% порошков незначительно улучшило подъемную силу опар. При дозировках 3,0% и 6,0% порошков моркови или свеклы наблюдалось улучшение подъемной силы, что говорит о том, что при этих дозировках увеличивается активность дрожжей, увеличивается скорость брожения опары и, как следствие, возможно сокращение время брожения опары. В силу того, что опара – это первый этап приготовления теста для бараночных изделий, целесообразно провести исследования и проанализировать, как порошки сухой моркови и свеклы влияют на процесс приготовления теста на следующем, втором этапе.

Литература

1. Тарасова В. В., Нечаев А. П. Московский государственный университет пищевых производств. Некоторые аспекты применения пищевых волокон при производстве хлебобулочных изделий. Хлебопечение России. 2010. №2. с. 24–28.

2. Зубкова Т. В., Захаров В. Л. Использование тонкодисперсных порошков моркови и тыквы в технологии хлебопечения//Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2016. №1. с. 85–88.
3. Корячкина С. Я., Ладнова О. Л. Лобок И. С., Миквелян А. В. Обоснование создания функциональных хлебобулочных изделий с применением смеси порошков тыквы и моркови – Хлебопродукты – 2018. №4. с. 60–62.
4. Широкова Л. О. Технология бараночных изделий улучшенного качества и функционального назначения//Пищевая промышленность. №12. с. 62–63.
5. Пащенко Л. П. [и др], Практикум по технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий (технология хлебобулочных изделий)/. - Москва: КолосС. 2007. 215 с.

Способы снижения содержания фитиновой кислоты в соевой полножирной муке и ее гидролизатах

Челомбиткин М. А.[1], Нечитайло А. В.[1], Баракова Н. В.[1],

Басковцева А. С.[1], Самоделкин Е. А.[2]

1 – Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия
2 – Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Фитиновая кислота одно из наиболее важных антипитательных веществ, содержащихся в сое, поскольку она хелатирует необходимые для организма человека и животных микроэлементы. В данной работе рассмотрены способы снижения фитиновой кислоты в соевой полножирновой муке и ее гидролизатах. Для снижения содержания фитиновой кислоты в соевой муке предлагается сверхтонкое измельчение, для снижения содержания фитиновой кислоты в гидролизатах - замачивание, проращивание, обжаривание, обработка ферментными препаратами.

Ключевые слова
Соя, фитиновая кислота, ударно-дезинтеграторно-активаторная обработка, замачивание, проращивание, ферментативная обработка, фитаза.

Соя – богатая аминокислотами, микроэлементами и ненасыщенными жирами сельскохозяйственная культура. В состав белка ее семян входят все незаменимые аминокислоты, и эта ее особенность позволяет использовать сою как замену животного белка без вреда для здоровья человека. Стоит отметить, что актуальность растительных продуктов в качестве основного компонента рациона растет [1]. Среди преимуществ растительной пищи перед продуктами животного происхождения является экологичность производственных процессов. В настоящее время одним из основных источников загрязнения окружающей среды являются продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, так как они оказывают всестороннее отрицательное воздействие на все ее компоненты (воздух, вода, почва). Дополнительным преимуществом включения в рацион питания человека растительного белка является то, что занимаемые под выпас скота территории могут давать больше продукции при выращивании на них сельскохозяйственных культур [2, 3].

Соевые продукты способны снижать риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, инсульта, ишемической болезни сердца, имеются подтверждения снижения риска развития некоторых видов рака [4]. Содержащиеся в сое растительные гормоны в сочетании с диетой с низким содержанием насыщенных жиров и холестерина способны эффективно снижать уровень липопротеинов низкой плотности [5]. Однако, несмотря на многие полезные компоненты соевых продуктов, в сое содержатся также и антипитательные вещества. Антипитательными веществами называют соединения, которые попадая в организм вместе с пищей, препятствуют усвоению из нее питательных веществ. Распространенными представителями этой группы веществ являются: цианогенные гликозиды, токсичные аминокислоты, ингибиторы протеаз, фитиновая кислота и другие [6]. Фитиновая кислота - основная форма хранения фосфора в растении и может составлять 1–5% по массе в зерновых, бобовых, масличных семян и орехах [7]. Фитиновая кислота составляет 50–85% от общего количества фосфора в растениях [8]. Соли фитиновой кислоты быстро накапливаются в семенах в период созревания. Человек не может метаболизировать фитиновую кислоту из-за низкой активности ферментов, вырабатываемых организмом и расщепляющих фитаты. Вопрос усвояемости продуктов с высоким содержанием фитиновой кислоты актуален в связи с тем, что фитиновая кислота связывается с минералами и делает их недоступными из-за своей хелатирующей способности. Известно, что фитиновая кислота подавляет абсорбцию железа, цинка, кальция, магния и марганца. Удаление фитиновой кислоты увеличивает биодоступность многих катионов и, следовательно, питательную ценность еды [9]. Для получения соевой муки, и полножирновой в том числе, необходимо семена измельчить. В работе [10] было показано, что при измельчении зерновых культур на установках ударно-дезинтеграторно-активаторного типа происходит не только сверхтонкое измельчение зерна (от 15 до 100 мкм), но происходят изменения в химическом составе измельченного зерна. Актуально провести исследования и определить, как ударнодезинтеграторно-активаторная обработка семян сои будет влиять на содержание фитиновой кислоты в полножирновой соевой муке. Для удаления фитиновой кислоты из семян сои для получения в дальнейшем из них гидролизатов, разработано несколько методов обработки: замачивание, ферментацию, проращивание, увлажнение и обжаривание. Эти методы могут эффективно уменьшить содержание фитатов (до 40%), однако некоторые из вышеперечисленных методов имеют серьезный недостаток – в процессе такой обработки устраняются основные минералы и пищевые волокна. Согласно исследованиям [11] замачивание вызвало значительное снижение со-

держания фитата (23–30%), однако последующая термическая обработка не привела к дальнейшему снижению. Исследователи проводили замачивание в течение 12 часов, это необходимо для активации собственных ферментов, однако стоит отметить — это занимает значительно больше времени чем применение экзогенных ферментов. В настоящее время на рынке представлен ряд термостабильных фитаз, применение этих ферментов позволит проводить ферментацию при более высокой температуре. Это в свою очередь приведет к сокращению времени ферментативной обработки. Обжаривание или прочие методы разрушения фитиновой кислоты тепловой обработки не могут рассматриваться как предпочтительные в связи с тем, что значительное разрушение фитиновой кислоты достигается при температуре около 150 Со в течение часа [12] Обработка в этом температурном режиме приведет к значительной потере витаминов и других нутриентов, следовательно, стоит обратиться к другим методам снижения фитиновой кислоты. Существующие исследования показывают [13], что ферментативная обработка фитазой является наиболее эффективным методом снижения содержания фитиновой кислоты без снижения содержания микронутриентов. Следовательно, применение экзогенной фитазы является наиболее полезным способом снижения содержания фитиновой кислоты. Фермент фитаза (миоинозитол гексакисфосфат фосфогидролаза) инициирует поэтапное удаление фосфатов из фитиновой кислоты. Фитаза относится к классу ферментов фосфогидролазы, которые гидролизуют фосфомоноэфирные связи в фитатах, при этом происходит высвобождение неорганических фосфатов [14]. Фитазы распространены в природе и могут быть получены из ряда источников, включая растения, животных и некоторых микроорганизмов. Фитазы наиболее часто встречаются у растений, таких как пшеница, рожь, ячмень, горох, фасоль, соя, кукуруза, рис, салат, шпинат, трава, пыльца лилии. Известно, что активность фермента проявляется во время прорастания семян. Этим объясняется эффективность замачивания и проращивания семян с целью повышения содержания ферментов. Замачивание семян приводит к активации собственных ферментов, что в свою очередь также ведет к снижению содержания фитиновой кислоты [15], однако замачивание — это длительный процесс, а применение экзогенных фитаз позволит значительно сократить время ферментации. Взаимодействие фермента и субстрата — это гетерогенный процесс. Следовательно, для более эффективного взаимодействия фермента и субстрата необходимо обеспечить тонкое или даже сверхтонкое измельчение сырья, так как при таком типе процессов взаимодействие происходит только на их поверхности. Также большим преимуществом УДА-обработки является повышение

питательных качеств исходного сырья за счет большей степени его деструкции и механической активации в нем нативных ферментов [16] Тонкое измельчение приводит к ускорению взаимодействия фитиновой кислоты и фитазы, тем самым снижая время ферментационной обработки. Это обусловлено тем, что при использовании данного вида обработки сырья происходит глубокое изменение веществ, влияющих на вязкость, что позволяет снизить время водно-тепловой обработки и использование ферментных препаратов [17]. Таким образом целесообразно провести исследования по обработке семян сои на установке дезинтеграторно-активаторного действия и провести ферментативную обработку фитазой гидролизатов, приготовленных из полученной полножирновой соевой муки.

Литература

1. Типсина Н. Н., Батура Н. Г., Демидов Е. Л., Белошапкин М. С., Использование сои в производстве продуктов питания и перспективы развития применения соевых полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1. С. 163–168.
2. Ильясов О. Р., Неверова О. П., Зуева Г. В., Шаравьев П. В., Санитарно-гигиеническая проблема загрязнения окружающей среды отходами животноводческих и птицеводческих комплексов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2017. Т. 5. №3. - С. 59–65.
3. Weindl I., Popp A., Bodirsky B. L., Rolinski S., Lotze-Campen H., Biewald A., Humpenöder F., Dietrich J. P., Stevanovic M., Livestock and human use of land: Productivity trends and dietary choices as drivers of future land and carbon dynamics // Global and planetary change. 2017. №159. С. 1-10.
4. Петибская В. С., Достоинства и недостатки семян сои и их роль в формировании качества пищевых продуктов и лечебных препаратов // Масличные культуры. - 2006. - № 2(135). - С. 122–128.
5. West S. G., Hilpert K. F., Juturu V., Bordi P. L., Lampe J. W., Mousa S. A., KrisEtherton P. M., Effects of including soy protein in a blood cholesterol-lowering diet on markers of cardiac risk in men and in postmenopausal women with and without hormone replacement therapy // J Women's Health. 2005. №14(3). С. 253-262.
6. Akande K. E., Doma U. D., Helen A., Adamu H. M., Major Antinutrients Found in Plant Protein Sources: Their Effect on Nutrition // Pakistan Journal of Nutrition. 2010. № 9(8). С. 827- 832.

7. Gupta R. K., Gangoliya S. S., Singh N. K., Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains // J Food Sci Technol. - 2015. - №52(2). - С. 676– 684.
8. Reddy N.R., Sathe S.K., Salunkhe D.K., Phytates in legumes and cereals // Adv. Food Res. 982. № 28. С. 1-92.
9. Bohn T., Davidsson L., Walczyk T., Hurrell R. F., Phytic acid added to white-wheat bread inhibits fractional apparent magnesium absorption in humans // Am J Clin Nutr. - 2004. №79(3). С. 418-23.
10. Самоделкин Е. А., Баракова Н. В., Дегтяренко Я. И., Мартыненко В. Е., Применение ударно - активаторно - дезинтеграторной обработки (уда-обработки) для подготовки зернового сырья при конструировании продуктов питания с повышенной усвояемостью // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: Материалы конференции. 2015. № 2. С. 247–250.
11. Karkle E. N., Beleia A., Effect of soaking and cooking on phytate concentration, minerals, and texture of food-type soybeans // Food Sci. Technol. - 2010. - № 30(4). - С. 1056-1060.
12. Daneluti A. L. M., Matos J. R., Study of thermal behavior of phytic acid //Brazilian Journal of Pharmaceutical Science. 2013. № 49(2). С. 275-283.
13. Johnson J., Wallace T., Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health. - John Wiley & Sons Ltd. 2019. 493 p.
14. Mullaney E. J., Daly C. B., Kim T., Porres J. M., Lei X. G., Sethumadhavan K., Ullah A.H., Site-directed mutagenesis of Aspergillus niger NRRL 3135 phytase at residue 300 to enhance catalysis at pH 4.0. // Biochem. Biophys. Res. Commun. - 2002. - №297. - С. 1016–1020.
15. Челомбиткин М. А., Нечитайло А. В., Басковцева А. С., Баракова Н. В., Применение ферментного препарата Ultraflo Max на стадии замачивания семян сои для снижения содержания фитиновой кислоты и ее солей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2021. - № 3(49). - С. 60–65.
16. Алимова Д. С., Баракова Н. В., Самоделкин Е. А., Влияние УДА-обработки ржи на активность нативных протеаз // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. - 2017. - Т. 1. - С. 8–11.
17. Сабиров А. А., Баракова Н. В., Самоделкин Е. А., Влияние ударно - активаторно - дезинтеграторной обработки на технологические параметры гидролизатов изо ржи // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств2017. № 3(33). С. 43–52.

Поиск ксенобиотиков в мясе и мясных продуктах с помощью гипреспектрального и терагерцового излучения

Бараненко Д. А., Смолянская О. А., Чертов А. Н., Горбунова Е. В., Лыкина А. А., Ильина В. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Для разработки научно-технических методов контроля показателей качества и безопасности мясных продуктов получали спектральные изображения и сопоставляли с данными химического состава, определенными арбитражными методами. Исследование выполнялось последовательно для химически чистых стандартных веществ, модельных смесей, имитирующих пищевые продукты, и непосредственно для мясных продуктов. Исследованы параметры качества и качественное и количественное содержание следующих аналитов: антибиотики и гормоны. Качественный и количественный анализ выполнен в следующих видах мясных продуктов – охлаждённое мясо, мясной фарш, эмульгированные мясные продукты, копчёные колбасы. Определено влияние различных матриц на параметры сигнала искомого объекта. Для всех объектов и методов исследования построены калибровочные кривые, установлены пределы обнаружения и погрешности метода.

Ключевые слова
Антибиотики, гормоны, спектрометрия, хромато-масс-спектрометрия, методы исследования.

Максимальные допустимые уровни остаточного содержания ветеринарных препаратов, в том числе гормональных препаратов и антибиотиков, регламентируется Техническим Регламентом Таможенного Союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013) и решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 13.02.2018 № 28 «Перечень ветеринарных лекарственных средств, максимально допустимые уровни остатков которых могут содержаться в неперерабо-танной пищевой продукции животного происхождения». В настоящее время для исследования содержания этих веществ применяются длительные и дорогостоящие методы иммуноферментного или хромато-масс-спектрометрического анализа. Таким образом, особой актуально-

стью отличается разработка быстрых методов оптического детектирования, позволяющих контролировать опасные ксенобиотики в мясных продуктах.

Белки, гормоны, ферменты, антибиотики являются сложными, часто неполярными, несимметричными многоатомными молекулами, полосы поглощения которых можно наблюдать в ближней и средней ИК области, УФ и видимой областях, а также при излучении спектров комбинационного рассеяния. Соответственно, свойства поглощения определяют свойства отражения указанных молекул.

Цель работы – разработка исследовательского гиперспектрального и терагерцового (ТГц) спектрометра и обоснование возможности определения с его помощью показателей качества, а также содержания антибиотиков и гормонов в мясе и мясных продуктах.

Для разработки научно-технических методов контроля качества и безопасности мясных продуктов с помощью гипреспектрального и терагерцового излучения проводили подтверждающие исследования известными физико-химическими методами (ВЭЖХ-МС на приборе Shimadzu LC-MS-8040, ГХ-МС на приборе Shimadzu GC-TQ-8040, ВЭЖХ на приборе Shimadzu LC-20 Prominence, содержание белка по Кьельдалю (VELP UDK 159), содержание жира методом Сокслета и другими). Для регистрации значений гипреспектрального и терагерцового излучения был разработан исследовательский спектрометр с адаптированными программным обеспечением, источником излучения, приемником и системой обработки сигнала. Для стандартов чистых веществ (Sigma-Aldrich, США) спектры, полученные с помощью разработанного исследовательского спектрометра, выборочно сравнивались с получаемыми в ИК диапазоне на коммерческом ИК-спектрометре Shimadzu IRA-1 и коммерческом приборе для осуществления терагерцовой спектроскопии временной области TeraPulse 4000 (TeraView, Великобритания).

Получаемые гиперспектральные изображения и терагерцовые спектры сопоставлялись с данными химического состава, параметрами качества и безопасности, полученными арбитражными и охарактеризованными методами. Исследование последовательно проводили для химически чистых стандартов веществ (Sigma-Aldrich, США), модельных смесей, имитирующих пищевые продукты (поставщик пищевых материалов и ингредиентов – ООО «Нордена», г. Санкт-Петербург), и непосредственно для мясных продуктов (приобретались в розничной сети Санкт-Петербурга, а также были предоставлены двумя компаниями, заинтересованными в реализации результатов проекта - ООО «Мясокомбинат «Гатчинский» и мясоперерабатывающий завод ООО «Иней»).

Качественный и количественный анализ выполнялся в следующих видах мясных продуктов - охлажденная говядина, фарш говяжий, варёные и копчёные колбасы. За первый год выполнения работы проведено исследование по следующим параметрам качества: цвет, соответствие заявленному составу макронутриентов. Качественное и количественное определение выполнено для следующих аналитов: антибиотики химических групп аминогликозидов, бета-лактамов, макролидов, хинолонов, тетрациклинов и гормоны тестостерон, зеранол, эстрадиол. С помощью различных объектов исследования определено влияние различных матриц на параметры сигнала искомого объекта.

Разрабатываемый исследовательский спектрометр в части схемы для гиперспектрального диапазона состоит из трех основных частей: системы подсветки объекта, системы получения гиперспектральных изображений анализируемого объекта и системы и системы обработки сигнала. Разрабатываемый исследовательский спектрометр в части схемы для терагерцового диапазона реализован в виде когерентного ТГц детектора, основанного на динамическом электрооптическом эффекте Поккельса. Благодаря когерентному характеру нелинейно-оптических процессов взаимодействия полей накачки и ТГц поля эти методы позволяют детектировать как амплитуду ТГц поля излучения, прошедшего или отраженного от объекта, так и его фазу.

Измерение масс-спектров экспериментальных образцов стандартов проводили в двух режимах – сканирование по полному ионному току и в режиме MRM-перехода.

В качестве модельных смесей мясных продуктов были созданы фантомы с заданными составами воды (w), белка (p) и жира (f). В качестве белка использовали говяжий коллаген и соевый изолят, в качестве жира использовали подсолнечное рафинированное масло. Для получения однородной массы фантома использовали иммерсионный гомогенизатор. Были созданы двухкомпонентные фантомы с составом из белка и жира без использования воды и трехкомпонентные фантомы, которые содержали эмульсию воды и масла с использованием белка в качестве эмульгатора. В часть фантомов вносили антибиотики и гормоны известной концентрации.

При проведении ВЭЖХ-МС анализа модельных смесей также было установлено, что можно использовать режим сканирования по полному ионному току, так и в режим MRM-перехода. Однако использование MRM повышало чувствительность метода и улучшало соотношение сигнал/шум за счет увеличения специфичности, а также селективность путем уменьшения фоновых сигналов от матрицы модельных смесей мясных продуктов. Кроме того, в режиме MRM можно было определять одновременно несколько аналитов, выходящих из хроматографической

колонки совместно. Так как антибиотики, особенно относящиеся к одному классу, обладают близкими значениями времени удерживания, использование MRM может быть предпочтительным.

По ТГц и гиперспектральным оптическим свойствам двухкомпонентных и трехкомпонентных фантомов можно сделать вывод, что инфракрасное и терагерцовое излучение чувствительно к выбранным компонентам, которые использовались для создания модельных объектов мясных продуктов. С помощью гиперспектрального излучения были определены параметры цветности мяса и мясных продуктов. Оптическим методом были подтверждены содержания основных макронутриентов мясных продуктов.

