

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА  
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы  
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции  
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference  
March 15-16, 2017**

**Алматы, 2017**

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392  
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией  
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

**Редакционная коллегия:**

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,  
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта  
2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

## **VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КАЗАХСТАН – ХОЛОД 2017»**

Конференция «Казахстан – Холод 2017» организована Представительством Международной Академии Холода в Республике Казахстан и проведена 15-16 марта 2017 года.

### **Официальные Партнеры:**

- ООО «Битцер СНГ», Германия – Россия;
- ООО «Мицубиси Электрик», Япония – Россия;
- ООО «ГЕА Рефрижерейшн РУС», Германия – Россия.

**Место проведения конференции:** Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 128/8, ГККП «Международный комплекс лыжных трамплинов “Сункар”».

**Члены организационного комитета конференции:** Алматинский Технологический Университет, ТОО «Тениз» – Школа Холода Автоматики и Электроники, Казахская Ассоциация холодильной промышленности, ГККП «Международный комплекс лыжных трамплинов “Сункар”».

### **Программный комитет**

1. **Цой А.П.**, председатель представительства Международной Академии Холода в Казахстане, Президент Казахской Ассоциации холодильной промышленности, академик, к.т.н., профессор, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.

2. **Бараненко А.В.**, президент Международной Академии Холода, академик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Институт холода и биотехнологий, Россия.

3. **Кантарбаев Р.А.**, директор Международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар», Казахстан.

4. **Андреева В.И.**, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.

5. **Шлейкин А.Г.**, д.т.н., профессор, академик, Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Институт холода и биотехнологий, Россия.

### **Участники конференции**

В конференции приняли участие более 100 представителей Казахстана, России, Украины, Германии, Узбекистана.

#### **1) Научно-педагогические работники:**

- Алматинский Технологический Университет, г. Алматы, Казахстан;
- Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан;
- Алматы Менеджмент Университет, г. Алматы, Казахстан;

- Государственный университет имени Шакарима, г. Семей, Казахстан;
- Казахстанско-британский технический университет, г. Алматы, Казахстан;
- Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия;
- Костанайский Государственный Университет им. А. Байтурсынова, г. Костанай, Казахстан;
- «Жасыл Даму», АО, г. Алматы, Казахстан;
- Казахстанская ассоциация холодильной промышленности, г. Алматы, Казахстан;
- Научно-техническое общество «КАХАК», г. Алматы, Казахстан;
- Краснодарский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Краснодар, Россия;
- Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина;
- Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Институт Холода и Биотехнологий), г. Санкт-Петербург, Россия;
- ТОО «Тениз», г. Алматы, Казахстан;
- Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия;
- Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков, Украина.

**2) Специалисты проектно-монтажных организаций холодильной промышленности Республики Казахстан и России:**

- «Bio-Icetechnic», ТОО;
- «CenturyServicePlus», ТОО;
- «Global Boss», ТОО;
- «NEVECO Engineering», ТОО;
- «Ice development» ТОО;
- «Kazintercool», ТОО;
- «Tramax Ltd», ТОО
- «Интерхолод», ТОО;
- «Казпромхолод», ТОО;
- «Калугин и К», ТОО;
- «Компания SAM», ТОО;
- «Компрессор», ТОО.
- «Титан Алматы», ТОО;

**3) Международные компании и их официальные представители в России и Казахстане:**

- «Gold Dried Fruits», ООО, Узбекистан;
- «Plattenhardt + Wirth», GmbH, Германия;
- «TRAMAX Ltd.», ТОО, Казахстан – США;
- «Битцер СНГ», ООО, Германия-Россия;

- «ГЕА Рефрижерейшн РУС», ООО, Германия-Россия;
- «Мицубиси Электрик», ООО, Япония-Россия;
- «РЭП Холдинг», АО, г. Санкт-Петербург, Россия;

4) **Инжиниринговые и проектные компании Казахстана:**

- «AVC-ENGINEERING», ТОО;
- «EDESSA», ТОО;
- «Euro Desht Engineering», ТОО;
- «КазНИИ энергетики имени академика Ш.Ч. Чокина», АО;
- «Казсантехпроект», АО;