В результате проведенных сформулированы требования к исследовательскому гиперспектральному и терагерцовому спектрометру, определяемые их назначением, условиями эксплуатации и применения для определения параметров качества и безопасности мясных продуктов. Обоснован выбор методик исследования экспериментальных образцов стандартов, модельных смесей и мясных продуктов, содержащих антибиотики и гормоны и определены параметры хромато-масс-спектрометрии, гиперспектрального и терагерцового анализа. Определены параметры источника излучения, приемника и системы обработки сигнала для гиперспектрального и терагерцового спектрометра. Получены гиперспектры, терагерцовые и масс-спектры экспериментальных образцов стандартов, модельных смесей и мясных продуктов. Построены калибровочные кривые, найдены пределы обнаружения и погрешности метода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21–16–00124

Изменение концентрации внутри- и внеклеточного глутатиона при хранении остаточных пивных дрожжей

Меледина Т. В., Пискунова А. В., Морозов А. А., Федоров А. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Трендом развития современной биотехнологии является получение биологически активных веществ (БАВ). Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* являются источником многих биологически активных веществ, одним из таких соединений является трипептид – глутатион.
Восстановленный глутатион (GSH) обладает важными регуляторными и защитными функциями у эукариот и у большинства прокариот, основная функция которого заключается в поддержании окислительно-восстановительного потенциала клетки, предотвращение клеточных повреждений, вызванных активными видами кислорода, токсичными тяжелыми металлами и т.д. Ввиду таких свойств восстановленный глутатион применяется в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности.
Целью данных исследований являлось изучение длительности хранения остаточных пивных дрожжей низового брожения на содержание внутри- и внеклеточного восстановленного глутатиона.

Ключевые слова
Биотехнология дрожжей, ресурсосбережение, вторичные материальные ресурсы, глутатион.

Одним из перспективных источников БАВ являются дрожжи сахаромицеты. Из клеток *Saccharomyces cerevisiae* выделяют пищевые волокна, аминокислоты, витамины, нуклеиновые кислоты, пептиды разной молекулярной массы, в том числе и трипептид глутатион, который представлен восстановленной (GSH) и окисленной формой (GSSG) [1, 2]. Это соединение, являющееся мощным антиоксидантом, востребовано как фармацевтической, так и пищевой промышленностью. Основным сырьем для производства глутатиона являются хлебопекарные дрожжи, именно они также служат объектом исследований, направленных на увеличение биосинтеза этого соединения в клетках. Между тем для производства глутатион- содержащих БАД можно использовать дрожжи, остающиеся после ферментации пива, вина и других напитков

брожения. Рынок этих дрожжей в мире увеличивается в связи с повышением спроса на ферментированные напитки.

Остаточные пивные дрожжи (ОПД) представляют собой суспензию клеток в пиве. ОПД, согласно технологии пивоварения, удаляют из бродильных аппаратов по мере созревания и дображивания пива [3]. Дрожжи, находящиеся в суспензии, за время их деятельности при производстве пива подвергаются различным стрессовым факторам. При задаче дрожжей в сусло клетки претерпевают осмотический стресс, далее, при увеличении концентрации этанола, испытывают этанольный стресс [4]. Кроме того, клетки подвергаются гидростатическому стрессу в цилиндроконических танках (ЦКТ), высота которых может превышать 10 м. Именно в этих условиях, согласно литературным данным, может наиболее интенсивно происходить биосинтез глутатиона.

В качестве объекта исследования были взяты дрожжи, которые использовались в технологии плотного пивоварения. Содержание этанола в пиве (далее супернатанте) составляло 6,5% об. Суспензию дрожжей хранили при температуре 3° С без доступа кислорода. Для определения восстановленного глутатиона внутри клеток и в супернатанте (внеклеточный глутатион) применяли модифицированный метод йодометрии по Петрову, основанный на окислении его сульфгидрильных групп йодатом калия [5].

Согласно исследованиям Mitchell и др [6], этанол может ингибировать биосинтез глутатиона за счет прямого влияния на ферментную активность и в первую очередь на фермент GSH1, являющимся первым ферментом на пути биосинтеза глутатиона. А в исследовании Raghavendran V. и др. [7] говорится, что вероятно наличие предела приспособленности клеток к этанолу, который может быть достигнут за счет повышения уровня глутатиона.

На рисунке показана динамика концентрации внутриклеточного глутатиона на абсолютно сухую биомассу дрожжей.

Анализ данных показал, что в процессе хранения дрожжей в пиве (ОПД), в течение 24 сут. содержание восстановленной формы глутатиона в клетках увеличивается в 3 раза (с 0,12 до 0,35% АСД). Также значительно увеличилось количество GSH в супернатанте (с 0,18 до 0,5% в расчете на АСД). Кроме того, в супернатанте после 24 дней хранения происходит уменьшение восстановленной формы глутатиона.

На основании проведенных исследований можно прийти к заключению, что только за счет увеличения длительности хранения пивных дрожжей в условиях стресса можно повысить суммарное содержание GSH в ОПД более, чем в 7 раз.

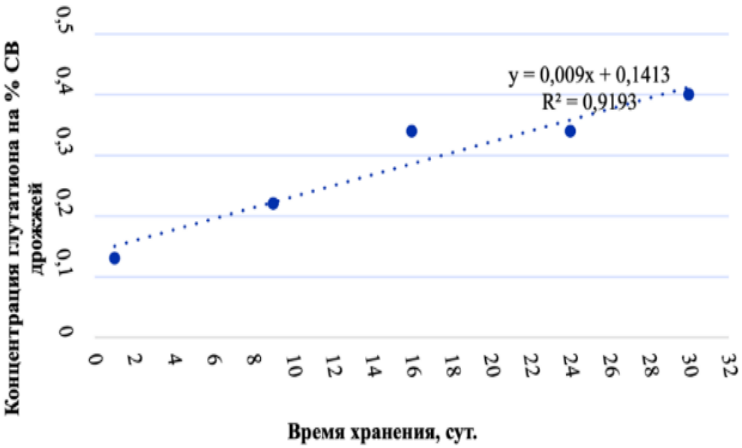


Рисунок. Зависимость количественного содержания восстановленного глутатиона в дрожжах от времени хранения ОПД

Литература

1. Schmacht M. et al. medium optimization based on yeast's elemental composition for glutathione production in Saccharomyces cerevisiae//Journal of Bioscience and Bioengineering. 2017. Vol. 123. № 5. P. 555–561.
2. G. Wu, Amino Acids: Biochemistry and Nutrition// CRC Press, New York. 2013. P. 140–150.
3. Rachwał K. et al. Utilization of brewery wastes in food industry //PeerJ. 2020. Т. 8. С. 9427.
4. Stewart G. G. Stress Effects on Yeast During Brewing and Distilling Fermentations: High-Gravity Effects //Brewing and Distilling Yeasts. – Springer, Cham, 2017. С. 199–240.
5. Скворцова Н. Н., Шлейкин А. Г., Арыкбаева А. Б. Влияние длительного замораживания на содержание тиоловых веществ и протеолитическую активность хлебопекарных дрожжей// ВЕСТНИК МАХ. 2018. № 3 С. 62–66.
6. Mitchell M. C., Raiford D. S., Mallat A. Effects of ethanol on glutathione metabolism //Liver Pathology and Alcohol. – Humana Press, Totowa, NJ, 1991. С. 169–194.
7. Raghavendran V. et al. The protective role of intracellular glutathione in Saccharomyces cerevisiae during lignocellulosic ethanol production //AMB Express. 2020. Т. 10. №. 1. С. 1–8.

Секция 3
Экология и биоэкономика замкнутого цикла

The economics of the closed circle: a case study of Estel (Saint-Petersburg)

Shemetev A. A.

North-West Institute of Management, RANEPA,
Saint-Petersburg, Russia

Аннотация
The purpose of this article is to tell about a specific case of application of ecological technology of closed-loop production (transnational corporation Estel). Any changes are always possible after the first concept or model appears. The case study of the Unicosmetics corporation, better known as Estel, can become such a concept.

Ключевые слова
Closed circle production, Estel, ecological production, waste minimization.

Creating a closed circular production is a pressing issue. At the same time, building such an economy of production at the entire state's level is so complex that a single article cannot disclose this question [4]. Even the dozens of conferences and collections of essays cannot do so [3]. This research reveals the concept of examining the example of a specific case in the city of the conference venue. Any change always starts with a particular image. This paper discusses this concept image. The article examines the Unicosmetics corporation, better known under the Estel brand [1]. This company began with a homemade shampoo production in St. Petersburg and has grown into a transnational cosmetics corporation. Estelle has a strong position in the CIS. It also holds good market niches in the territories of the European Union, particularly in Germany.

Estelle holds a vital role in the professional cosmetics market for the beauty industry [2]. The company's position is more modest in the general consumer cosmetics market. The company ranks third to fifth place in the public consumer cosmetics market in Russia. The surprising fact is that the corporation's general consumer market's income exceeds the first place in the professional cosmetics market.

The corporation was one of the first in St. Petersburg to implement the closed cycle production concept. With this approach, production concentrates on reusing all resources. For example, the company utilizes water in as many circles as possible. Wastewater is discharged into an internal reservoir at the enterprise and then taken from there to the treatment stations of the enterprise and then returned into production. Thus, it minimizes harm to the environ-

ment. Chemical plants could dump waste and pollute the environment. Therefore, the concept of a closed-loop enterprise is always interesting. It becomes even more urgent when some companies have already applied the closed-loop production concept.

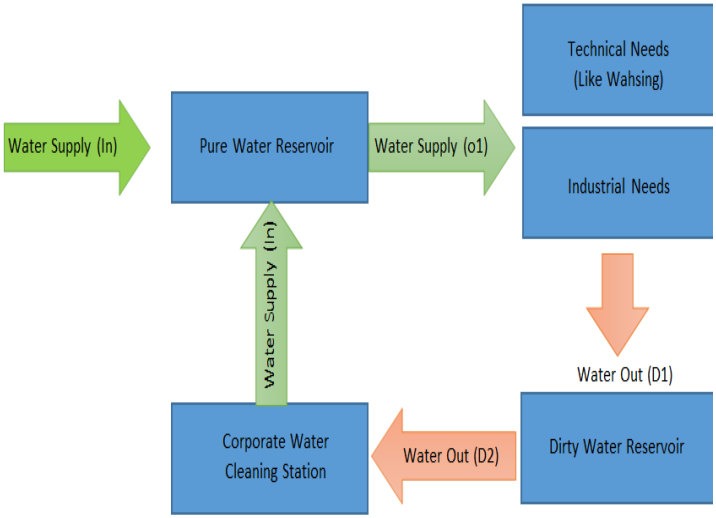


Fig. 1. The water closed-loop system at Estel

However, unlike the overwhelming majority of Russian companies from similar industries, Estel produces cosmetics. Currently, the primary mainstream production of cosmetics in Russia is the purchase of cosmetics abroad (most often in China) and subsequently packaging these cosmetics in Russian-named boxes. It would be easy for such enterprises to be environmentally friendly because they potentially do not have processes that could generate emissions on the territory of the Russian Federation. After all, the actual suppliers can manufacture their production somewhere in China.

That is why the case of Estel corporation is interesting. This transnational corporation carries out a complete production cycle on the territory of its factories. Only essential ingredients are purchased, and industrial mixing, standing, and cooking of preparations are carried out inside the plant. The main plant is in the south of St. Petersburg.

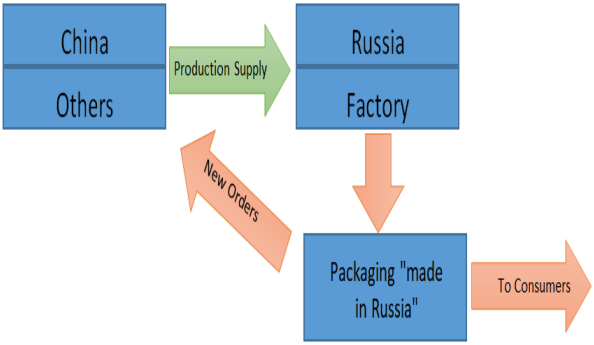


Fig. 2. The typical cosmetic production scheme in Russia (not for Estel; in contrast to Estel)

Scaling any concept starts with a prototype. The Estel case study can serve as such a prototype. Other enterprises can also observe that the implementation of closed-type production technology is possible in the northern climate of St. Petersburg. And it's already easier to follow the direction of ecology when someone has already cut a path forward. Thus, this case can stimulate other enterprises to develop on the principle of closed-loop production. Closed type production is a production in which emissions into the environment are minimized. This concept opposes the current mainstream: slowly dumping waste into the background and creating externalities without being fined. Often these plums can happen on weekends or at night. A frequent object of discharge is the Neva River, from which the city of St. Petersburg takes its water intake.

The very fact of the presence of the first enterprises that are already using closed-type production ecology technology in St. Petersburg allows the state to morally justify an increase in fines and stringency of measures concerning those companies that continue to discharge waste. Of course, it can be challenging to prove the culprit of the drain. It stimulates significant emissions in our region. We hope that the situation will change, and more enterprises will use environmentally friendly technologies in their production. Even if chemical enterprises of a transnational scale can introduce closed-cycle production technologies, then, by default, more environmentally friendly assembling is already obliged to do so.

Sources

1. Estel Estel Professional - официальный сайт Эстель [Электронный ресурс] URL: https://estel.pro/ (дата обращения 12.10.2021).
2. Айлей А. Estel – питерский бренд, покоривший россию и готовый покорить европу 2019 [Электронный ресурс] URL: https://krasivo-biz.turbopages.org/turbo/krasivo.biz/s/estel-piterskij-brend-pokorivshij-rossiyu-i-gotovyj-pokorit-evropu/ (дата обращения 12.10.2021).
3. Лаврова А. В., Шарова И. В. Проблемы и тренды научно-технологической политики в области биоэкономики России // Мировая биоэкономика и экополитика. 2016. № 2 (1). С. 5–8.
4. Хетемяки Л. [и др.]. На пути к европейской стратегии по созданию биоэкономики замкнутого цикла [Электронный ресурс] URL: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi_fstp5_2017_RU.pdf (дата обращения 12.10.2021).

Обзор исследований по теме производства и использования топлива из отходов в рамках развития экономики замкнутого цикла

Барбанэль П. Ф., Кузнецова Е. А., Сергиенко О. И., Агаханянц П. Ф.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В данной работе собрана комплексная информация о производстве топлива из отходов, его применении, энергетических и экономических показателях. Были рассмотрены типичная схема производства RDF (топливо из отходов) и альтернативный метод сушки, три технологии утилизации RDF (прямое сжигание, газификация и пиролиз). Также в исследовании собрана информация о производстве электроэнергии и дальнейшей утилизации отходов (золы) RDF.

Ключевые слова
Экономика замкнутого цикла, топливо из отходов, энергия из отходов, утилизация отходов, производство RDF.

Целью данной обзорной работы является сбор и систематизация информации о производстве и использовании RDF для создания научной базы, которая в дальнейшем будет использоваться в исследованиях этого вида альтернативной энергии.
Данное обзорное исследование содержит анализ 33 статей, рассматриваемые в статьях тематики указаны в таблице.

В ходе проведения обзорного исследования использовались достоверные источники информации. Для поиска научных исследований были использованы Scopus, ScienceDirect, Research gate.
Содержание статей было основным фактором для включения в обзор. Наш окончательный выбор был основан на следующих критериях:

1) статья была опубликована после 2001 года;
2) содержание статьи (состав RDF, энергетические характеристики, технологии производства, технологии утилизации, технологии производства энергии, применяемое оборудование, выбросы, проблемы, утилизация золы, экономический анализ, оценка жизненного цикла (ОЖЦ));
3) содержащиеся ключевые слова: RDF, ОЖЦ, ТКО, энергия, отходы в энергию, технико-экономический анализ.

Таблица.

Анализ информации в источниках

Рассматриваемые тематики	**Количество статей**
Информация о составе	23
Энергетические характеристики	23
Технологии производства топлива	10
Технологии утилизации	16
Технологии производства энергии	4
Применяемое оборудование	1
Выбросы	13
Проблемы, связанные с использованием топлива	2
Утилизация золы	2
Экономический анализ	11
Оценка жизненного цикла	2

География рассмотренных исследований представлена на рисунке 1. Проблема образования ТКО беспокоит развивающиеся страны, поскольку в них не в полной мере и не повсеместно существует нормативная база и внедряются наилучшие доступные технологии.

В условиях уменьшения количества природных ресурсов активно развиваются альтернативные энергетические технологии. Одной из перспективных технологий является переработка отходов в энергию, поскольку она решает одновременно две проблемы - утилизацию отходов и производство энергии. Сжигание ТКО является более экологически чистым, чем сжигание ископаемого топлива. Например, в исследовании [1] указано, что выбросы (диоксины, фураны, ртуть, кадмий, свинец) от

предприятий по сжиганию ТКО в США были ниже по сравнению с предприятиями по сжиганию ископаемого топлива.

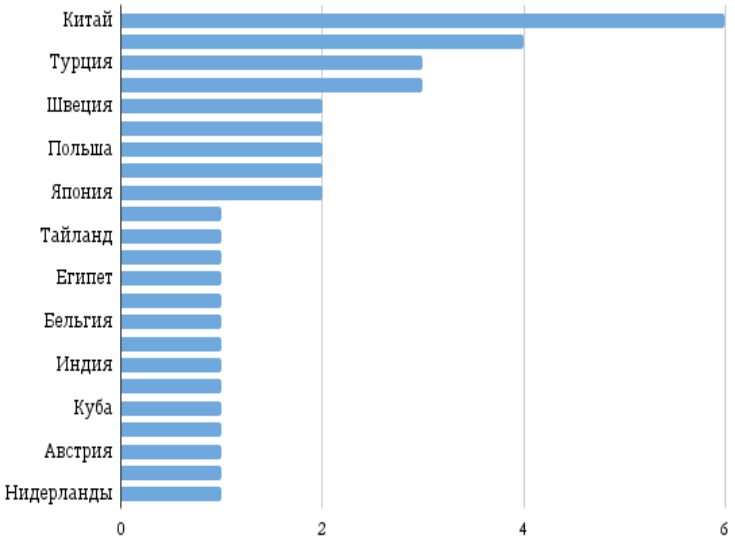


Рис. 1. География рассматриваемых исследований

Однако технология получения энергии из отходов может быть усовершенствована. Более экологичным вариантом является переработка отходов с целью разделения топливных фракций и получения из них RDF (топливо, полученное из отходов).

Состав RDF может варьироваться в зависимости от населенного пункта, организации системы управления отходами и потребностей потребителей. Теплотворная способность топлива из отходов делает его пригодным для использования в производстве цемента и для производства электроэнергии, которая может снабжать население. Исследование показало, что в состав RDF могут входить различные компоненты - от обычного мусора до соломы и осадка сточных вод [2, 3, 4]. Одним из интересных аспектов, рассмотренных в исследовании, является определение разницы между RDF и SRF. В качестве вывода можно сказать, что RDF — это одна из фракций SRF, а сам термин SRF закреплен на законодательном уровне [5]. Тем не менее, в статьях в основном используется термин RDF.

Исследования показывают, что существует стандартная схема производства, в основном включающая сортировку отходов, их измельчение и сушку [6]. В настоящее время активно изучается возможность

биосушки, которая имеет очевидные преимущества в виде удаления большого количества влаги и повышения теплотворной способности. Топливо также может быть гранулировано для более удобной транспортировки и подачи в некоторые установки, требующие определенного размера фракции подаваемого топлива [7].

Перспективным направлением в производстве RDF является регенерация отходов со свалок. Однако эта технология все еще находится на стадии исследований, поскольку состав извлеченных отходов не всегда можно точно определить.

При проектировании оборудования для утилизации необходимо учитывать изменчивость состава и возможные вредные выбросы, наносящие ущерб здоровью человека. Из технологий утилизации наиболее часто используется прямое сжигание, поскольку этот метод хорошо изучен и показал свою надежность [8]. Однако в настоящее время активно исследуются газификация и пиролиз. Газификация является многообещающим методом из-за более низких выбросов. Более того, газификация считается технологией, снижающей выбросы диоксинов и фуранов [4]. Пиролиз не распространен на промышленном уровне, что может быть связано с периодичностью процесса [9].

Тем не менее, RDF имеет ряд проблем при использовании. При хранении может происходить самовозгорание, этот процесс также изучается для снижения возникновения пожароопасных ситуаций и разработки надлежащих условий хранения [10]. Свойства золы также необходимо учитывать при выборе оборудования, так как при плавке зола может вызвать его засорение. Кроме того, зола сама по себе является отходом от использования RDF. Однако золу можно не только отправлять на свалку, но и использовать в качестве добавки в дорожные покрытия [11] или строительные материалы (цемент) [12]. Таким образом, RDF можно включить в развитие экономики замкнутого цикла.

Экономический анализ производства и использования RDF показывает его рентабельность и надежность [13].

Литература

1. Psomopoulos C. S., Bourka A., Themelis N. J. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2009. Vol. 29. C. 1718–1724.
2. Rezaei H. et al. Pelletization properties of refuse-derived fuel - Effects of particle size and moisture content // Fuel Process. Technol. Elsevier. 2020. Vol. 205, № April. C. 1–7.

3. Shangdiar S. et al. Development of biochar from the refuse derived fuel (RDF) through organic / inorganic sludge mixed with rice straw and coconut shell // Energy. Elsevier Ltd. 2021. Vol. 215. C. 119–151.
4. Cai J. et al. Synergistic effects of co-gasification of municipal solid waste and biomass in fixed-bed gasifier // Process Saf. Environ. Prot. Institution of Chemical Engineers. 2021. Vol. 148. C. 1–12.
5. Di Lonardo M.C. et al. The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flows of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2016. Vol. 47. C. 195–205.
6. Infiesta L.R. et al. Design of an industrial solid waste processing line to produce refuse-derived fuel // J. Environ. Manage. Elsevier. 2019. Vol. 236, № February. C. 715–719.
7. Huiliñir C., Villegas M. Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge // Water Res. 2014. –Vol 82. C. 1–11.
8. Montejo C. et al. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants // Appl. Therm. Eng. Elsevier Ltd. 2011. Vol. 31, № 13. C. 2135–2140.
9. Chen D. et al. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2014. Vol. 34, № 12. C. 2466–2486.
10. Yasuhara A., Amano Y., Shibamoto T. Investigation of the self-heating and spontaneous ignition of refuse-derived fuel (RDF) during storage // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2010. Vol. 30, № 7. C. 1161–1164.
11. Di Gianfilippo M. et al. LCA of management strategies for RDF incineration and gasification bottom ash based on experimental leaching data // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2016. Vol. 47. C. 285–298.
12. Hashem F.S., Razek T.A., Mashout H.A. Rubber and plastic wastes as alternative refused fuel in cement industry // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd. 2019. Vol. 212. C. 275–282.
13. Aracil C. et al. Implementation of waste-to-energy options in landfill-dominated countries: Economic evaluation and GHG impact // Waste Manag. Elsevier Ltd. 2018. Vol. 76. C. 443–456.

Модернизация модели обучения на примере освоения дисциплин экономики замкнутого цикла

Ермоченко А. И., Савоскула В. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В России высшее образование модернизируют с каждым годом, благодаря чему преподаватели внедряют в свои дисциплины современные модели обучения, которые не только помогают овладевать знаниями в изучаемой дисциплине, но и повышают навыки других сфер профессионального роста студента. Одним из таких методов являются дебаты.

Ключевые слова
Альтернативные источники энергии, дебаты, преподавание, модель обучения, экономика замкнутого цикла.

Современные студенты после бакалавриата поступают в магистратуру по нескольким причинам: повысить свою привлекательность на рынке труда, получить дополнительные знания, которых не хватает, либо поменять профессию. У таких студентов есть свои ценности: им важна свобода в высказываниях и действиях, самореализация, прагматичность в карьере и равенство со всех сторон. Им тяжело воспринимать стандартные лекции, прослушивание которых может занимать более двух часов подряд. Данная проблема является актуальной несколько лет, поэтому для преподавателя важно найти методы обучения, которые привлекут и заинтересуют современного студента.

Одним из методов обучения в образовательных технологиях являются дебаты. Американский исследователь А.С. Бэрд отмечал, что во время дебатов игроки, помимо обсуждения выдвинутой проблемы, затрагивают другие области знаний, которые помогут им в своей будущей профессиональной деятельности [1]. Педагоги, которые хотят развить у своих студентов расширенный кругозор и повышение навыков, могут использовать в своих дисциплинах дебаты как игру. К тому же дебаты позволяют приобрести студентам умение искать в кратчайшие сроки нужную информацию, этот навык впоследствии может помочь в научной деятельности.

При поиске информации о структуре и методах дебатов было выявлено, что педагогическая технология “дебаты” чаще используется для

обучения иностранному языку в университетах и школах изучения иностранных языков в работах отечественных и западных методистов (Белоглазова Е. В., Гурвич П. Б., Ермаков Е. П., Калинкина Е. Г., Крамарова Т. Ю., Курицына С. И., Пассов Е.И., Соколов А. Н., Царьков В. Б., Щеколдина А. В., Киркли Дж., Залески М. и др.)

Существуют несколько способов дебатирования, которые выделяют члены Международной Образовательной Ассоциации «Дебаты» IDEA: дебаты в команде; индивидуальные дебаты (дебаты Линкольна - Дугласа); академические дебаты; интернет-дебаты; состязательные дебаты; публичные дебаты; дебаты между утверждающей и отрицающей сторонами (дебаты Карла Поппера) [2].

Дебаты между утверждающей и отрицающей сторонами - дебаты Карла Поппера. Создателем таких дебатов является социолог и философ конца XIX в. Такой формат является самым простым из всех «командных» форм дебатов и подходит для тех. кто никогда не сталкивался с таким методом обучения. В данной игре все студенты принимают участие и имеют свои роли. Основными действующими лицами являются сторона Отрицания (О), и сторона Утверждения (У), внутри которых есть спикеры, распределенные командой по своим умениям. Активная роль отводится судьям. В нашем случае это студенты, не участвовавшие в день дебатов в роли спикеров. Они заполняют специальный, подготовленный заранее протокол, в конце игры комментируют, насколько логичными и обоснованными были выступления участников.

В учебном пособии Т. В. Светенко [3] упоминается, что обучение с помощью дебатирования сложно не только в момент выступления, а также в подготовительной работе, которая включает в себя несколько этапов:

1. Участники должны проанализировать свои лучшие качества и навыки и на основе этого распределить роли в команде.

2. Преподаватель должен правильно и доходчиво объяснить правила организации и проведения дебатов, чтобы исключить непонимания во время выступлений команд. В объяснение входит описание характеристик ролей, определение четкого регламента выступлений, выделение целей и задач игры, определение тем дебатов.

3. Каждая команда проводит анализ своей темы, изучает литературу. Обдумывает аргументы и контраргументы. Производит подбор, изучение и анализ основной литературы

4. Преподаватель с ментором должен обдумать критерии оценивания и создать судейский протокол, в котором будут выявлены все аспекты.

Следующий этап - этап выступления и проведения дебатов. Первое слово дают спикеру стороны утверждения (У1). На его речь отводится

10 минут, за которые он раскрывает тему, приводит доказательства основываясь на домашних заготовках. За речью следует пятиминутный раунд перекрестных вопросов: спикер противоположной стороны (О2) задает вопросы У1 для уточнения информации и или разрушения аргументации оппонента.

После первого спикера утверждающей стороны выступает первый спикер отрицающей стороны (О1), за которым следует раунд перекрестных вопросов, где второй спикер (У2) задает вопросы О1. Регламент тот же: 10 минут на выступление первого спикера и 5 минут на перекрестные вопросы. Затем - перерыв 5 минут, во время которого команды могут обсуждать дальнейшие действия и анализировать свое выступление, и выступление противоположной команды.

Во втором раунде выступают вторые спикеры У2, задача которых - за 5 минут усилить позицию своей команды. Во время перекрестных вопросов за 3 минуты О1 задает выступающему уточняющие вопросы. Следующее выступление за стороной отрицания (О2), и вопросы ему задает У1.

После перерыва начинается заключительный раунд, когда третьи спикеры (У3, О3) по очереди выступают, обобщая свои аргументы, усиливая позиции подводя итоги. На время всех выступлений выбирается тайм-кипер, это может быть ментор или преподаватель дисциплины, который следит за регламентом. в случае нарушения регламента тайм-кипер имеет право прервать выступление.

В заключение всей игры необходимо провести рефлексию - обсуждение дебатов. Во время него каждая сторона дает конструктивную обратную связь соперникам, и слушает мнение судей.

Помимо знаний на заданную тему дебатов, обучающийся сможет развить и повысить навыки необходимые общественным лидерам:

- умение отстаивать выбранную точку зрения,
- логическое выстраивание речи,
- развитие критического мышления,
- улучшение стиля публичных выступлений,
- принятие чужих взглядов, отличных от собственных,
- концентрация на сути проблемы, не отходя от темы,
- умение организовывать работу в команде,
- вести обсуждения толерантно, уважительно и этично.

Во всем мире предприятия ставят для себя цели прийти к устойчивому развитию за счет инноваций и снижению экологических угроз. Одним из методов является переход к циркулярной экономике. Такая экономика будущего позволит рационально использовать технические и природные ресурсы, подвергая все вторичному использованию. Для

России циркулярная экономика может помочь населению прийти к более экологически устойчивому будущему [4].

Использование альтернативных источников энергии является одним из путей к переходу к экономике замкнутого цикла. Так как данные темы не являются устоявшимися в России, при исследовании и обсуждении могут возникать споры и разные позиции среди людей. Поэтому. при составлении рабочего плана занятий было принято решение заменить классические лекции на дебаты во время проведения дисциплин “Исследования альтернативных источников энергии” и “Теория альтернативных источников энергии”. Для обсуждения было выбрано пять тем, направленных на изучение альтернативных источников энергии, а также выявления положительных и отрицательных сторон в использовании данных видов энергии:

- солнечная энергия применима для России;
- применение энергии ветра заменит традиционные источники;
- преобразование энергии воды — это экологично (ГЭС и ПЭС);
- биогаз в России не имеет успеха;
- атомная энергетика — это альтернативный вид энергии.

Магистрантам второго года обучения факультета энергетики и экотехнологий направления “Промышленная экология”, “Чистое производство” и “Экологический дизайн” было предложено выбрать заинтересовавшую их тему и занять позицию “опровержения” или “утверждения”. В общей группе по заданной тематике находилось от 6 до 8 человек, а одну позицию могли занять от трех до четырех человек. Всего в дебатах участвовало 33 человека.

На первой вводной лекции старшим преподавателем факультета энергетики и экотехнологий Савоскула В.А. были предоставлены правила дебатов, распределены роли и определен тайминг выступлений. Далее, за пять занятий были охвачены вся теоретическая информация по дисциплине. Помимо позиций отрицания или утверждения, команды готовили общие презентации на заданные темы, регламент выступления был обозначен в 10 минут.

Для того, чтобы оценить ценность полученных знаний на занятиях и реакцию на новый формат освоения дисциплины, был проведен сбор обратной связи от студентов, на основе которой были сделаны выводы:

1. Общее впечатление у студентов сложилось в положительном ключе. Были отмечены креативные выступление команд, толерантность и уважение к позиции соперников, интересный способ подачи и усвоения материала, а также желание подготовить свою речь лучше, на основе наблюдений за однокурсниками.

2. При реализации дисциплины в модульном формате верным решением было проводить занятия в формате дебатов за счет быстрой и

качественной подготовки студентов к занятию. От 2 до 5 часов на подготовку общей презентации посвятили 46,2% студентов, 34,6% студентов провели за домашним заданием 1 час, и 19,2% более пяти часов готовили презентацию. Ровно половина студентов за 5 часов проанализировали и сформировали аргументы своей позиции, 46,2 % студентов готовили свои аргументы от 1 часа до 5, и всего лишь 3,8% уделили этому занятию час. В рамках модульной системы, когда один предмет длится две-три недели, это качественные результаты.

3. Из 33 студентов, прошедших курс, ни один не участвовал ранее в дебатах, и все посчитали данный опыт полезным, так как после участия в дебатах были повышены навыки в поиске и подборе литературы, определения аргументов, улучшилась уверенность в публичных выступлениях, а также удалось научиться принимать чужие взгляды толерантно и этично. Такие компетенции помогут будущим специалистам работать в команде и налаживать взаимодействие с коллегами.

4. Дебаты проводились как в очном формате, когда все спикеры находились в аудитории, так и в дистанционном, при котором с каждым студентом была связь через платформу ZOOM, и в смешанном - часть участников была в аудитории, а часть в ZOOM. Было выявлено, что студентам-судьям было интереснее наблюдать за игрой в очном формате, находясь в аудитории, и выступающим спикерам комфортнее было получать эмоциональную отдачу от соперников и судей при личном взаимодействии с ними.

Литература

1. Baird A.C. General Education in the Course in Argumentation // The Grovel. 1956. C. 38.
2. Лэй Сун Интеллектуальная игра дебаты: формы организации и особенности проведения // Наука и школа. 2012. №5.
3. Светенко Т. В. Путеводитель по дебатам // Дебаты. Учебнометодический комплект. М.: БОНФИ, 2001. 167 с.
4. Сазонова Т. «Индустрия 4.0» идеальная экономика // Переток. Ру, 2016.

Подход экономики замкнутого цикла в управлении пластиковыми отходами

Галашова О. И., Зуева К. С.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В статье представлена информация об обращении с пластиковыми отходами и понятии экономики замкнутого цикла. Нами были рассмотрены стратегии циркулярной экономики и технологии переработки пластмасс. Также была составлена таблица с технологиями и этапами переработки пластиковых отходов, стратегией экономики замкнутого цикла и показателем TRL.

Ключевые слова
Циркулярная экономика; пластиковые отходы; управление пластиковыми отходами; переработка пластиковых отходов.

В настоящее время полимеры нашли применение во множестве различных секторов: от упаковки и строительства до электроники и сельского хозяйства, и это лишь некоторые из них. Но большое внедрение во все сферы жизни людей несет и ряд отрицательных последствий.

В регионах Европы и Центральной Азии в 2016 году образовалось 392 миллиона тонн отходов, или 1,18 кг на человека в день. На мировое производство полимеров уходит около 6% добываемой в мире нефти, и ожидается, что к 2050 году эта цифра вырастет до 20%.

В Фонде Эллен Макартур утверждают, что ежегодно 8 миллионов тонн пластика утекают в океан, что эквивалентно одному грузовику с мусором в минуту, который, как ожидается, удвоится к 2030 году и снова удвоится к 2050 году [1].

Однако примерно три четверти пластиковых отходов потенциально могут быть восстановлены посредством вторичной переработки, но в настоящее время восстанавливается только 31% отходов. Хорошим решением в этой ситуации может быть внедрение подхода экономики замкнутого цикла.

Чтобы смягчить растущие экологические проблемы, одновременно способствуя увеличению спроса на пластик, необходимо, чтобы промышленность полимеров развивалась, смещая акцент с одноразового

использования пластика на модель, ориентированную на восстановление ценности продукта и сокращение отходов, а именно на экономику замкнутого цикла [2].

Циркулярную экономику (ЦЭ) можно определить как экономическую систему, с помощью которой продукты разрабатываются как восстановленные с целью использования продуктов (а также компонентов и материалов) с максимальной ценностью в любое время, с различием между техническими и биологическими аспектами циклов [3].

Была предложена классификация для группировки существующих стратегий ЦЭ, описанных разными авторами. Выделяется шесть общих групп. Первые пять групп включают стратегии сохранения, а последняя группа рассматривает эталонный сценарий. Для простоты мы называем эти шесть групп стратегиями циркулярной экономики [4].

Стратегия 1. Сохраняется основная функция продуктов или услуг. Продукт возможно использовать многоразово и совместно. Данная стратегия ориентирована на использование и результат.

Стратегия 2. В данной стратегии акцент направлен на сохранение самого продукта за счет увеличения срока службы (долговечность, повторное использование, возможность ремонта, обновления и тд.).

Стратегия 3. Акцент на сохранение компонентных составляющих продукта путем повторного использования, восстановления и перепрофилирования.

Стратегия 4. Смысл данной стратегии заключается в сохранении материалов путем их вторичной переработки и вторичного использования.

Стратегия 5. При переходе на данную стратегию сохраняется энергия за счет процесса рекуперации на мусоросжигательных заводах.

Стратегия 6. Показывает нам минусы линейной экономики и ее нерентабельность [5].

Для переработки пластмасс существует большое количество технологий, таких как механические, химические и термохимические. В данной статье технологии были классифицированы в соответствии с четырьмя категориями переработки отходов. Варианты биологической переработки не были включены в этот анализ, так как эта область исследований все еще молодая и имеет недостаточное количество исследований [6].

Первичная переработка или переработка по замкнутому циклу

Материал может быть переработан для формирования продуктов с теми же свойствами, что и предыдущий продукт, поэтому пластиковый полимер остается в той же «петле». Первичная переработка может осуществляться до и после использования потребителем изделий из пластмасс.

Замкнутый цикл механической переработки. Данный вид подразумевает механическую переработку распространенных пластиков. Пластмассы, которые не смешиваются с другими вредными материалами или полимерами, могут быть переработаны с помощью замкнутого цикла.

Растворение полимеров двумя растворителями. Эта технология физической переработки напоминает растворение в сверхкритических растворителях (флюидах). Полимер растворяют в специальном растворителе и очищают от возможных загрязнений, используя сорастворитель для отделения полимера и извлечения использованного растворителя. Полимер извлекается и повторно гранулируется. Растворители зависят от полимера, и некоторые технологии растворения не используют сорастворители для извлечения полимера. В настоящее время переработка путем растворения еще не реализована для всех полимеров, но предполагается, что все полимеры можно обрабатывать специальным растворителем [7].

Вторичная переработка или переработка без обратной связи

Материал может быть переработан, но переработанный продукт имеет более низкое качество, чем исходный материал, поэтому пластиковый полимер применяется в других, обычно более дешевых изделиях, с возможностью переработки в «открытом цикле». В настоящее время большая часть переработки потребительского пластика идет по этому пути.

Механическая переработка без обратной связи. Отходы пластиковых полимеров собираются в смешанные потоки отходов, они содержат значительное количество загрязнений. Это может быть вызвано другими материалами или полимерами из более сложных по составу продуктов, загрязнением на этапе использования или добавками, такими как красители. Следовательно, после вторичной переработки получается сырье с более низкими свойствами материала (качеством), чем исходный продукт. Этот переработанный продукт не может заменить оригинальные изделия [7].

Третичная переработка

Включает переработку пластика в сырье и обратно в первоначальный мономер. Полимер не сохраняется в целости, но ценные материалы (сырье, мономеры) восстанавливаются [7].

Газификация до сырьевой продукции. Эта технология химической переработки напоминает высокотемпературную газификацию. Для этой технологии полимер используется в качестве топлива, полученного из отходов, и превращается в газификаторе в синтез-газ с молярным соотношением H2:CO 2:1. Количество синтез-газа и сопутствующие выбросы CO2 изменяются в зависимости от типа полимера.

Пиролиз до исходных продуктов. Для этой технологии химической рециркуляции полимер используется в качестве топлива, полученного из отходов, и превращается в пиролизное масло, которое считается эквивалентным дизельному топливу. Энергосодержание дизельного топлива зависит от теплотворной способности полимера.

Пиролиз до восковых продуктов. В этой технологии химической переработки полимер используется для получения углеводородных цепей средней длины (C10-C14) для замены парафиноподобных восков, которые потенциально также могут использоваться для замены смазочных масел.

Термохимическая переработка до мономеров путем газификации. Полимеры газифицируются при температуре от средней до высокой, и получается газ со смесью химикатов. Полученный продукт можно использовать для изготовления новых полимеров. Образующиеся химические вещества сильно зависят от полимера. Важным требованием для извлечения мономера является разделение продукта.

Термохимическая переработка в мономеры путем пиролиза. Полимер подвергается пиролизу при средней температуре, и получается масло со смесью химикатов, которые включают мономеры. Они потенциально могут быть повторно использованы для создания новых полимеров, а образующиеся химические вещества сильно зависят от полимера. Важным требованием для извлечения мономера является отделение оставшейся нефти [8].

Деполимеризация путем гликолиза. С помощью этой технологии химической переработки этиленгликоль добавляется к определенным полимерам (ПЭТ, нейлон 6) в присутствии катализатора, полимер деполимеризуется до исходного состояния, которое можно повторно использовать в производстве новых полимеров.

Гидролиз водой для получения биополимеров. Что касается биополимеров (в данном случае PLA – полилактид, полимер молочной кислоты), полимер может растворяться в воде при нагревании и распадаться на его мономерные связи. Эти мономеры можно повторно использовать для изготовления новых полимеров.