5) **Предприятия Казахстана, потребляющие холод:**

- «Alar-Trade Agro», ТОО;
- «Carlsberg», ТОО;
- «EFES Kazakhstan», ТОО;
- «Eurasian Foods Corporation», АО;
- «Fresh Fruit» (Amal Bio), Алматы, Казахстан,
- «JTI Kazakhstan», ТОО;
- «Raimbek AGRO» ТОО;
- «SHIN-LINE», ТОО;
- «АгроПромЭнерго-К», ТОО;
- «Бахус», АО;
- «Комета» РГП «Резерв»;
- «Компания ФудМастер»;
- «Рахат», АО;
- «Рыбпром», ТОО;
- К/х «Заозерный», ТОО;
- Спортивный комплекс «МЕДЕУ»;
- Торгово-развлекательный центр «MEGA»;
- Торговый комплекс «ARMADA»;

### Программа конференции

На конференции выступили представители образования, науки и бизнеса со следующими докладами:

1	Перспективы становления холодильной промышленности Казахстана
	<b>Цой Александр Петрович</b> , к.т.н., профессор, Председатель Представительства Международной Академии Холода в Казахстане, Президент Казахстанской Ассоциации холодильной промышленности, г. Алматы, Казахстан
<b>Секция I: Энергия будущего. Энергоэффективность</b>	
2	Аммиачные компрессоры и промышленные холодильные агрегаты BITZER

	<b>Терпеньяц Юрий Владимирович</b> , генеральный директор; <b>Колосветов Александр Юрьевич</b> , руководитель направления «Промышленный холод и кондиционирование»; ООО «Битцер СНГ», г. Москва, Германия-Россия.
3	ООО «Мицубиси Электрик», Япония-Россия
4	Инновационные разработки ГЕА для промышленного холода
	<b>Егоров Иван Сергеевич</b> , <b>Тарасов Сергей Сергеевич</b> , <b>Нурбаев Даулет Ашимович</b> , ООО «ГЕА Рефрижерейшн РУС», г. Москва, Германия-Россия
5	«Энергия Будущего» в холодильной технике – радиационное охлаждение в различных отраслях промышленности
	<b>Шалбаев Калманбет Кожебердиевич</b> , д.т.н., профессор, академик ТОО «Тениз», г. Алматы, Казахстан
6	Разработка и изготовление центробежного компрессора смешанного хладагента для заводов сжижения природного газа
	<b>Юн Владимир Климентьевич</b> , д.т.н., главный конструктор компрессоров АО «РЭП Холдинг», г. Санкт-Петербург, Россия
7	Энергоэффективные технологии охлаждения массива многолетнемерзлых грунтов с подземным нефтепроводом
	<b>Кондратьев Валентин Георгиевич</b> , д.г.-м.н., профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
8	Программный комплекс Vitalina Suite
	<b>Пан Александр Вячеславович</b> Группа компаний «Vitalina», г. Алматы, Казахстан
<b>Секция II: Инновационные холодильные технологии в пищевой промышленности</b>	
9	Современные технологии хранения плодов
	<b>Салатина Ирина</b> , представитель компании в Средней Азии, «Plattenhardt+Wirth», GmbH, Германия
10	Практический опыт хранения плодов в современных хранилищах
	<b>Цинайкин Игорь</b> , инженер-технолог, Fresh Fruit (Amal Bio), Алматы, Казахстан

## **Концепция конференции «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО»**

Международная конференция «Казахстан – Холод 2017» является ежегодным казахстанским форумом специалистов в области холодильной техники и технологии. Проведение конференции создаёт надёжную основу для эффективного взаимодействия представителей образования, науки, бизнеса, государственных органов и международных организаций.

Основное направление Конференция «Казахстан – Холод 2017» в этом году – «Энергия Будущего». В рамках данного направления представлены доклады, касающиеся энергоэффективности холодильных машин и использования в них экологически безопасных холодильных агентов.

### **РЕШЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ**

Учитывая специфику Казахстанского рынка, на конференции было принято решение продолжить работу по укреплению связей технических специалистов холодильной промышленности с предприятиями агропромышленного комплекса. Для этого продолжена работа секции «Инновационные холодильные технологии в пищевой промышленности», которая была открыта в 2016 году на конференции «Казахстан – Холод 2016».

Зачастую холодильная служба на предприятиях, принимается как вспомогательная, обеспечивающая требуемые технологические режимы. Однако, в настоящее время, холодильные машины и системы кондиционирования воздуха являются достаточно значимым и важным в техническом плане видом оборудования. Холодильные машины и установки постоянно совершенствуются, а холодильная техника в целом является динамично развивающейся отраслью. В этой связи, можно сегодня говорить об образовании самостоятельной холодильной промышленности, присутствующей на пищевых, нефтехимических, нефтеперерабатывающих предприятиях, на спортивных сооружениях, в промышленных зданиях и сооружениях в составе систем кондиционирования воздуха.