Четвертичная переработка или сжигание пластика с рекуперацией энергии

Материал сжигается и полностью уничтожается. Однако высокая теплотворная способность пластика приводит к рекуперации энергии в виде тепла и электричества.

Сжигание для получения энергии. Полимер сжигается, но выделяемая энергия улавливается и может заменить тепло и электричество. Ко-

личество тепла и энергии зависит от теплотворной способности (содержания энергии) полимера и конфигурации установки для получения энергии из отходов.

Таблица.

Технологии рециклинга (составлено авторами)

Технологии переработки		**Технологическое воздействие**	**TRL**	**ЦЭ – стратегия**
Первичная переработка	Замкнутый цикл механической переработки	механическое	высокий	4
	Растворение полимеров двумя растворителями	химическое	низкий	4
Вторичная переработка	Механическая переработка без обратной связи	механическое	высокий	4
Третичная переработка	Газификация с преобразованием в сырье	химическое	высокий	4
	Пиролиз до исходных продуктов	химическое	высокий	4
	Пиролиз до восковых продуктов	химическое	высокий	4
	Термохимическая переработка в мономеры путем газификации	термохимическое	средний	4
	Термохимическая переработка в мономеры путем пиролиза	термохимическое	средний	4
	Деполимеризация посредством гликолиза	химическое	средний	4

	Гидролиз водой для получения биополимеров	химическое	низкий	4
Четвертичная переработка	Сжигание для рекуперации энергии	термохимическое	высокий	5

Мы составили таблицу, в которой представлены сводные данные о технологиях и этапах переработки пластиковых отходов, стратегии замкнутой экономики и индикаторе TRL. Уровень развития технологий рециклинга определяется по шкале уровня технологической готовности (TRL). Здесь он разделен на три уровня: низкий (1–4), средний (5–7) и высокий (8–9) [7].

В пределах одной и той же категории переработки могут быть большие различия во входных параметрах (таких как использование энергии, конечные результаты продукта и выбросы). Следовательно, данные по технологиям переработки могут отличаться, даже если это одна и та же технология, например, на уровне завода. В данной статье описаны технологии переработки пластмасс, являющиеся обобщением широких вариаций, возможных в самой технологии. Кроме того, некоторые выбранные технологии являются инновационными и еще не применяются в рыночных масштабах.

Одним из возможных методов является механическая переработка, но технология остается ограниченной из-за возможного ухудшения качества материала, возникающего из-за термомеханической деградации, вынуждая использовать материал для менее благородных изделий. Многообещающей альтернативой этому методу является химическая переработка, которая включает как деполимеризацию, так и разложение, при этом последний позволяет получить доступ к материалам с добавленной стоимостью. Это, в свою очередь, обеспечит дополнительную ценность для цепочки поставок, тем самым способствуя повышению экономических показателей, что является особенно привлекательной особенностью для промышленности.

Литература

1. Bishop, George, David Styles, and Piet N.L. Lens, Recycling of European Plastic Is a Pathway for Plastic Debris in the Ocean// Environment International. 2020 №142.

2. Payne, Jack, Paul McKeown, and Matthew D. Jones, A Circular Economy Approach to Plastic Waste// Polymer Degradation and Stability. 2019. №165. С. 170–181.
3. Robaina, Margarita, Kelly Murillo, Eugénio Rocha, and José Villar, Circular Economy in Plastic Waste - Efficiency Analysis of European Countries// Science of the Total Environment. 2020. №730. P.139038.
4. Morseletto, Piero, Targets for a Circular Economy// Resources, Conservation and Recycling. 2020. №153.
5. Moraga, Gustavo, Circular Economy Indicators: What Do They Measure? // Resources, Conservation and Recycling. 2019. №146. С. 452–461.
6. de Römph, Thomas J., and Geert van Calster, REACH in a Circular Economy: The Obstacles for Plastics Recyclers and Regulators// Review of European, Comparative and International Environmental Law. 2018.№27. С. 267–277.
7. Schwarz, A. E. et al, Plastic Recycling in a Circular Economy; Determining Environmental Performance through an LCA Matrix Model Approach// Waste Management. 2021. №121. С. 331–342.
8. Hidalgo-Crespo, J. et al, Introduction of the Circular Economy to Expanded Polystyrene Household Waste: A Case Study from an Ecuadorian Plastic Manufacturer// Procedia CIRP. 2020. №90. С. 49–54.

Биоразлагаемые материалы в России: актуальность, рынок, проблемы

Кузнецова А. П., Дунаева А. Е., Молодкина Н. Р.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Загрязнение окружающей среды пластиком является одной из наиболее обсуждаемых экологических проблем современного мира. Как решение проблемы загрязнения пластиком рассматривается возможность его замены биоразлагаемыми материалами. В России ведется разработка программы введения запрета на некоторые товары из трудно перерабатываемого и одноразового пластика с переходом на более экологичные альтернативы. В работе рассмотрены основные проблемы внедрения биоразлагаемых материалов, проведен аналитический обзор патентов и современного рынка биоразлагаемой продукции и центров оценки биоразложения.

Ключевые слова
Биоразлагаемый материал, оценка биоразложения, биоразлагаемая продукция.

Во время Восточного экономического форума в 2021 году глава Минприроды России Александр Козлов подчеркнул: «Окончательный запрет на производство одноразовых товаров из пластика в РФ должен быть введен в 2024 году». В том числе Министерство отмечает, что запрет одноразовых товаров из пластика может быть введен только после создания инфраструктуры производства альтернативных замещающих изделий. Одними из таких альтернативных материалов рассматриваются биоразлагаемые материалы.

Ведущими проблемами внедрения биоразлагаемых материалов, по мнению авторов, являются отсутствие системы проверки и оценки биоразложения материалов, их сертификации и недостаточно развитое производство биоразлагаемых материалов.

В настоящий момент, согласно проведенному патентному поиску с использованием кодового слова «биоразлагаемый материал», число патентов составляет 32. Количество патентов по годам, начиная с 1996, представлено на рисунке.

Согласно проведенному анализу патентов, российские разработки биоразлагаемых материалов строятся на использовании полимерной основы (полилактида, поливинилхлорида, полиэтилена, полистирол) в смеси с растительными добавками (целлюлоза, крахмал, хитин, олиго/полипептиды, природные наполнители – рисовая лузга, древесная мука и др.). Однако важно учитывать, что биопластики, включающие синтетические полимеры, требуют дополнительного анализа на подтверждение биоразложения без создания микропластиков. Кроме того, время и степень биоразложения таких материалов может иметь больший диапазон. Так, поливинилхлорид в смеси с растительными добавками может разлагаться от 6 до 36 месяцев [1]. В качестве синтетического полимера для создания биоразлагаемых материалов наибольшее признание получил полилактид, так как его полное биоразложение было доказано многими исследованиями [2].

Рис. 1. Количество патентов по кодовому слову «биоразлагаемый материал» за последние 25 лет

Вторым вариантом создания биоразлагаемых материалов, менее используемым среди рассмотренных патентов, является создание материала полностью на растительной основе, без применения полимерных основ, что несомненно облегчает восприятие материала как более экологичного и биоразлагаемого [3]. Как нетипичный вариант композиции отмечается применение глютена для создания пищевой упаковки и трубочек, однако в данном случае важно учитывать возможную опасность для потребителей с заболеванием целиакия или непереносимостью глютена [4].

Некоторые из рассмотренных патентов направлены на создание биоразлагаемых материалов, способных заменить конкретную неэкологичную продукцию, например, изоляционные оболочки металлических

жил проводов [5]. Однако многие созданные материалы направлены на более широкое применение в различных отраслях: в медицине, фармацевтике, пищевой промышленности, косметической промышленности. Наиболее часто рассматривается применение биоразлагаемых материалов в качестве упаковки пищевой продукции (в особенности, при полностью растительном составе материала).

При анализе методов оценки биоразложения обнаружено, что многие патенты утверждают о биоразложении, ссылаясь на различные методики исследования, но не на ГОСТы, устанавливающие методы оценки биоразложения. В рассмотренных патентах выводы о биоразложении делались на основе ГОСТ 9.048–89 «Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» и воздействия естественных факторов среды (без ссылки на стандартизированные методики) [6]. В Российской Федерации существует система государственных стандартов по оценке биоразложения материалов, включающая в себя международные методики исследования:

- ГОСТ Р 57224–2016 (ISO 14855–1:2012) Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Ч.1.
- ГОСТ Р 57219–2016 (ISO 14855–2:2007) Пластмассы. Определение способности к полному аэробному биологическому разложению и распаду в контролируемых условиях компостирования. Метод с применением анализа выделяемого диоксида углерода. Ч.2.
- ГОСТ Р 57226–2016 (ISO 16929:2013) Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний.
- ГОСТ Р 57225–2016 (ISO 20200:2015) Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях.

Перечисленные методы используются международными органами сертификации для определения биоразлагаемости материалов, в связи с чем их использование наиболее оправдано для определения и оценки степени биоразложения.

Таким образом, патентный обзор показывает наличие большого количества разработок и композиций биоразлагаемых материалов, но подчеркнул важную проблему – применение не стандартизированных методов для оценки биоразложения. В связи с этим, проведено исследование существующих лабораторий и центров по оценке биоразложения и применяемых ими методов.

В результате поиска было найдено две лаборатории, занимающиеся проверкой и оценкой биоразложения, в том числе выдачей собственных сертификатов. Первой организацией является «СДС Святобор» - организация проводит оценку степени биоразложения материалов совместно с международными партнерами согласно международным стандартам, упомянутым выше. По результатам анализа организация может выдать собственный сертификат соответствия или международный сертификат. Стоимость лабораторных исследований составляет 110 000 руб., без учета затрат на сертификацию [7].

Вторая организация – Научная лаборатория «Перспективные композиционные материалы и технологии» при кафедре химии и физики Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова [8]. Лаборатория проводит анализы на биоразложение, ссылаясь как на российские государственные стандарты, так и на международные. При сопоставлении стандартов и методов обнаружились противоречия. Так, в услугах лаборатории прописан следующий анализ: «Определение аэробного биоразложения / устойчивости к микробиологическому разрушению материала в почвенном грунте (ГОСТ 9.060, ISO 17556). Однако ГОСТ 9.060 не является аналогом международного стандарта ISO 17556, так как данный международный стандарт не переведен и не внедрен в систему российских государственных стандартов. Кроме того, требования данного стандарта четко прописывают требования к субстрату и почве – почва должна быть усредненной из 3 различных проб с разных территорий (леса, поля, пастбища). Однако в другом типе анализа данной лаборатории со ссылкой на ISO 17556 прописано использование подготовленного грунта на испытательном полигоне, что противоречит условиям исследований по данному стандарту. Также анализ по ISO 17556 может проводиться в срок до 6 месяцев, в то время как лаборатория обозначает срок до 12 месяцев. Стоимость анализов в лаборатории составляет 12 000 руб. – 15 000 руб. Отмечается огромная разница в стоимости анализов приведенных лабораторий.

Таким образом, российский рынок услуг в сфере оценки биоразложения крайне неразвит, наблюдается сильная разница в стоимости услуг и, кроме того, отмечено несоответствие приводимых стандартов к используемым методикам анализа.

Следующим сектором анализа является производство биоразлагаемых материалов в России. Оценка мощностей по производству биоразлагаемых материалов в России неоднозначна, так как данная сфера только начинает привлекать российских исследователей и производителей. Согласно докладу Потаповой А. М., руководителя отдела развития рынка НПП Полипластик, российский рынок биоразлагаемой упаковки

составляет не более 10 тыс. тонн/год. Упаковка в основном представлена материалами на основе крахмала, традиционных полимеров с импортными добавками – что также было показано в результате проведенного патентного обзора.

Таблица.

Сравнение биоразлагаемой продукции российских компаний

Тип упаковки	**Компания**	**Вид**	**Стоимость за шт.**	**Материал**	**Сертификация**
Оксоразлагаемая	ООО «Компания ЕвроБалт»	Пакеты, упаковка	0,60–1,5 руб.	Полиэтилен+ добавка	-
	АО «ТИКО-Пластик»		На 10% выше цены обычного пакета	-	-
	ООО «Поли Пак Сервис»		-	Полиэтилен + d2w	-
Биоразлагаемая растительного происхождения	АО «Артпласт»	Лотки для еды, упаковка, одноразовые приборы и посуда	14,2 руб. за тарелку	Сахарный тростник, крахмал, растительное волокно	-
	АО «Оптиком»		6,41 руб. за тарелку	Крахмал, целлюлоза, сахарный тростник	Соответствует ГОСТ-Р-54530
	Стартап Albeta	Одноразовая деревянная посуда	~30 руб. за тарелку	Шпон	Сертификат TÜV
	Стартап Cleapl	Трубочки, пищевая пленка	~1,43 руб. в условиях B2B	Крахмал, глютен	Не уточнено
	Стартап Nettle TOC	Одноразовая посуда, канцелярия	-	Крапива	-
Биоразлагаемая с использованием полимеров	ООО "ГЕОВИТА"	Одноразовая упаковка, посуда	4,42–9,68 руб.	Сахарный тростник, кукурузный крахмал	-

Отмечается значительный рост спроса на полилактид – его импорт за 2015–2019 гг. вырос в 2,6 раз (с 151,9 т до 393,8 т.). Для производства пищевой упаковки поставки полилактида за этот же промежуток времени выросли в 6,8 раз. При этом в структуре импорта 44,50% занимает использование полилактида для пищевой упаковки. По оценкам BusinesStat, в 2020–2024 гг импорт полилактида в Россию будет увеличиваться на 6,1–7,2% в год [9].

В таблице приведены результаты проведенного обзора существующих компаний и стартапов, заявляющих о продаже и/или производстве биоразлагаемой упаковки. Представленная информация взята из сети Интернет и официальных сайтов компаний. Анализ показывает большое различие в стоимости биоразлагаемой посуды, что в большей степени связано со страной происхождения продукции и размером компании.

Так, ООО «Геовита», АО «Артпласт» занимаются дистрибьюцией биоразлагаемой продукции из Китая и других стран, без знаков сертификации и подробного описания состава. Цена на товар в этих компаниях более низкая, по сравнению с продукцией Albeta, производимой в России и обладающей сертификацией. Из 9 рассмотренных компаний только 3 обладают сертификацией, подтверждающей качество и способность к биоразложению.

В заключение, с уверенностью можно предсказывать развитие российского рынка биоразлагаемых материалов в связи с изменением государственной политики и скором внедрением запретов на некоторые одноразовые пластиковые товары. В настоящий момент на российском рынке в большей степени представлены несертифицированные биоразлагаемые и оксо-разлагаемые материалы, зачастую производимые не в России и продаваемые по более низкой цене. Многообещающим развитием для рынка является появление стартапов, представляющих качественную биоразлагаемую продукцию, получившую сертификаты качества. Важной проблемой является недостаточное количество лабораторий, аккредитованных для проведения анализов на биоразложения. Кроме того, большим недостатком является несоответствие применяемых методов международным и российский стандартам. При развитии российского законодательства в сфере биоразлагаемых материалов следует ожидать усиление контроля как сферы производства, так и сферы оценки биоразлагаемых материалов.

Литература

1. Крутько Э. Т., Технология биоразлагаемых полимерных материалов. – Минск: БГТУ, 2014. – 105 с.

2. Funabashi M., Ninomiya F., Kunioka M., Biodegradability evaluation of polymers by ISO 14855-2 // International Journal of Molecular Sciences. 2009. № 8. С. 3635–3654.
3. Потороко И. Ю., Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов // Вестник ЮУрГУ. 2020. № 2. С. 21–28.
4. Биоразлагаемый материал на основе биомодифицированных растительных полисахаридов и белков пшеничного глютена и способ его получения [Текст]: пат. 116 397 Рос. Федерация: МПК B32B 23/08 / заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Клипл". – N 2019116397; заявл. 28.05.2019; опубл. 30.11.2020.
5. Биоразлагаемый материал [Текст]: пат. 2 741 986 Рос. Федерация: МПК C08L 3/02, C08L 9/00 / Хаширова С. Ю., Виндижева А. С., Жанситов А. А., Бесланеева З.Е.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова" (КБГУ). – N 2020115703; заявл. 12.05.2020; опубл. 01.02.2021.
6. Многослойный пленочный или листовой биоразлагаемый материал и биоразлагаемая полимерная композиция для создания биоразлагаемого слоя в материале [Текст]: пат. 2 752 345 Рос. Федерация: МПК B32B 33/00, B32B 9/02, C08L 23/04, C08L 97/02/ Пантюхов П.В., Масталыгина Е.Е., Попов А. А.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова" (ФГБОУ ВО "РЭУ им. Г.В. Плеханова"). – N 2020116620; заявл. 03.07.2020; опубл. 01.02.2021.
7. БИО сертификация органической и натуральной продукции СДС «Святобор» [Электронный ресурс] – URL:https://www.biocert.ru/about_bioraz.html (дата обращения 09.10.2021)
8. Научная лаборатория «Перспективные композиционные материалы и технологии» [Электронный ресурс] – URL: https://plastlab.org/about/ (дата обращения 09.10.2021)
9. BusinesStat. Анализ рынка полилактида в России в 2015-2019 гг, оценка влияния коронавируса и прогноз на 2020-2024 гг. – М.: BusinesStat, 2020. – 55 с.

Новая скважина к подледниковому озеру Восток

Захаров А. А.

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт», г. Гатчина, Ленинградская область, Россия

Аннотация

Поскольку существующая скважина к подледниковому озеру Восток в Антарктиде не может быть использована для изучения озера из-за высокой степени загрязненности, рассматриваются различные способы бурения новой скважины. Впервые предлагается способ скоростного бурения ледника горячей силиконовой жидкостью и способ с использованием турбобура, приводимого в движение потоком силиконовой жидкости. Силиконовая жидкость используется в качестве буровой жидкости, выполняет роль экологически чистого антифриза, предотвращает смыкание стенок скважины и позволяет производить погружение через нее в озеро научных приборов и пробоотборников.

Ключевые слова

Антарктида, подледниковое озеро, скважина, силиконовая буровая жидкость.

Озеро Восток имеет слегка изогнутую форму, его размеры превышают 275 км в длину и 50 км в ширину. В районе станции «Восток» толщина ледника над озером составляет 3 758 м, водный слой равен 680 м, а слой осадочных пород достигает 330 м [1]. Ледник движется с запада на восток практически перпендикулярно продольной оси озера со скоростью 3 ± 0,8 м/год [2].

Проблема, связанная с изучением озера Восток, заключается в том, что существующая скважина, через которую было произведено вскрытие озера в феврале 2012 г., не может быть использована для погружения в озеро научных приборов и пробоотборников. В процессе многолетнего бурения скважина и заливочная жидкость подверглись сильному загрязнению. В связи с суровыми климатическими условиями проведение буровых работ в Антарктиде возможно только в период непродолжительного летнего сезона, в связи с чем скорость бурения приобретает крайне важное значение.

Бурение льда электромеханическим колонковым буровым снарядом широко используется в гляциологии для извлечения ледяных кернов с целью изучения истории атмосферы и палеоклимата Земли. Этот тип

бурового снаряда использовался для бурения скважины к озеру Восток. В качестве буровой смеси использовался авиационный керосин ТС-1 и фреон R-141b, которые стали источниками загрязнения [3, 4]. При соприкосновении буровой жидкости с водой во время вскрытия озера образовалась пробка из клатратных гидратов фреона [5, 6, 7, 8]. Процесс образования клатратных гидратов изучен в работе [9]. Результаты обследования состояния скважины описаны в книге [10]. Даже в случае перехода на экологически чистую буровую жидкость и относительно небольшое энергопотребление в процессе бурения электромеханический колонковый буровой снаряд не может быть рекомендован для новой скважины из-за медленной скорости проходки, попадания наружной биоты в скважину во время многочисленных извлечений и погружений бурового снаряда, загрязнения скважины вследствие механического износа оборудования и длительного срока бурения (5-6 лет).

Сплошное бурение льда электромеханическим буровым снарядом с использованием циркулирующей через скважину экологически чистой незамерзающей буровой жидкости для удаления ледяной крошки является более предпочтительным способом для создания новой скважины. Этот способ может обеспечить большую скорость проходки, что позволит пробурить скважину к озеру за один летний полевой сезон.

Роторная буровая установка с высокой скоростью проходки на основе промышленной буровой установки Boart Longyear LF230 была использована в Антарктиде в проекте RAID (Rapid Access Ice Drill) [11]. К недостаткам способа роторного бурения можно отнести значительный вес буровой установки, большое количество буровых труб и большой расход топлива.

В летние сезоны, начиная с сезона 2004/2005 г. по сезон 2010/2011 г., на полярной станции Амундсена – Скотта, расположенной на Южном полюсе, горячей водой было пробурено 86 скважин глубиной 2 500 м диаметром 60 см. Таким образом, была создана крупнейшая в мире нейтринная обсерватория IceCube [12]. Вместе с достоинством высокой скорости проходки, которая может достигать 2 м/мин, и использованием воды в качестве недорогого и доступного теплоносителя, имеются и недостатки, не позволяющие применить этот способ для бурения на озере Восток. Горячей водой практически невозможно пробурить лед на глубину более 3 000 метров, а скважина замерзает в течение нескольких часов, что недостаточно для выполнения комплексных научных исследований.

Для преодоления этих ограничений предлагается способ бурения льда горячей силиконовой жидкостью [13]. Силиконовая жидкость имеет диметилполисилоксановую структуру: $(CH_3)_3SiO – [– Si(CH_3)_2O$

– $]_n$ – $Si(CH_3)_3$, выпускается промышленным способом, обладает температурой замерзания ниже - 60°С, имеет плотность, близкую к плотности льда, и относительно низкую вязкость. Жидкость гидрофобна, что способствует отделению ее от воды в сепараторе. Силиконовая жидкость по своим свойствам подходит для использования в качестве заливочной для глубоких ледниковых скважин, однако она никогда ранее не предлагалась в качестве инструмента бурения льда. Принципиальная схема способа бурения горячей силиконовой жидкостью представлена на рисунке 1.

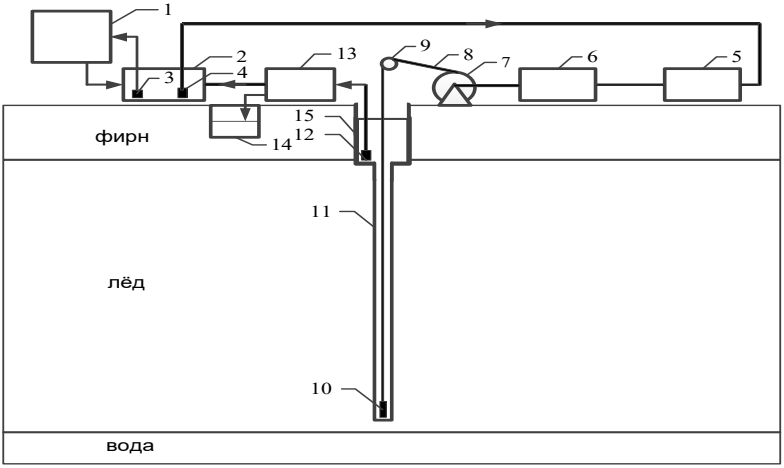


Рис. 1. Принципиальная схема бурения горячей силиконовой жидкостью

Принципиальная схема бурения горячей силиконовой жидкостью: 1 – резервуар хранения силиконовой жидкости; 2 – емкость с силиконовой жидкостью; 3 – погружной насос для удаления силиконовой жидкости в резервуар хранения; 4 – погружной жидкостный насос; 5 – насосная станция высокого давления;6 – тепловая печь; 7 – лебедка; 8 – гибкий трубопровод;9 – шкив; 10 – буровой снаряд с соплом; 11 – скважина; 12 – откачной погружной насос; 13 – сепаратор; 14 – углубление с дренажной водой; 15 – обсадная колонна.

В предлагаемом варианте бурения силиконовая жидкость объединяет и выполняет функции инструмента бурения, обеспечивающего плавление льда и удаление образовавшейся воды из скважины, заливочной жидкости, предотвращающей смыкание стенок скважины под воздействием давления окружающего льда и экологически чистого антифриза, поддерживающего длительную эксплуатацию скважины.

Предварительные расчеты бурения скважины к озеру Восток, выполненные с помощью программы [14], показывают, что скважину глубиной 3758 м и диаметром 20 см можно пробурить за трое суток потоком силикона с расходом 570 л/мин и температурой 110°С. Объем скважины равен 100 м^3. Давление на входе в гибкий трубопровод с внутренним диаметром 6,4 см составляет 4,6 МПа. Максимальная потребляемая тепловая мощность для нагрева силиконовой жидкости равняется 2 МВт. На бурение скважины потребуется 14 000 л топлива. К недостаткам бурения новой скважины горячей силиконовой жидкостью можно отнести значительные энергетические затраты на нагрев и плавление льда, а также необходимость доставки большого количества топлива к месту бурения.

Альтернативным способом создания новой скважины может стать бурение с помощью турбобура, приводимого в движение потоком силиконовой жидкости, который одновременно будет выносить из скважины ледяную крошку. Бурение турбобуром применяется для глубоких нефтяных, разведывательных и газовых скважин, однако до настоящего времени оно не применялось для бурения льда. Для подачи силиконовой жидкости к турбобуру может использоваться гибкий трубопровод, намотанный на катушку, как в случае бурения горячей водой или горячим силиконом. На корпусе турбобура располагаются продольные полозья с упором в стенку скважины. Полозья предотвращают вращение корпуса, оставляя возможность вертикального перемещения турбобура в скважине. К недостаткам способа бурения льда турбобуром, приводимым в движение силиконовой жидкостью, можно отнести ее повышенную вязкость при низких температурах. С энергетической точки зрения этот способ может оказаться наиболее эффективным.

Окончательный выбор технологии бурения новой скважины к озеру Восток возможен после выполнения эскизного проектирования для четырех потенциально подходящих вариантов бурения: сплошного бурения электромеханическим буровым снарядом, бурения роторной буровой установкой, бурения с использованием турбобура и бурения горячей силиконовой жидкостью.

Буровые работы на ледниковой скважине озера Восток проводятся в три этапа. Первый этап заключается в бурении скважины в фирне с последующей установкой в нее обсадной колонны из пластиковых труб. Бурение фирна толщиной 120 м выполняется с помощью специального бурового оборудования. Герметизация нижней части обсадной колонны со льдом производится с помощью пакера или путем вмораживания в лед с помощью нагревателя, установленного на конце колонны.

Второй этап состоит в скоростной проходке ледника одним из выбранных способов бурения. Буровой снаряд перед погружением в скважину проходит процедуру очистки, как и остальное оборудование, через которое циркулирует буровая жидкость. Сама буровая жидкость также подвергается очистке с помощью фильтров и облучения ультрафиолетом. В процессе бурения измельченная ледяная крошка выносится на поверхность и отделяется от буровой жидкости, которая насосами под давлением подается в забой по трубопроводу. За несколько метров до поверхности озера бурение прекращается, буровой снаряд извлекается из скважины.

Третьим этапом буровых работ является вскрытие озера электромеханическим буровым снарядом. Высота столба жидкости в скважине устанавливается таким образом, чтобы в забое создавалось гидростатическое давление, при котором в момент вскрытия озера вода поступала в скважину.

После завершения научной программы изучения водного бассейна озера Восток производится консервация скважины. В заливочную жидкость на глубину гидрологического уровня опускается погружной насос, закрепленный на конце трубопровода. С помощью насоса выполняется удаление силиконовой жидкости из скважины в специально подготовленные емкости. Во время удаления жидкости вода поднимается до гидрологического уровня и со временем замерзает в скважине. Таким образом, скважина пломбируется замерзшей озерной водой, которая надежно изолирует озеро Восток от контакта с поверхностной средой. Извлеченная силиконовая жидкость может впоследствии использоваться для бурения других скважин.

Литература

1. Масолов В. Н., Лукин В. В., Шереметьев А. Н., Попов С. В. Геофизические исследования подледникового озера Восток // Доклады Академии наук. 2001. Т. 379. № 5. С. 680–685.
2. Bell R. E., Studinger M., Tikku A., Clarke G. K. C., Gunter M. M., Meertens C.C., Origin and fate of lake Vostok water frozen to the base of the east Antarctic ice sheet // Nature. 2002. 416. P. 307–310.
3. Алехина И. А., Васильев Н. И., Екайкин А. А. и др. Предварительные результаты исследований химического состава воды, замерзшей в буровой скважине после вскрытия озера Восток. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 2 (100). С. 5–14.
4. Alekhina I. A. et al. Chemical characteristics of the ice cores obtained after the first unsealing of subglacial Lake Vostok. // Geol. Soc. 2017. V. 461. P. 187–196.

5. Lukin V. V., Bulat S. A. Vostok Subglacier Lake: Details of Russian Plans/Activities for Drilling and Sampling // Antarctic Subglacial Aquatic Environments. Geophysical Monograph Series. American Geophysical Union. 2011. V.192. P. 187–197.
6. Mowlem M. et al. Probe Technologies for Clean Sampling and Measurement of Subglacial Lakes // Philos.Trans.A. 2016. V. 374. P. 1–18.
7. Murshed M. M., Faria S. H., Kuhs W. S. et al. The Role of Hydrochlorofluorocarbon Densifiers in the Formation of Clathrate Hydrates in Deep Boreholes and Subglacial Environments // Ann.Glaciol. 2007. V. 47. P. 109–114.
8. Lipenkov V., Alekhina I., Ekaykin A. et al. // Proc. Int. Conf. “Biogeochemistry, Biophysics and Astrobiology Studies at the Russian Antarctic “Vostok” Station: Results and Prospects”. St. Petersburg 2015. 32 p.
9. Захаров А. А. и др. Образование клатратных гидратов в заливочной жидкости, используемой в скважине подледникового озера Восток. // Препринт ПИЯФ НИЦ КИ 2992. Гатчина. 2016. 22 с.
10. Захаров А. А., Четвериков Ю. О., Соловей В. А., Ежов В. Ф. Озеро Восток. В поисках прикосновения. – Гатчина: Изд-во НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ. 2020. 154 с.
11. Goodge J.W., Severinghaus J.P., Rapid Access Ice Drill: a new tool for exploration of the deep Antarctic ice sheets and subglacial geology. // Journal of Glaciology. 2016. 62(236) P. 1049–1064.
12. Aguilar J.A., Altmann D., Andeen K. et al. The IceCube Neutrino Observatory: Instrumentation and Online Systems // J. Instrument. 2016. 77 p.
13. Захаров А. А. Способ бурения ледниковых скважин. Патент №2751030, Российская Федерация, дата гос. рег. 07.07.2021.
14. Захаров А. А., Колхидашвили М. Р. Программа для расчета термодинамических параметров бурения ледниковых скважин нагретым теплоносителем. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2020665064; дата гос. рег. 20.11.2020.

Сравнительный анализ биоразлагаемых материалов в России

Дунаева А. Е., Кузнецова А. П., Молодкина Н. Р.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Пластиковые отходы занимают лидирующую позицию в списке различных видов ТБО, производимых человеком. На данный момент полный и радикальный отказ от пластика не сможет пройти безболезненно для экономики страны. Одним из решений служит сокращение потребления одноразовой пластиковой продукции и постепенное внедрение продукции из биоразлагаемых материалов. В работе рассмотрены основные виды биоразлагаемых материалов в России и мире, проблемы, связанные с их производством и сегмент отечественных производителей, а также перспективы развития этого направления в России.

Ключевые слова
Биоразлагаемый материал, рынок биоразлагаемых материалов, биоразлагаемая продукция.

Актуальными проблемами для Российской Федерации является складирование бытового мусора и низкие уровни переработки отходов. Так, в настоящий момент перерабатывается только 8% отходов, и насчитывается 15 тысяч легальных свалок [1]. Значительную долю твердых бытовых отходов, вывозимых на свалки, составляет пластик – ежегодно вывозится около 2 млн тонн пластиковых отходов [2].

Пластик заслужил свои популярность благодаря прочности, устойчивости к относительно высоким и низким температурам, а также к воздействию кислорода и химически активных веществ. Однако высокими эксплуатационными характеристиками пластики обязаны различным добавкам, которые могут быть опасны для окружающей среды, в первую очередь из-за увеличения срока разложения пластиковых материалов и усложнения их переработки.

Главное — пластиковый пакет очень дешевый. Однако его полезный жизненный цикл составляет максимум пару часов, дальше пакет выбрасывается, при этом из-за своих высоких технических характеристик он не может самостоятельно разложиться в природе.

Если рассматривать в качестве альтернативы одноразовым пластиковым пакетам бумажные, это будет еще сильнее сказываться на экологическом положении. Согласно самому цитируемому исследованию, на производство одного бумажного пакета уходит в три раза больше энергии и в 17 раз больше воды, чем на производство пластикового. То есть бумага не может быть альтернативой пластику ни с точки зрения экономики, ни с точки зрения экологии [3].

Торговые сети получают на полиэтиленовых одноразовых пакетах 40–60 % залога и ежегодную прибыль в сотни миллионов рублей, это самый продаваемый товар в магазинах. В 2018 году в России было произведено 42 млрд пластиковых мешков и пакетов [4, 5]. Одноразовые пакеты являются одним из главных загрязнителей. По результатам проверок пластикового загрязнения на берегах рек, озёр и морей, 68% фрагментов найденного мусора оказались пластиком. Из них — 96,2% – это одноразовый пластик [6].

В России тренд на экологичность с каждым годом растет. У этого есть много причин, например, готовящиеся запреты на изготовление одноразового пластика, которые, в том числе, связаны с введением аналогичных мер в странах ЕС [7]. Внедрение запретов на одноразовые пластиковые продукты положительно сказывается на экологической осознанности населения. Так, 85% россиян уже рассматривают сокращение или отказ от использования пластиковых пакетов как возможный вариант изменения своего поведения. Более того, 70% уверены, что отказ от одноразового пластика поспособствует улучшению экологической ситуации в нашей стране [8, 9, 10].

Вторым способом борьбы с пластиковым загрязнением является использование материалов, способных к безопасному разложению в природных условиях за короткие сроки — под действием тепла, влажности, микроорганизмов, ультрафиолетовых лучей [11].

Существует несколько альтернатив традиционным полимерам:

1. Полимеры на биооснове, то есть сделанные полностью из природных материалов (крахмала, полимолочной кислоты, целлюлозы и т. д.).
2. Полимеры с биоразлагающими добавками, которые ускоряют процесс разложения в естественных условиях.
3. Пластики с оксобиоразлагаемыми добавками (катализатор добавок – кислород) [12].

В настоящее время биопластики составляют примерно 1% от 335 млн тонн пластиков, производимых ежегодно. По результатам исследований, глобальные производственные мощности по выпуску биопластиков увеличатся примерно с 2,11 млн тонн в 2018 году до приблизительно 2,62 млн тонн в 2023 году.

Биоосновные, не поддающиеся биологическому разложению пластмассы, в том числе решения на основе PE (полиэтилен на биооснове), PET (полиэтилентерефталат на биооснове) и на основе PA (полиамид на биооснове), в настоящее время составляют до 46% (1 млн тонн) от мировых мощностей по производству биопластиков и в ближайшее время будут продолжать расти из-за внедрения новых мощностей. На рисунке изображены глобальные мощности производства биопластиков на 2018–2019 гг.

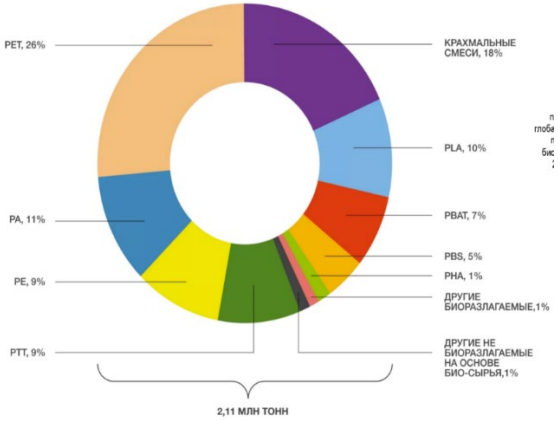


Рисунок. Глобальные производственные мощности биопластиков в 2018–2019 гг., тыс. тонн (по типу материала) [13]

На полимерном рынке предлагаются проекты по созданию производственных мощностей биопластиков из полимолочной кислоты (PLA) или полигидроксиалканоата (PHA). В России строительство таких мощностей пока что малореализуемо. Во-первых, из-за отсутствия источников сырья в стране, даже для наиболее перспективного производства пластиков на основе PLA, необходимо засевать кукурузой огромные территории, однако распространение ее ограничено. Как следствие, повышается цена. Сырьем становится сахар, который делает биополимер в несколько раз дороже традиционных полимеров. К тому же увеличивают стоимость сложная технология производства и высокая

плотность биополимера. Из-за этого расход материала растет на 36% по сравнению, например, с полипропиленом.

Широко распространенными в мире и России являются оксоразлагающие добавки, вводимые в традиционные полимеры в объеме около 1 %, в частности D2W (Symphony Environmental, Великобритания) [11]. На Российском рынке представлены производители оксо-биоразлагаемых пакетов из импортного и российского сырья, использующие добавку D2W, такие как ООО «Компания ЕвроБалт», АО «ТИКО-Пластик», ООО «Поли Пак Сервис» и другие.

В секторе производства биоразлагаемых материалов наибольшее доверие вызывают небольшие локальные производства и стартапы. Их преимущества - следование идеям замкнутого цикла на всех этапах, преданность своему делу, а также небольшие местные производства, помогающие сократить углеродный след от доставки сырья и доставки готового продукта. Кроме того, большинство стартапов стремится получить сертификаты качества биоразлагаемой продукции.

Например, одноразовую биоразлагаемую посуду производят такие стартапы как Albeta, Cleapl. Как сырье в первом случае используется древесина с санитарных вырубок, кроме того, компания подтверждает происхождение древесины сертификатом FSK. Cleapl использует исключительно биотехнологическую обработку сырья, в связи с чем получаемая продукция, например пищевая пленка и трубочки является компостируемой и даже съедобной.

Набирают обороты биоразлагаемые чехлы для телефонов и наушников. Компания Solomacase использует в составе материалы, которые при контакте с пищевыми отходами будут разлагаться на безвредные, а именно: ПБАТ (полностью биоразлагаемый и нетоксичный полимер, имеется сертификат BPI), карбонат кальция, ацетилтрибутилцитрат, солома пшеницы, природные материалы. Компания предоставляет в открытом доступе сертификаты качества и подтверждения полной биодеградации.

Гранулированный компаунд на основе из биополимера и органического компонента, придающего свойство биоразложения в естественной окружающей среде, создает стартап ООО ГринБиоТех., воплощенный при поддержке Skolkovo. Материал, который в перспективе сможет заменить полиэтилен, имеет предположительно сертификаты OK Biodegradable Soll и OK Biodegradable Marine. Срок полной биодеградации со слов производителя - 5 лет.

Ткань MiTerro из нетоварного молока давно известна на рынке, ткань производят в Китае по технологии американского стартапа, после того как она отслужит свой срок, ее можно будет компостировать или

сдать на переработку. В России этим проектом заинтересовалась компания Valio и вместе с Экоателье Go сделала коллекцию дизайнерской одежды.

Биоглиттер ISADALIBRA производят из биоразлагаемой пленки, основанной на технологии регенерированной растительной целлюлозы, получаемой из эвкалиптовых деревьев. Компания также имеет подтвержденный сертификат OK Biobased.

Производство биоразлагаемых материалов в Европейском союзе ежегодно растет, Россия только начинает свой путь и находится в самом начале становления инфраструктуры и мощностей. Затруднения развития производства биоразлагаемых материалов связано с недостатком государственных и частных инициатив, а также с медленным развитием существующих инициатив в связи с недостатком финансовых средств, большой конкуренцией с традиционными материалами и сложившейся привычкой у потребителя к пластиковой упаковке. В настоящий момент из биоразлагаемой продукции на рынке в основном представлены пакеты с оксоразлагающими добавками, у которых не всегда есть международные сертификаты, подтверждающие безопасность для окружающей среды и полное биоразложение, в то время как наиболее качественная продукция производится стартапами, которые делают все, чтобы их продукция была качественной и отвечала требованиям экологичности.

Литература

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 14 августа 2013 г. № 298.
2. Антонов С., Сколько мусора производят россияне [Электронный ресурс] – URL: https://journal.tinkoff.ru/garbage/ (дата обращения 12.10.2021)
3. Chaffee C., Yaros B. R., Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper// Boustead Consulting & Associates Ltd. – 2007 – 64 с.
4. ИХТЦ. Химические технологии. Тотальный запрет на пластиковые пакеты [Электронный ресурс] – URL:https://ect-center.com/blog/polymers-and-ecology (дата обращения 12.10.2021).
5. Деготькова И., Россию задушили полиэтиленом: кому не выгоден запрет пластика [Электронный ресурс] – URL:https://www.mk.ru/economics/2019/12/01/rossiyu-zadushili-polietilenom-komu-ne-vygoden-zapret-plastika.html (дата обращения 12.10.2021).

6. Скрипор И., Отчёт Greenpeace о пластиковом загрязнении берегов водных объектов в России. – М.: Greenpeace Russia, 2020. 43 с.
7. Токманцева И. Правительство готовит запрет использовать в России одноразовую посуду из пластика [Электронный ресурс] – URL:https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2021/06/03/872831-pravitelstvo-zapret (дата обращения 12.10.2021).
8. European Commission Press release. Circular Economy: Commission welcomes Council final adoption of new rules on single use plastic to reduce marine plastic litter [Электронный ресурс] – URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_2631 (дата обращения 12.10.2021).
9. Рябко В. Что исчезнет в Европе в ближайшие годы? [Электронный ресурс] – URL: https://greenpeace.ru/blogs/2019/03/28/chto-ischeznet-v-evrope-v-blizhajshie-gody-i-pochemu-jeto-horosho/ (дата обращения 12.10.2021).
10. Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ). Аналитический обзор [Электронный ресурс] – URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/vam-paket-nuzhen- (дата обращения 12.10.2021).
11. ИХТЦ. Химические технологии. Все о биоразлагаемых пластиках. Мировой рынок биополимеров – 2019 [Электронный ресурс] – URL: https://ect-center.com/blog/biodegradable-polymers (дата обращения 12.10.2021).
12. ИХТЦ. Химические технологии. Решение есть: чем заменить полиэтиленовые пакеты [Электронный ресурс] – URL: https://ect-center.com/blog/greenbiotech (дата обращения 12.10.2021).
13. European bioplastics. Report European Bioplastics.Global production capacities of bioplastics 2018-2023. – Berlin: European bioplastics, 2018. 4 с.

Изучение возможности вовлечения обезвреженного бурового шлама в производственный цикл в условиях перехода к циркулярной экономике

Нугуманова А. А., Молодкина Н. Р.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Вопрос обезвреживания буровых шламов в настоящий момент особенно актуален как для нефтедобывающих организаций, так и для предприятий, предлагающих услуги в области обезвреживания опасных нефтесодержащих отходов. Также можно сказать о том, что не существует одного универсального метода обезвреживания, обеспечивающего одновременно эффективность процесса, экономическую целесообразность и экологическую безопасность. В то же время возможность вовлечения обезвреженных отходов во вторичное использование является ключевой задачей экономики замкнутого цикла. В статье предложены критерии выбора технического оснащения метода термического обезвреживания, подходящие для обезвреживания буровых шламов с получением продукта V класса опасности и позволяющие использовать его в дальнейшем производственном цикле.

Ключевые слова
Производственный цикл, термическое обезвреживание, буровые шламы, нефтепродукты, биотестирование, класс опасности, барабанная вращающаяся печь.

Введение

Буровой шлам представляет собой многотоннажный отход нефтяной промышленности IV класса опасности. Специализированные организации принимают его для обезвреживания, а полученный при этом отход V класса опасности передают на утилизацию сторонним организациям, при этом теряется возможность использования его ресурсного потенциала.

В работе в качестве примера рассмотрена деятельность ООО «Велес» из Оренбургской области г. Бузулук. Данная организация ведет деятельность по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию отходов III–IV класса опасности. Полигон для обезвреживания отходов находится в 2,5 км западнее от пос. Переволоцкий, Переволоцкого района Оренбургской области. Примерный

объем буровых шламов, перерабатываемый компанией за год, составляет 120-140 тыс. тонн.

На данный момент предприятие использует биологический метод обезвреживания бурового шлама с применением биопрепарата «Дестройл». Метод имеет ряд недостатков, одними из которых являются: необходимость большой площади земельного отвода, зависимость от времени года, высокие эксплуатационные затраты. Однако типичной проблемой данной технологии можно назвать сложность достижения V класса опасности в обезвреженном шламе, что исключает возможность его использования в дальнейшем производственном цикле.

Нами было предложено решение данной проблемы, которое заключается в переходе предприятия на использование термического метода обезвреживания - сжигания.

В задачи нашего исследования входили: составление критериев выбора термических установок, подбор наиболее подходящей установки, проверка эффективности обезвреживания (при режимах работы подобранной установки), подтверждение безопасности конечного продукта и возможности вовлечения его во вторичное использование.

Составление критериев выбора термических установок. Выбор установки

Для выполнения поставленной нами задачи в первую очередь необходимо было определиться с видом термического обезвреживания и конфигурационными особенностями оборудования. На основе анализа литературных источников [2, 5, 6] мы выбрали наиболее подходящий вариант:

- метод термического обезвреживания: сжигание.
- техническое оборудование: оборудование на базе барабанных вращающихся печей (БВП).

На основе данных из справочника ИТС 9–2015 [1], данный вид печей используется для сжигания различного вида отходов в России, в том числе для обезвреживания бурового шлама. Главным достоинством БВП является конструкция, отличающаяся простотой и состоящая из стального барабана, с футеровкой из огнеупорного кирпича или бетона, вращающегося со скоростью до 2 оборотов в минуту. Диапазон рабочих температур в барабанных печах составляет 400°С -1400°С, что позволяет достигать минимальных значений концентраций загрязняющих веществ. Определяющим критерием выбора данного типа оборудования является возможность установки оборудования многоступенчатой очистки газов для достижения нормируемых показателей.

Таким образом, мы разработали критерии выбора оборудования, с учетом площади технологической площадки компании, объема перерабатываемых отходов и расположением самого полигона обезвреживания:

1. Переработка определенного вида сырья: буровые шламы IV класса опасности.
2. Производительность: не менее 8 т/ч.
3. Площадь, занимаемая установкой: не более 250 м^2, при условии, что для переработки данного вида отходов необходимо как минимум 2 печи.
4. Подходящий диапазон рабочих температур: не выше 600-700°С.
5. Установленное газоочистное оборудование.
6. Использование газового топлива.

Согласно справочнику наилучших доступных технологий ИТС 9–2015 к БВП относятся печи на базе следующих технологических решений:

1. С2-4В – КТО-1000.3В/КТО-1000 Ш.
2. С5-1В – Установка переработки шламов УПНШ-05.
3. С6-1В – Установка утилизации нефтешламов УУН-0,8.
4. С14-1В – Установка для утилизации замазученных грунтов с жаростойкой камерой сгорания УЗГ-1МГЖ.
5. С14-2В – Установка для утилизации замазученных грунтов, буровых шламов, окалины и пропантов УЗГ-1м.
6. С15-3В – Инсенераторы ИН-50.2КВ, ИН-50.5, ИН-50.7В и т.д.

Результаты сравнительного анализа на соответствие данных установок разработанным критериям приведены в таблице 1.

Исходя из приведенных данных, разработанным критерием соответствует печь УЗГ-1м, которая будет рассматриваться нами в дальнейшем исследовании.

Проверка эффективности обезвреживания буровых шламов

Следующим этапом нашей работы стала проверка эффективности обезвреживания бурового шлама, включающая выбор температурного режима и определение остаточного содержания нефтепродуктов. Для выбора минимальной рабочей температуры нами был проведен эксперимент по обезвреживанию проб в лабораторных условиях.

Для моделирования процесса термического обезвреживания в лабораторных условиях использовалась муфельная высокотемпературная печь Nabertherm, исследовались следующие режимы:

- температура 400°С – минимальная температура работы печи для обезвреживания отходов УЗГ-1м.
- температура 600°С – максимальная температура работы печи для обезвреживания отходов УЗГ-1м.

Таблица 1.

Соответствие БВП критериям

Наименование установки	**№ критерия**					
	Вид сырья	**Производительность**	**Площадь**	**Диапазон температур**	**Газовое оборудование**	**Газовое топливо**
КТО-1000.3В/КТО-1000.Ш	-	-	-	-	+	+
УПНШ-05	+	-	-	-	+	-
УУН-0,8	-	-	+	+	+	+
УЗГ-1МГЖ	-	-	+	-	+	+
ИН-50.2КВ	-	-	-	-	+	-
УЗГ-1м	+ Буровой шлам	+ 8 т/ч	+ 250 м^2	+ 400-600°С	+ Циклоны скруббер	+ Есть

- не соответствует

+ соответствует

Наиболее опасной составляющей бурового шлама считаются нефтепродукты, из-за достаточного содержания которых отход относят к IV классу опасности. Поэтому для того, чтобы судить об эффективности процессов обезвреживания, необходимо знать начальное и конечное содержание нефтепродуктах в пробах буровых шламов.

Анализ содержания нефтепродуктов в пробах был проведен в соответствии с методикой ПНД Ф 16:1:2.21-98 «Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости Флюорат-2» [4].

Подтверждение безопасности конечного продукта

Для подтверждения V класса опасности обезвреженной пробы была применена методика биотестирования ПНД Ф14.1:2:4.16-09 16.1:2.3:4.14-

09 «Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению относительного показателя замедленной флуоресценции культуры водоросли Хлорелла (Chlorella Vulgaris Beijer)» [3].

Полученные при биотестировании значения являлись опорным показателем эксперимента и свидетельствовали о том, что выбранный нами температурный режим обезвреживания позволяет достичь V класса опасности в исследуемой пробе.

Результаты

Образцы были подвергнуты термическому обезвреживанию в муфельной печи при различных температурах. После этого был проведен анализ содержания нефтепродуктов в образцах до и после процедуры термического обезвреживания.

Полученные нами результаты содержания нефтепродуктов в шламах, обезвреженных термическим способом, отображены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты измерений содержания нефтепродуктов

Концентрация нефтепродуктов до проведения процедуры обезвреживания C_0, мг/кг	Концентрация нефтепродуктов после проведения процедуры обезвреживания C_i, мг/кг	
2214,0±554,0	400°C	10,1±3,4
	600°C	<5,0

Исходя из результатов анализа, температура 400°C является подходящей для процесса термического обезвреживания. Повышение температуры нецелесообразно, так как ведет к необоснованному повышению расхода топлива.

Исходная концентрация нефтепродуктов в пробе составляла 2214 мг/кг и в процессе обезвреживания снизилась до 10,1 мг/кг, что позволяет считать выбранный температурный режим эффективным.

Для подтверждения безопасности продукта обезвреживания было проведено биотестирование, показательной величиной которого являлась относительная разница величины относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПФЗ), выраженная в процентах. Критерием токсичности пробы выступало снижение или повышение на 25% и более средней величины ОПФЗ по сравнению с контрольной пробой.

По результатам проведенного исследования не было выявлено превышения критерия токсичности ни в одной из разбавленных проб. В неразбавленной пробе относительная разница величины ОПЗФ составила +14,2%.

Таким образом, было подтверждено то, что отходы, прошедшие процедуру термического обезвреживания при температурном режиме 400°С, относятся к V классу опасности.

Полученный продукт представляет собой абсолютно сухой однородный мелкодисперсный порошок бурого цвета. Минеральная часть на 70 % глинистая. Вид обезвреженного бурового шлама представлен на рисунке 1. Концентрация нефтепродуктов в конечном продукте составляет 10,1 мг/кг, продукт нетоксичен и относится к V классу опасности.

Рис. 1. Обезвреженный буровой шлам

Полученные показатели говорят о возможности использования бурового шлама, обезвреженного с применением данной технологии, и вовлечения его в производственный цикл.

Предполагаемые направления использования полученного продукта:

1. Рекультивация кустовых площадок, шламовых амбаров и шламонакопителей.

2. Добавление обезвреженного бурового шлама в состав строительных смесей. Высокое содержание в нем глинистых частиц дает возможность использовать его как добавку в цементные растворы.

3. Использование в качестве материала для создания дорожных покрытий, в том числе покрытий технических площадок.

В дальнейшем выбранный метод обезвреживания может поспособствовать переходу от складирования бурового шлама, как отхода, к возвращению его как полезного ресурса в производственный цикл.

Литература

1. ИТС 9–2015 Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов).
2. Пат. 2002 119 938 РФ. Установка быстрого пиролиза для утилизации отходов/ Клеймёнов А.Ф., Антипов П. А.// Бюл. 2021. № 17. С. 1.
3. ПНД Ф 14.1:2:4.16-09 16.1:2.3:4.14- 09 «Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению относительного показателя замедленной флуоресценции культуры водоросли Хлорелла (Chlorella Vulgaris Beijer)».
4. ПНД Ф 16:1:2.21-98 «Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости Флюорат-2».
5. Хуснутдинов И. Ш., Сафиулина А. Г., Заббаров Р. Р., Хуснутдинов С.И., Методы утилизации нефтяных шламов // Химия и химическая технология. Казанский национальный исследовательский технологический университет. 2015. № 10. С. 3–20.
6. Шрам В. Г., Петров О. Н., Сокольников А. Н., Иванов П. Э., Агровиченко Д. В., Технология переработки нефтешлама // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа. 2018. №3. С. 121–125.

Концепция well-being – тренд или необходимость

Федянина А. И., Савоскула В. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия,

Аннотация
Статья посвящена концепции well-being, как вопросу изучения необходимости внедрения данного подхода в современном мире. Фокус внимания на таких вещах, как оптимизм и благополучие людей, является недооцененным источником эффективности. Концепция well-being – это создание среды для достижения удовлетворенности, которая позволяет человеку развиваться и всесторонне раскрывать свой потенциал на благо себя и своей организации. Существует 5 факторов well-being, которые связаны между собой и совокупно влияют на рост благополучия индивида. Становится очевидным, что в современных реалиях well-being подход следует рассматривать как необходимость.

Ключевые слова
Well-being, благополучие, устойчивое развитие, здоровье, физическое здоровье, психологическое здоровье, эмоциональное состояние, работа, финансы, пандемия, экология, ресурсы.

Эффективность людей зависит не только от профессиональных качеств и навыков, но и напрямую зависит от физического и психологического здоровья, эмоционального состояния, окружающей среды и социума [1]. В мире концепция well-being появилась после выхода исследования Джеймса Хартера и Тома Рата «Well-being: The Five Essential Elements» в 2010 году [2]. В России этот подход появился сравнительно недавно и только начинает находить применение в крупных компаниях и корпорациях. Возникает вопрос: концепция well-being – тренд или необходимость?

В переводе с английского языка well-being означает «благополучие», «благосостояние», «здоровье» и «процветание». Для каждого индивидуума удовлетворенность жизнью, из которой следует ощущение счастья, складывается из нескольких факторов: хорошее здоровье, любимая работа, материальное положение и окружение. В результате исследования, проведенного в 2010 году, было установлено, что благополучие состоит из 5 элементов: здоровье, профессия, финансы, социальные связи и общественная вовлеченность, причем все элементы взаимосвязаны [2].

Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию в любом возрасте имеет важное значение для устойчивого развития. В 2015 году ООН приняла повестку дня в области устойчивого развития до 2030 года. Программа состоит из 17 целей, где целью №3 является Good health and well-being (обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте) [3]. Успех в достижении этой цели обусловливается способностью организаций создать философию, в центре которой будет человек, и стремлением придерживаться этой идеи в будущем. Безусловно, благополучие человека зависит и от окружающей среды. Доступ к чистой воде и атмосферному воздуху, электрической энергии и другим ресурсам, хорошая экологическая обстановка, обеспечение продовольственной безопасностью являются базовой потребностью цивилизации.

Тема well-being поднималась еще задолго до пандемии COVID-19. Защита здоровья и снижение стресса сотрудников стали критически важными для их продуктивности, а работа, здоровье, охрана труда и благополучие стали неразделимы. Удовлетворенность сотрудника положительно влияет на его мотивацию, вовлеченность и производительность труда, что безусловно сказывается на рабочих результатах. Пандемия COVID-19 показала, насколько комплексный подход well-being значителен. В 2020 году Deloitte провело исследование «Global Human Capital Trends», где, по существу, благополучие было самой важной тенденцией [3]. 80% из почти 9000 участников опроса Deloitte оценили well-being как важное или очень важное для успеха своей организации [4]. Распространение COVID-19 заставило по-новому посмотреть на важность управления благополучием. Компании предприняли быстрые меры по переориентированию ресурсов на поддержание здоровья работников и обеспечение безопасности работы: перевод сотрудников на удаленную работу, внедрение тестирования на рабочем месте, отслеживание возможных контактов сотрудников с потенциально инфицированными, а также создание программ поддержания физического и психического здоровья сотрудников. Пандемия COVID-19 дала мощный толчок не только для цифровизации компаний, но и для развития сферы well-being даже в тех компаниях, где раньше о здоровье сотрудников практически не думали.

Рынок корпоративных программ благополучия растет, и темпы его не снижаются. Объем мирового корпоративного рынка программ well-being оценивается в 52,8 млрд долларов США в 2020 году и, как ожидается, будет расти со среднегодовым темпом роста 7,0% в период с 2021 по 2028 год и достигнет 97,4 млрд долларов США [5]. Многие компании начали реализацию программ здравоохранения для своих сотрудников, что также повысит рыночный спрос. Ожидается, что рост

осведомленности о здоровье и благополучии сотрудников будет стимулировать рынок корпоративного благополучия.

Современная мировая обстановка привнесла свои коррективы в ведение устойчивого образа жизни, и теперь можно с уверенностью сказать, что подход well-being является необходимостью. Внедрение well-being – это создание долгосрочных изменений, которые должны рассматриваться как образ жизни, а не как проект, который необходимо завершить.

Литература

1. Устав (Конституция) Всемирной Организации Здравоохранения. – 2006 [Электронный источник] URL: https://www.who.int/governance/eb/who_constitution_ru.pdf (дата обращения 13.10.2021).
2. Rath Tom, Harter Jim, «The Five Essential Elements of Well-Being». – 2010 [Электронный источник] URL: https://www.gallup.com/workplace/237020/five-essential-elements.aspx (дата обращения 12.10.2021).
3. Sustainable Development Goals, Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages. – 2015 [Электронный источник] URL: https://www.researchgate.net/publication/283451447_Goal_3_Ensure_healthy_lives_and_promote_well-being_for_all_at_all_ages (дата обращения 13.10.2021).
4. Deloitte, «Global Human Capital Trends». – 2020 [Электронный источник] URL: https://www2.deloitte.com/nz/en/pages/human-capital/articles/2020-global-human-capital-trends.html (дата обращения 13.10.2021).
5. Grand View Research, Report cover Corporate Wellness Market Size, Share & Trends Report «Corporate Wellness Market Size, Share & Trends Analysis Report by Service (Health Risk Assessment, Fitness), By End-use, By Category, By Delivery Model (Onsite, Offsite), By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028». – 2020.

Исследование влияния кинематографа на переход к экономике замкнутого цикла

Юплова В. В., Савоскула В. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
В связи с проблемой усиливающегося влияния общества на окружающую среду, а также необходимости перехода РФ к циркулярной экономике, поднимается вопрос о экологическом просвещении. Эффективным инструментом экологического просвещения может являться кинематограф, представленный как неигровым, так и игровым кино. Существующие исследования говорят о возможности использования кинематографа для целей экологического просвещения, что, в свою очередь, ускорит процесс перехода РФ к экономике замкнутого цикла.

Ключевые слова
Кинематограф, экологическое просвещение, экономика замкнутого цикла, влияние кинематографа.

В настоящее время в Российской Федерации очень остро стоят различные проблемы влияния общества на окружающую среду. Главным и органичным путем решения множества из них является переход к экономике замкнутого цикла. Однако невозможно за один день провести изменение на уровне государства и надеяться на то, что граждане легко адаптируются к этому, особенно если речь идет о повседневных вещах, таких как поход в магазин или вынос мусора. При этом люди могут искренне желать улучшить экологическую ситуацию в стране, но не готовы жертвовать своим комфортом, не понимая, насколько простые, не требующие физических и финансовых вложений, действия могут изменить окружающую среду. В этой связи поднимается вопрос экологического просвещения населения.

В качестве эффективного инструмента просвещения и влияния на позицию человека в области экологии авторами статьи предложен для рассмотрения кинематограф. Кинематограф как форма искусства представляет собой процесс создания кино - как игрового, так и документального [1]. Документальное кино реже попадает в информационное поле обычного зрителя – оно не содержит в себе драматического действия и, вследствие этого, не часто представляет интерес для человека, в первую очередь не заинтересованного его тематикой. Данные фильмы в экологическом просвещении используются наиболее активно, однако

для эффективных результатов необходимо учесть их особенности. Игровое кино в первую очередь ставит перед собой задачу показать сюжет – такое кино имеет драматическую составляющую [2]. И уже на втором месте будет стоять передача социально значимого посыла, совета или рекомендаций к действию. Однако игровое кино - более массовое - и его значительно проще использовать для непрямого влияния на позицию и действия человека.

Влияние кинематографа на общество и конкретных людей не изучено досконально вследствие относительно юного возраста как самого явления кино, так и науки психологии в целом [3]. Однако на эту тему авторами проведен анализ, и сделан вывод, что исследования проводились и сейчас проводятся. Примером успешной направленной кампании по влиянию на зрителей является кампания «Трезвый водитель». Кампания проводилась в течение 21 года и представляла собой внедрение «квантов» определенного поведения в конкретной ситуации в различные произведения игрового кинематографа. В Соединенных Штатах Америки за период с 1988 до 1994 количество аварий со смертельным исходом, причиной которой являлся водитель в нетрезвом состоянии вследствие проведения данной кампании, сократилось на 30% (Рисунок 1). При этом исследователи отмечали корреляцию снижения количества аварий в период наибольшего интереса медиа к данной кампании в периоды с 1982 по 1983 и с 1988 по 1992 [4].

Рис. 1. Изменение количества автомобильных аварий со смертельным исходом, причиной которых являлся водитель в нетрезвом состоянии в исследуемый период проведения кампании «Трезвый водитель»

Влияние кинематографа экологической тематики в большей мере изучали на примере неигрового кино. Важным заключением, которое авторы считают необходимым учитывать при создании документального кино на экологическую тематику, является то, что пессимистично настроенные фильмы, в данном случае посвященные проблеме изменения климата, негативно влияют на желание зрителей производить какие-либо действия по снижению своего влияния на климат, тогда как фильмы, в которых идет речь о том, что всё возможно изменить, влияют на людей положительно, и те предпринимают различные действия по изменению своего поведения [5]. Так, более 60% зрителей фильма «The Age of stupid» предприняли какие-либо действия по снижению своего углеродного следа после просмотра данного документального кино [6].

Таким образом, приходя к выводу о том, что кинематограф действительно влияет на общество в целом и людей в частности, использование кино в качестве инструмента экологического просвещения может быть эффективным и оптимальным на пути перехода к экономике замкнутого цикла. В связи с этим, путем создания просвещающего фильма, авторы планируют решить следующие задачи:

1. Проинформировать людей о существующей проблеме негативного влияния общества на окружающую среды.

2. Показать зрителю, что каждый человек имеет возможность изменить нынешнее состояние окружающей среды к лучшему при помощи простых действий.

3. Сформировать у зрителей культуру здорового потребления и ответственности за ежедневные решения, влияющие на окружающую среду.

Основываясь на всем вышесказанном, дальнейшее исследование будет включать в себя:

- анализ современных инструментов кинематографа;
- применение исследованных инструментов при создании экологических фильмов;
- анализ существующих экологических проблем;
- выбор актуальных экологических проблем современного общества, которые будет включены в работу для просвещения для решений этих задач;
- исследование мотивации общества и источников влияния на него для дальнейшего включения в работу.

Так как методологической базы для создания экологических фильмов не существует, автор планирует разработать методику и использовать ее при создании работы.

Литература

1. Даль В. И. и др. Толковый словарь русского языка. – Эксмо, 2005.
2. Власов М. П. Виды и жанры киноискусства. — Москва: Знание, 1976. С. 26. 112 с.
3. Садуль Ж. История киноискусства. От его зарождения до наших дней. 1957.
4. Winsten J. A., Dean A. Designated driver campaign //Health education quarterly. 1993. Т. 20. №. 2. С. 147–153.
5. Greitemeyer T. //Journal of environmental Psychology. 2013. Т. 35. С. 105–109.
6. Howell R. A. Lights, camera… action? Altered attitudes and behaviour in response to the climate change film The Age of Stupid //Global Environmental Change. 2011. Т. 21. №. 1. С. 177–187.

Управление электронными отходами: обзор законодательства и бизнес-модели

Белышева Д. А., Флегентова К. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Электронные отходы являются одной из наиболее быстро растущих проблем загрязнения природы во всем мире, учитывая наличие множества токсичных веществ, которые могут загрязнять окружающую среду и угрожать здоровью человека, если протоколы утилизации не будут тщательно контролироваться. Для регулирования обращения с электронными отходами и вторичной переработки в целях предотвращения загрязнения окружающей среды и повторного использования ресурсов существуют различные законодательные основы. Текущее законодательство по электронным отходам в разных странах в основном включает ограничения на импорт/экспорт электронных отходов, правила утилизации определенных категорий электронных отходов. Для управления электронными отходами, особенно в развитых странах, были разработаны несколько инструментов, включая оценку жизненного цикла, анализ материальных потоков, многокритериальный анализ и расширенную ответственность производителя. Ключом к успеху с точки зрения управления электронными отходами является разработка надлежащего сбора электронных отходов, рекуперация и переработка материалов безопасными методами, утилизация электронных отходов подходящими методами, запрет на передачу бывших в употреблении электронных устройств в развивающиеся страны и повышение осведомленность о влиянии электронных отходов.

Ключевые слова
Электронные отходы, управление электронными отходами, переработка отходов, утилизация отходов, законодательств, окружающая среда.

Обращение с электронными отходами - одна из наиболее быстро растущих проблем загрязнения окружающей среды во всем мире. Мировой спрос на электрическое и электронное оборудование в последние годы постоянно растет из-за влияния индустриализации и технологического развития. Это указывает на наличие значительного количества

электронных отходов, с которыми необходимо надлежащим образом обращаться, чтобы уменьшить их воздействие на окружающую среду и избежать несоответствующих форм утилизации.

Согласно отчету «Глобальный мониторинг электронных отходов», подготовленному ООН в 2020 году, в 2019 году в мире было произведено 53,6 млн тонн с 2016 года, где было произведено 44,75 млн тонн [1]. На рисунке 1 изображены (a) континентальные модели образования электронных отходов с 2015 по 2019 гг. и (b) информация о пяти странах-поставщиках. Скорость образования электронных отходов варьируется в зависимости от времени, места, населения, предпочтений в отношении образа жизни и социально-экономического статуса. Азия возглавляет список континентов с 24,9 млн тонн, за ней следуют 13,1 млн тонн в Америке, 2,9 млн тонн в Африке, 12 млн тонн в Европе и 0,7 млн тонн в Океании [2]. Среднее глобальное образование электронных отходов на душу населения в 2019 году составило 7,3 кг, из них 16,2 кг в Европе, 13,1 кг в Америке, 2,9 кг в Африке и 5,6 кг в Азии [3].

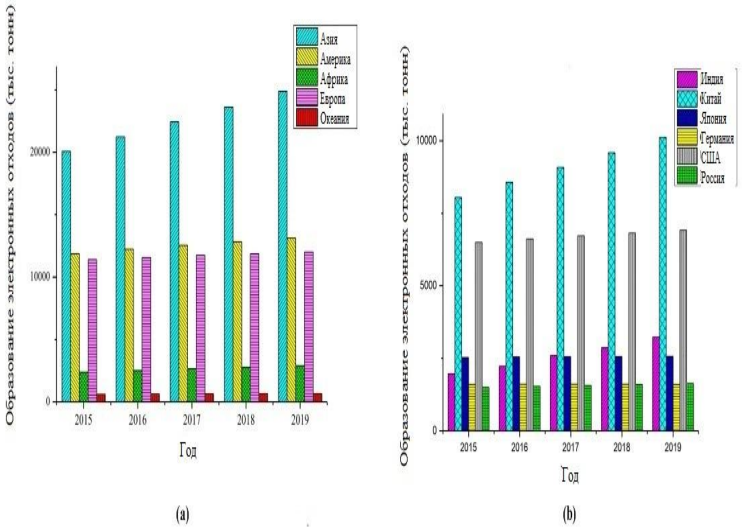


Рис. 1. Графическое представление образования электронных отходов: (a) по континентам (b) образование электронных отходов в пяти ведущих странах в период с 2015 по 2019 год [3]

Несмотря на многочисленные усилия по управлению электронными отходами, еще предстоит разработать идеальные дорожные карты для устойчивых методов сбора, разделения, хранения, транспортировки и обработки, а также вспомогательные правила и законодательные акты [4].

Таблица 1.

Законодательство в области обращения с электронными отходами в Европейском союзе, Великобритании, Азии и Океании [5]

Регион	**Год принятия**	**Название**	**Содержание**
Европейский союз	1993	Правила перевозки отходов внутри ЕС и за его пределами	Запрет экспорта государствам - членам ЕС опасных электронных отходов в страны, не входящие в ОЭСР
	2002	Директива об ограничение использования некоторых вещест в электрическом и электронном оборудовании	Ограничение в использовании опасных веществ, увеличение числа утилизируемых электронных отходов
	2006	Директива о батареях и аккумуляторах, об отходах батарей и аккумуляторов	Регулирует производство, обращение, утилизацию батарей и аккумуляторов
	2012	Директива об отходах электрического и электронного оборудования	Регулирует сбор, переработку, вторичное использование электронных отходов
Великобритания	2003	Директива по упаковке электронных отходов: правила упаковки (основные требования)	Снижение требований к упаковке электронных отходов, ограничение содержания опасных веществ (тяжелых металлов)
	2007	Директива по упаковке электронных отходов: ответственность производителя (отходы упаковки)	Сокращение объема упаковки для предприятий с оборотом более 2 млн фунтов стерлингов или с пропускной способностью более 50 тонн упаковки в год

Россия	2014	ФЗ от 29.12.2014 №458 "О внесении изменений в ФЗ "Об отходах производства и потребления"	Обязывает производителей и импортеров электронных отходов управлять электронным и электротехническим оборудованием
	2017	Распоряжение правительства РФ от 25.07.2017 №1589-р Об утверждении перечня отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается	Определен перечень некоторых видов электронных отходов, которые запрещен утилизировать на полигонах
Китай	2000	Запрет на использование импортированных отходов электронного и электротехнического оборудования	Запрещает ввоз подержанного электронного оборудования и электронных отходов
	2006	Закон о предотвращении и контроле загрязнении окружающей среды твердыми отходами, Техническая политика в области контроля за отходами электронного и электротехнического оборудования	Направлен на снижение объема электронных отходов, увеличение повторного использования электронных отходов, повышение стандартов их переработки
	2007	Закон о чистом производстве, Постановление о регулировании и контроле загрязнения от электронной продукции	Снижение использования опасных и токсичных веществ в электронных приборах, сокращение загрязнения, образующегося на производстве, переработке и утилизации продукции

			экспорт и импорт электронного и электротехнического оборудования, содержащего озоноразрушающие вещества
	2008	Закон о развитии экономики замкнутого цикла, Правила по предотвращению загрязнения отходами электронного и электротехнического оборудования	Предупреждение загрязнения, вызванного хранением, транспортировкой, разборкой, переработкой, удалением электронных отходов
	2011	Закон о развитии экономики замкнутого цикла, Указ о сборе и обращения с отходами электронного и электронно технического оборудования	Электронные отходы должны собираться и перерабатываться предприятиями, имеющими лицензию для осуществления данного вида деятельности
	2012	Система расширенной ответственности производителя	Производитель должен осуществлять деятельность по обращению со своей продукцией, безопасную для окружающей среды
Индия	1986	Закон об охране окружающей среды	Предотвращение, контроль, снижение негативного воздействия на окружающую среду
	2000	Регулирование и контроль за озоноразрушающими веществами	Регламентируется эксп
	2008	Правила по обращению с опасными отходами, трансграничный перенос опасных отходов	Компании или частные лица занимающиеся транспортировкой или хранением опасных отходов должны получать разрешение

			разрешение на осуществление данной деятельности; запрещен ввоз и утилизация опасных электронных отходов
	2011	Правила по обращению с электронными отходами	Регулируют обращение с электронными отходами на всех уровнях цикла электронного и электротехнического оборудования - от производства до переработки
Япония	2000	Закон о содействии эффективному использованию ресурсов	Нацелен на создание экономической системы, основанной на переработке, путем повторного использования ресурсов, совершенствование методов сбора и введение мер по сокращению отходов и продление срока службы продуктов
	2001	Закон о переработке определенных видов бытовой техники	Производители и продавцы бытовой техники обязаны обеспечивать надлежащее использование ресурсов и эффективную переработку
	2013	Закон о переработке мелкой электронной техники	Регулирует утилизацию отходов небольших электронных приборов, например телефонов
Корея	1992	Введение системы возмещения залоговой стоимости	С продукции взимается залог за их сбор и переработку, он возвращается в зависимости от стоимости и количества переработанной техники
	1993	Руководство по улучшению материала и структуры продукции для стимулирования их переработки	Ограничение использования опасных веществ и степень их пригодности для вторичного использования

	2003	Система расширенной ответственности производителя	Производители обязаны перерабатывать электронные отходы для их повторного применения
	2007	Закон об утилизации электрического и электронного оборудования и транспортных средств	Сокращение количества отход электрического и электронного оборудования, которое направляется на сжигание и захоронение на полигонах; увеличение объемов вторичного использования отходов
Тайвань	1988	Закон об утилизации отходов	Производители и импортеры несут финансовую ответственность за переработку
	1997	Программа утилизации 4 в 1	Производители и импортеры обязаны вносить утилизационный сбор, предлагать услуги по сбору отходов аккумуляторных батарей, компьютерной техники, бытовой электротехники и гарантировать их переработку
Сингапур	1999	Закон об охране окружающей среды и рациональном использовании ресурсов (опасные вещества)	Любое лицо, которое осуществляет импорт, продажу или экспорт обородования или продукции, содержащее опасные вещества, такие как свинец, ртуть, кадмий обязаны получить лицензию на обращение с этими веществами
	2016	Национальное добровольное партнерство по переработке электронных отходов	Производители партнеры должны играть ведущую роль в переработке электронных отходов
Австралия	2009	Национальная политика в области отходов	Уменьшение количество отходов (включая опасные), подлежащих удалению, управление отходами как ресурсом, обеспечение безопасного обращения с отходами, их утилизация и повторное использование; сокращение выбросов парниковых газов, создание энергосберегающего производства, эффективное использование водных и земельных ресурсов

	2011	Закон о рациональном использовании продукции	Добровольное и совместное регулирование, также управление продукцией для эффективного управления, снижение негативного воздействия на окружающую среду, здоровье человека, в частности связанного с утилизацией отходов; пересмотрена схема утилизации электронной техники
Новая Зеландия	1991	Закон об управлении ресурсами	Местные и региональные власти несут ответственность за управление ресурсами и снижение негативного воздействия на окружающую среду
	2002	Закон о местном самоуправлении	Местные органы власти обязаны составлять план управления отходами и принимать подзаконные акты в отношении сбора, транспортировки и утилизации отходов

Не существует стандартной модели с фиксированными правилами для управления электронными отходами как для развитых, так и для развивающихся стран, поскольку сценарий каждой страны отличается от других. Однако необходимо внедрить целостное законодательство об электронных отходах и регулярно вносить поправки для устранения недостатков, выявленных в ходе систематических регулярных оценок. Главным правилом любой политики в отношении электронных отходов должен быть строгий запрет на импорт или экспорт электронных отходов и суровые наказания за незаконные поставки. Запрет на любое трансграничное перемещение электронных отходов позволяет сосредоточиться на эффективном управлении бытовыми электронными отходами.

В настоящее время ведутся обширные исследования в области управления электронными отходами с целью смягчения проблем как на национальном, так и на международном уровне. Для управления электронными отходами было разработано и применено несколько инструментов, включая оценку жизненного цикла (ОЖЦ), анализ материальных потоков (АМП), многокритериальный анализ (МКА) и расширенную ответственность производителя (РОП) [6].

Оценка жизненного цикла — это инструмент, используемый для разработки экологически чистых электронных устройств и сведения к минимуму проблем с электронными отходами. С 1990-х годов были проведены значительные исследования ОЖЦ электронных устройств с точки зрения экологического дизайна, разработки продукта и воздействия на окружающую среду.

Экологически чистый дизайн - лучший альтернативный продукт, который, в свою очередь, может понравиться потребителям. ОЖЦ - мощный инструмент для определения потенциального воздействия на окружающую среду для разработки продуктов экологического дизайна, таких как принтеры, настольные персональные компьютеры, устройства отопления и кондиционирования воздуха, стиральные машины и игрушки. Это также систематический инструмент для определения многих категорий воздействия на окружающую среду, таких как канцерогены, изменение климата, озоновый слой, экотоксичность, подкисление, эвтрофикация и землепользование, с целью улучшения экологических характеристик продукции [7].

До вступления в силу Базельской конвенции большие объемы электронных отходов из развитых стран экспортировались для повторного использования или переработки в развивающиеся страны, особенно в Китай, Индию и Южную Африку. Анализ материального потока — это инструмент, используемый для изучения маршрута материалов (электронных отходов), перетекающих в места переработки или места захоронения и складские запасы материалов в пространстве и времени. Он связывает источники, пути, а также промежуточные и конечные пункты назначения материала. Анализ материальных потоков — это инструмент поддержки принятия решений в области управления окружающей средой и отходами. Этот инструмент может быть применен для разработки соответствующего управления электронными отходами. Это включает рассмотрение потока электронных отходов и его оценку с точки зрения экологической, экономической и социальной ценности [6].

Многокритериальный анализ — это инструмент принятия решений, разработанный для рассмотрения стратегических решений и решения сложных многокритериальных проблем, которые включают качественные/количественные аспекты проблемы. Модели МКА были применены к экологическим проблемам, включая проблемы управления электронными отходами, чтобы предоставить дополнительные стратегии управления электронными отходами [6].

МКА был рекомендован для социального реагирования на управление электронными отходами, и с этой целью он является полезным инструментом в сочетании с другими инструментами, используемыми для управления электронными отходами [8].

Расширенная ответственность производителя — это подход к экологической политике, который возлагает на производителей ответственность за возврат продукции после использования и основан на принципах «загрязнитель платит» [9].

Таким образом, комбинация ОЖЦ и АМП или МКА и РОП может быть оптимальной моделью для управления электронными отходами независимо от характера проблемы электронных отходов. Действительно, РОП может быть наиболее подходящим для всех стран, чтобы свести к минимуму образование электронных отходов, учитывая, что ответственность за электронные отходы, образующиеся после Базельской конвенции, снова передается производителям [6].

Многие страны, которые до сих пор не охвачены законодательством об электронных отходах, должны разработать и внедрить политику, которая им подходит. Это имеет решающее значение для контроля над глобальным трансграничным перемещением и неочищенной переработкой электронных отходов. Страны, в которых действует законодательство об электронных отходах, должны усилить свои действующие законы путем регулярных систематических оценок и внесения поправок. Однако выполнения законодательства об электронных отходах всеми странами будет недостаточно, чтобы решить проблему беспорядка с электронными отходами на глобальном уровне. Отсутствие единых мировых стандартов для производства электронных отходов и переработки электронных отходов поставило многие страны перед проблемами при разработке своей политики в отношении электронных отходов. Международный совет также может предоставить руководящие принципы, включающие единые глобальные стандарты, для производителей оборудования для электронного электронного оборудования и тех, кто перерабатывает электронные отходы.

Литература

1. Baldé C. P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P., Quantités, Fl Ux et Ressources Suivi des Déchets d’équipements Électriques et Électroniques à l’échelle Mondiale. 2017. С. 3–5.
2. Rautela, Rahul et al., E-Waste Management and Its Effects on the Environment and Human Health // Science of the Total Environment. 2021. № 773. С. 2–14.
3. Forti V., Balde C.P., Kuehr R., Bel G., The Global E-waste Monitor. Quantities, Flows and the Circular Economy Potential // 2020. С. 13–14.

4. Adanu, S. K., Gbedemah, S. F., & Attah, M. K., Challenges of adopting sustainable technologies in e-waste management at Agbogbloshie // Ghana. Heliyon. 2020. №68. C. 45–48.
5. Patil, Rashmi Anoop, Seeram Ramakrishn, A Comprehensive Analysis of E-Waste Legislation Worldwide // Environmental Science and Pollution Research. 2020. № 27. C. 14412–14431.
6. Kiddee P., Naidu R., Wong M. H., Electronic waste management approaches: An overview // Waste Manag. 2013. № 33. C. 1237–1250.
7. Hischier R., Baudin I., LCA study of a plasma television device // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2010. № 15. C. 428–438.
8. Williams E., International Activities on e-Waste and Guidelines for Future Work // National Institute of Environmental Sciences. 2005. C. 1–11.
9. Widmer R., Oswald-Krapf H., Sinha-Khetriwal D., Schnellmann M., Böni H., Global perspectives on e-waste //Environmental Impact Assessment Review. 2005. № 25. C. 436–458.

Экологическая оценка жизненного цикла ингредиентов для пищевых функциональных смесей

Миниахметова А. В., Сергиенко О. И., Бараненко Д. А.

Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Рассматривается применение методики экологической оценки жизненного цикла для выбора технологий производства функциональных ингредиентов для производства пищевых продуктов, предназначенных для профилактики онкологических заболеваний. Результаты работы могут быть использованы для экологического обоснования технологии получения сырьевого ингредиента на основе соевого масла и составления экологической декларации EPD для российского и зарубежного рынков.

Ключевые слова
Функциональные пищевые ингредиенты, профилактика неинфекционных заболеваний, биологически активные вещества, экологическое декларирование EPD, инкапсулирование, SimaPro, оценка жизненного цикла.

Актуальным направлением в науке о питании является разработка теоретических основ и новых практик создания функциональных пищевых продуктов с учетом требований как по качеству, так и экологической безопасности. Одним из инструментов для обоснования экологических аспектов новых технологий является оценка жизненного цикла (ОЖЦ) продукта, результаты которой могут быть применены для экологического декларирования продукта EPD (Environmental Product Declaration). В настоящее время в зарубежной практике сертификации пищевой продукции отсутствуют зарегистрированные Правила категорий продукции (PCR – Product Category Rules) и, соответственно, EPD на продуктовую группу «Функциональные пищевые ингредиенты», данная продуктовая группа находится в разработке [1].

Целью работы являлось сравнение экологического воздействия в жизненном цикле двух функциональных ингредиентов для профилактики онкологических заболеваний, получаемых из различных источников сырья

– побочных продуктов процесса переработки соевого масла и экстракта лабазника вязолистного. Объектами исследования являлись технологии получения наноинкапсулированного экстарктом лаэкстракта лабазника и микроинкапсулированных фитостеринов (фитостеролов) из побочных продуктов производства соевого масла. Исследование проводилось на основе экспериментальных данных, полученных на базе Международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия» факультета биотехнологий Университета ИТМО в 2020 гг. [2, 3].

Инвентаризационный анализ жизненного цикла (ИАЖЦ) технологий проводился на основе программного продукта SimaPro 9.1.1.1 [4], с применением базы данных Ecoinvent 3. Для проверки достоверности сравнительной оценки рассматриваемых технологий получения функциональных смесей были использованы модели EPD (2018) V1.01, ReCiPe 2016 (Midpoint (H) V1.04/World (2010) H) и IPCC 2013 (GWP 500a V1.01).

На основе полученных результатов был сделан вывод, что наиболее перспективным сырьем с минимальным экологическим воздействием для производства функциональной пищевой смеси, являются побочные продукты производства соевого масла, из которых производятся микроинкапсулированные БАВ. По сравнению с культивируемым экстрактом лабазника использование побочных продуктов производства соевого масла дает существенное снижение по всем категориям экологического воздействия. Особенно значимым оказалось снижение углеродного следа и эвтрофикации водных объектов (в два раза) и сокращение потребления воды (в пять раз).

Для продвижения экологически обоснованного продукта предлагается разработка экологической декларации микроинкапсулированных БАВ из побочных продуктов производства соевого масла, содержащей сведения о технологии производства, рекомендуемой упаковке конечного продукта, а также об экологическом воздействии в жизненном цикле продукции.

Работа выполнена в Университете ИТМО в рамках темы НИР № 620145 «Роль биологически активных веществ природного происхождения в развитии и нутритивной профилактике неинфекционных заболеваний».

Литература

1. Информационные бюллетени – Рак [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer (дата обращения 20.09.2021).

2. Baranenko D., Bespalov V.G., Nadtochii L., Shestopalova I., Chechetkina A., Lepeshkin A., Ilina V. Development of encapsulated extracts on the basis of meadowsweet (Filipendula ulmaria) in the composition of functional foods with oncoprotective properties//Agronomy Research. 2019. Vol. 17. N 5. P. 1829–1838.
3. Савинова, Т. С., Войшвилло, Н. Е., Андрюшина, В. А., Карпова, Н. В., & Белецкая, И. П. Извлечение смеси фитостеринов из побочных продуктов переработки соевых бобов и использование её в производстве 9α-гидроксиандрост-4-ен-3, 17-диона // Химико-фармацевтический журнал. 2012. N 46(3). С. 40–43.
4. Goedkoop M., Oele M., Vieira M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E. SimaPro Tutorial. 2016. 86 p.

Содержание

Секция 1. Зеленые технологии в энергетике

Термоэлектрическое устройство для извлечения инородных объектов из тела человека

Евдулов О.В., Насрулаев А.М., Евдулов Д.В. *4*

Приборы для остановки кровотечения на основе криогидратных солей

Евдулов О.В., Набиев Н.А., Евдулов Д.В. *8*

Термоэлектрические полупроводниковые устройства для отвода теплоты от элементов РЭА

Ибрагимова А.М., Евдулов О.В. *12*

Экологические особенности систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата

Галимова Л.В., Лувам Д.Г., Семенов А.Е. *16*

Особенности проектирования систем холодоснабжения плавучих заводов по производству СПГ

Петров Е.Т., Круглов А.А., Паршин В. *23*

Системный анализ, оптимизация и прогнозирование параметров работы действующей энергосберегающей системы на базе АБХМ HSA-1157 и ПГУ-110

Байрамов Д.З., Галимова Л.В. *27*

Экономика замкнутого цикла в возобновляемой энергетике. Переработка солнечных панелей

Филюков Д.С. *35*

Повышение надежности судовых систем и приводной арматуры за счет применения нового способа изготовления пружин сжатия

Оскома А.А., Суриков Д.Г.……40

Поверхностно-модифицированные наночасти-цы диоксида титана с улучшенными оптическими свойствами

Петрова Ю.Ю., Булатова Е.В., Зеленцов Д.О. 44

Обоснование к проектированию третьей технологической линии для завода по сжижению природного газа

Чубова С.Д., Баранов А.Ю. 47

Системный анализ способов определения свойств СПГ

Родькин Я.Э., Зайцев А.В., Рябова Т.В. 50

Моделирование измерения теплопроводности методом лазерной вспышки с помощью тонкопленочного модуля

Макарова Е.С., Новотельнова А.В., Асач А.В., Тхоржевский И.Л., Фомин В. 55

The stereoisomeric peculiarities for liquid thermal conductivity of halopropens

Tsvetkov O.B., Mitropov V.V., Laptev Yu.A. 62

Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода

Цветков О.Б, Митропов В.В., Лаптев Ю.А. 64

Анализ методологии расчета локального теплообмена M. M. SHAH для условий миниканалов

Апицына О.С., Малышев А.А..... 66

Анализ влияния заполняемости помещения людьми на уровень концентрации углекислого газа

Кропис Ю.Н., Сулин А.Б. 72

Однокаскадная абсорбционная холодильная машина с солнечным коллектором комбинированного типа

Камара С., Сулин А.Б. *77*

Теплоемкость нерафинированного подсолнечного масла с различной концентрацией микрокомпонентов

Волков С.М., Крылов В.А.,.Федоров А.В, Тамбулатова Е.В., Федоров А.А., Прохорова Л.Т. *85*

Оптимальное проектирование низкотемпературного пластинчато-ребристого теплообменника

Шерматова Ф.М., Зайцев А.В., Артемьев Д. *90*

Установка для производства сжиженного природного газа на газораспределительной станции

Кравченко Ю.А., Спиридонова А.П. , Баранов А.Ю. *97*

Обоснование принципов построения мобильных судовых криогенных резервуаров для хранения СПГ

Иванов Л.В., Баранов А.Ю. *100*

Эффективность спирального компрессора в системах, использующих R744 и R290

Пронин В.А., Кованов А.В., Цветков В.А., Михайлова Е.А. *107*

Исследование способов синтеза водорода как один из этапов реализации концепции водородного будущего

Кайсина В.В., Кустикова М.А , Ишутина Е.О. *115*

Абсорбция и адсорбция вредных примесей при повышенном давлении природного газа

Майкова Т.С., Баранов А.Ю. *117*

Исследование энергоэффективности применения погружного насоса с альтернативным приводом в системах отгрузки сжиженного природного газа

Давыденко М.И., Баранов А.Ю. *121*

Энергомоделирование здания: общий анализ структуры коттеджа

Никитина В.А., Сулин А.Б. *128*

Математическое описание рабочего процесса в винтовом одноротором компрессоре при регулировании производительности

Цветков В.А., Пронин В.А., Кованов А.В., Калашникова Е.А, Долговская О.В. *133*

Использование сжиженного природного газа для компенсации тепловой нагрузки на систему для охлаждения многоместной криотерапевтической установки

Баранов А.Ю., Василенок А.В. *138*

Сравнительный анализ использования витых труб в теплообменном аппарате

Артемьев Д.В., Зайцев А.В. *142*

Выбор методики извлечения этановой и пропановой фракций из природного газа на заводе СПГ

Лихолитов Д.С., Зайцев А.В. *144*

Энергоэффективная конструкция резервуара для хранения ПГС

Середенко Е.С., Пахомов О.В. *151*

Анализ энергоэффективности процесса ожижения компонентов воздуха с использованием теплоты регазификации сжиженного природного газа

Шевченко А.В., Баранов А.Ю. *157*

Перспективы внедрения низкоуглеродных технологий в электроэнергетике

Рашидханов А.Т., Середа Н.В. *159*

Автономная система энергообеспечения для крупнотоннажного завода СПГ

Ракшин А.Д., Баранов А.Ю. 165

Комбинированный термодинамический цикл абсорбционного бромистолитиевого преобразователя теплоты

Малинина О.С., Бараненко А.В., Клунник А.К., Аль-Фураиджи Муштак А., Комаров К.А. 168

Численные и экспериментальные исследования фазовых переходов муравьиной кислоты как теплоаккумулирующего вещества

Захарова В.Ю., Файзуллин Р.О., Бараненко А.В., Калимжанов Д.Е. . 176

Моделирование холодильной системы с радиационным охлаждением конденсатора

Цой А.П., Грановский А.С. , Воробьёва О.Д., Джамашева Р.А. 182

Использование низкопотенциальной энергии земли в условиях Крайнего Севера

Козак О.А., Гущина М.С., Чурдалева И.С., Юрьева А.А..... 187

Исследование методов повышения надежности теплоснабжающих систем с помощью индивидуальных энергоустановок

Корнилов Д.А.……194
Интенсивная терапия новорожденных с использованием термоэлектрических преобразователей энергии

Камилова З.А., Хазамова М.А……201

Система сублимационной сушки растительного сырья с отводом тепловой нагрузки за счет теплопоглощающей способности сжиженного природного газа

Печенегова Е.А., Баранов А.Ю.……207

Оценка энергоэффективности повышения давле-ния потока сырьевого природного газа перед ожижением

Иконникова А.Ю., Баранов А.Ю……209

Секция 2. Пищевые биотехнологии

Исследование процесса культивирования кефирного грибка в козьем молоке

Кузьмина Д.К., Евстигнеева Т.Н. *214*

Влияние этилендиаминтераацетата на жирно-кислотный состав оливкового масла холодного отжима при хранении

Алнакуд М., Колодязная В.С. *219*

Исследование содержания биологических полимеров фруктозы в корнях подсолнечника различных годов урожая

Коршунова Н.А., Баланов П.Е. *225*

Разработка состава и технологии овсяного ферментированного продукта

Борисов Н.О., Горесь В.А., Ашихмина М.С...... *229*

Исследование теплофизических свойств водных растворов свекловичной мелассы

Сорокин С.А., Баранов И.В., Новоселов А.Г., Логинов А.Ю., Семененко М.Р. *233*

Эффективность применения ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки (уда-обработки) в технологии получения порошка мор-кови

Басковцева А.С., Кыздарбек У.С., Баракова Н.В., Самоделкин Е.А.. *239*

Способы снижения гликемического индекса мучного кондитерского изделия- маффина- и придания ему функциональных свойств

Шабунина М.В., Челомбиткин М.А., Баракова Н.В. *245*

Гидротермические экстракты бурых водорослей как основа сухих напитков, обогащенных йодом

Табакаев А.В., Табакаева О.В. *251*

Исследование потенциала использования тради-ционных заквасочных культур при ферментации сырья растительного происхождения

Ашихмина М.С., Морозова О.В., Яковченко Н.В. *255*

Моделирование IT-инфраструктуры в системе поддержки принятия решений при диагностировании гематологических заболеваний

Когай Г.Д., Дрозд В.Г., Тен Т.Л., Иванов В.Л., Тажбаев Н.М. *260*

Совершенствование управления фармацевтическим биореактором

Иванов В.Л., Пашкова Е.А., Пестриков С.В., Столбов М.Б., Юдина А.В. *268*

Двухферментная биосенсорная система для определения лактозы в молочных продуктах

Шавронская Д.О., Гриценко М.М., Назарова Е.А. *275*

Фенольные соединения семян подсолнечника

Крылова И.В., Доморощенкова М.Л., Баракова Н.В. *280*

Development of the technology of obtaining an extract with antioxidant and coloring effect from grape pomace

Shakiryanova Z.M., Saparbekova A.A., Khegay R., Zinoviyeva D.S *287*

Обоснование рецептуры и технологии желированного биопродукта, предназначенного для повышения стрессоустойчивости организма

Король С., Мезенова О.Я. *293*

Обоснование состава протеинового батончика, предназначенного для спортивного питания, с использованием добавок из коллаген-содержащего рыбного сырья

Некрасова Ю.О., Мезенова О.Я.……*300*

Влияние пектина моркови на потребительские свойства низкожир-ного мороженого с функциональными свойствами

Разумовский Д.А., Морозова О.В.……...*305*

Использование морковного пектина в качестве стабилизатора структура полидисперсных пищевых систем

Ванина А.С., Оглоблина В.В., Морозова О.В……313

Исследование потенциала применения моркови как пектинсодержащего сырья

Морозова О.В., Забодалова Л.А……318

Антибактериальная и антиоксидантная активность трутовика скошенного ((INONOTUS OBLIQUUS) IN VITRO

Милюхина А.К., Забодалова Л.А……321

Разработка технологии отделения томатной кожуры от мякоти плода

Кыздарбек У., Баракова Н.В., Басковцева А.С., Милюхина А.М……326

Безотходные технологии в пищевом производстве

Джамалдинова Б.А., Ушаева И.У., Хапаева А.Л.……332

Исследования по влиянию внесения порошка топинамбура в рецептуру мясных полуфабрикатов на свойства котлет

Муравьева Н.А., Байдалинова Л.С……338

Catalytic action of water soluble fullerenol c60(oh)24 on vital activity of streptococcus thermophiles

Blokhin A.A., Shaimardanov Zh.K., Shaimardanova B.K., Kulenova N.A., Keskinov V.A., Ayat Kanbar, Charykov N.A., Gerasimova L.V……343

Полифенолы как главные антиоксиданты для поддержания иммунитета в составе напитков с функциональными свойствами

Кварталова М.В.……346

Определение общего содержания полифенольных соединений в напитках на основе виноградного сока и экстракта шиповника

Пасечный Д.С., Смотраева И.В.……353

Кинетика реакций превращения фенольных соединений в полуфабрикатах из цикория салатного эндивий в процессе замораживания и хранения

Колодязная В.С., Кипрушкина Е.И., Румянцева О.Н……359

Применение бетаина в хлебопечении

Герасимов А.А., Баракова Н.В……363

Исследование ферментативной активности дрожжей saccharomyces cerevisiae var. Boulardii

Маньшин Д.В., Бритвина Т.А., Меледина Т.В……370

Применение технического зрения для оценки цвета пивоваренного солода и сусла

Трошкин Д.Е, Горбунова Е.В., Чертов А.Н……375

Применение натуральных красителей при производстве сахаристых кондитерских изделий и оценка их цветовых характеристик

Силин П.А., Баракова Н.В., Толстоба Н.Д ……380

Влагоудерживающие свойства порошков сухой моркови и свеклы и их влияние на режимы приготовления опары для бараночных изделий

Тихий А.В., Баракова Н.В, Басковцева А.С……384

Способы снижения содержания фитиновой кислоты в соевой полножирной муке и ее гидролизатах

Челомбиткин М.А., Нечитайло А.В., Баракова Н.В., Басковцева А.С., Самоделкин Е.А……390

Поиск ксенобиотиков в мясе и мясных продуктах с помощью гипреспектрального и терагерцового излучения

Барaненко Д.А., Смолянская О.А., Чертов А.Н., Горбунова Е.В., Лыкина А.А., Ильина В.С.……395

Изменение концентрации внутри- и внеклеточного глутатиона при хранении остаточных пивных дрожжей

Меледина Т.В., Пискунова А.В., Морозов А.А., Федоров А.А……399

Секция 3. Экология и биоэкономика замкнутого цикла

The economics of the closed circle:a case study of Estel (Saint-Petersburg)

Shemetev A.A. 403

Обзор исследований по теме производства и использования топлива из отходов в рамках развития экономики замкнутого цикла

Барбанэль П.Ф., Кузнецова Е.А. , Сергиенко О.И. , Агаханянц П.Ф. . 407

Модернизация модели обучения на примере освоения дисциплин экономики замкнутого цикла

Ермоченко А.И., Савоскула В.А. 412

Подход экономики замкнутого цикла в управлении пластиковыми отходами

Галашова О. И., Зуева К. С. 417

Биоразлагаемые материалы в России: актуальность, рынок, проблемы

Кузнецова А.П., Дунаева А.Е. , Молодкина Н.Р. 424

Новая скважина к подледниковому озеру Восток

Захаров А.А. 431

Сравнительный анализ биоразлагаемых материалов в России

Дунаева А.Е., Кузнецова А.П., Молодкина Н.Р. *437*

Изучение возможности вовлечения обезвреженного бурового шлама в производственный цикл в условиях перехода к циркулярной экономике

Нугуманова А.А., Молодкина Н.Р. *443*

Концепция well-being – тренд или необходимость

Федянина А.И., Савоскула В.А. *450*

Исследование влияния кинематографа на переход к экономике замкнутого цикла

Юплова В.В., Савоскула В.А. *453*

Управление электронными отходами: обзор законодательства и бизнес-модели

Белышева Д.А, Флегентова К.А.……*457*

Экологическая оценка жизненного цикла ингредиентов для пищевых функциональных смесей

Миниахметова А.В., Сергиенко О.И., Бараненко Д.А……*468*

Содержание……*471*

X Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»

Сборник научных трудов

Научный редактор Баранов Игорь Владимирович

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н. Ф. Гусарова
Компьютерная верстка А. В. Ключарева
Подписано в печать 10.03.2022
Заказ № 4536
Тираж 50 экз.
Печатается в авторской редакции

Отпечатано: Учреждение «Университетские коммуникации»
199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, 16

ISBN 978-5-7577-0663-4

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49