Для становления холодильной промышленности Казахстана необходимо:

- сотрудничество местных организаций с ведущими мировыми компаниями в области холодильного машиностроения, холодильной технологии, холодоснабжения, замораживания, охлаждения.
- проводить подготовку бакалавров, магистров, кандидатов наук в ведущих зарубежных университетах в области холодильной техники (МГТУ им. Баумана, университете ИТМО и других).
- наладить практическое сотрудничество между компаниями и образовательными учреждениями (университетами, колледжами), заключающееся в организации практики для студентов, совместном руководстве дипломными работами, устройстве на работу выпускников.
- совместно с университетами, колледжами, учебными центрами и производственными предприятиями разрабатывать и внедрять учебные

лабораторные установки, действие которых дает верное представление о характерных производственных процессах, осуществляемых на действующих предприятиях.

Для развития и повышения статуса холодильной промышленности совместно с Казахстанской ассоциацией холодильной промышленности проводится разработка механизмов информирования потребителей холода об экологически безопасных и энергоэффективных технологиях холодоснабжения, о сферах их эффективного применения, о разработках и решениях с использованием природных хладагентов.

Для решения задач в ближайшей перспективе требуются проекты систем поощрения (налоговые льготы, отсрочки и т.д.) использования экологически безопасных холодильных технологий и представление на рассмотрение правительству.

Также необходимы:

- разработка единых требований к сертификации холодильных установок;
- создание единого реестра специалистов и компаний, занимающихся холодоснабжением и кондиционированием воздуха;
- разработка базы данных по образовательным учебным программам и программному обеспечению (в том числе сертификационные программы, программы обучения по природным хладагентам и так далее);
- подготовка единой библиотеки материалов, программного обеспечения, методических материалов;
- создание сетевой закрытой библиотеки;
- создание базы данных действующей нормативной и технической документации;
- разработка профессиональных стандартов для специалистов по холодильной технике;
- организация информационного обмена и взаимодействия;
- организация межгосударственного взаимодействия;
- разработка предложений по унификации или взаимного признания действующих в странах ЕАЗЭС систем сертификации, обучения. Для становления холодильной промышленности Казахстана представительство Международной Академии Холода совместно с Казахстанской ассоциацией холодильной промышленности в настоящее время работают над этой задачей.

На Конференцию было представлено 68 докладов, которые публикуются ниже.

**Председатель представительства  
Международной академии холода в Казахстане,  
канд. тех. наук, академик МАХ  
Цой А.П.**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ХРАНИЛИЩАХ ДЛЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ

*Цой А.П.<sup>1</sup>, к.т.н., Шалбаев К.К.<sup>2</sup>, д.т.н., Грановский А.С.<sup>1</sup>, магистр, Цой Д.А.<sup>1</sup>, магистр*

<sup>1</sup>*Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан*

<sup>2</sup>*Казахстанско-Британский Технический Университет, Казахстан*

*E-mail: granovskiy.a@rambler.ru, teniz@bk.ru, ditsoy@gmail.com, shk1952@mail.ru*

В настоящее время овощи и фрукты обычно хранят в камерах с регулированием состава газовой среды, охлаждаемых при помощи парокомпрессионных холодильных машин. В условиях резко-континентального климата температура воздуха в приземном слое атмосферы значительную часть года ниже, чем требуемая оптимальная температура для хранения овощей и фруктов (не ниже +1°C). Поэтому в холодный период года существует возможность использования естественного холода для охлаждения [1]. Однако, зачастую при проектировании системы хладоснабжения хранилища, этот фактор не учитывается. В результате отвод тепла из камеры производится только за счет действия парокомпрессионной холодильной машины. Эта машина в данном случае должна работать весь период хранения продукции, что создает определенный расход электроэнергии, который можно исключить.

При этом стоит учитывать, что решения, предлагаемые ранее для северных регионов России, являются технически нецелесообразными из-за невозможности поддержания в них регулируемого состава газовой среды внутри камеры [2], а в условиях климата юга Казахстана являются неактуальными из-за достаточно высокой зимней температуры в данном регионе.

Для разработки эффективной схемы отвода теплоты из камеры, в первую очередь необходимо учитывать климатические условия региона в котором предполагается размещать хранилище. В данном примере хранилище будет расположено вблизи от города Алматы. Рассмотрим годовой ход температур атмосферного воздуха (см. рисунок 1). В период хранения продукции, продолжающийся с сентября по май, температура атмосферного воздуха изменяется в широком диапазоне от +25 до -15 °C. На рисунке 2 представлена продолжительность наблюдения каждого конкретного значения температуры воздуха в течение года. Используются данные с метеостанций за 2016 год [3].

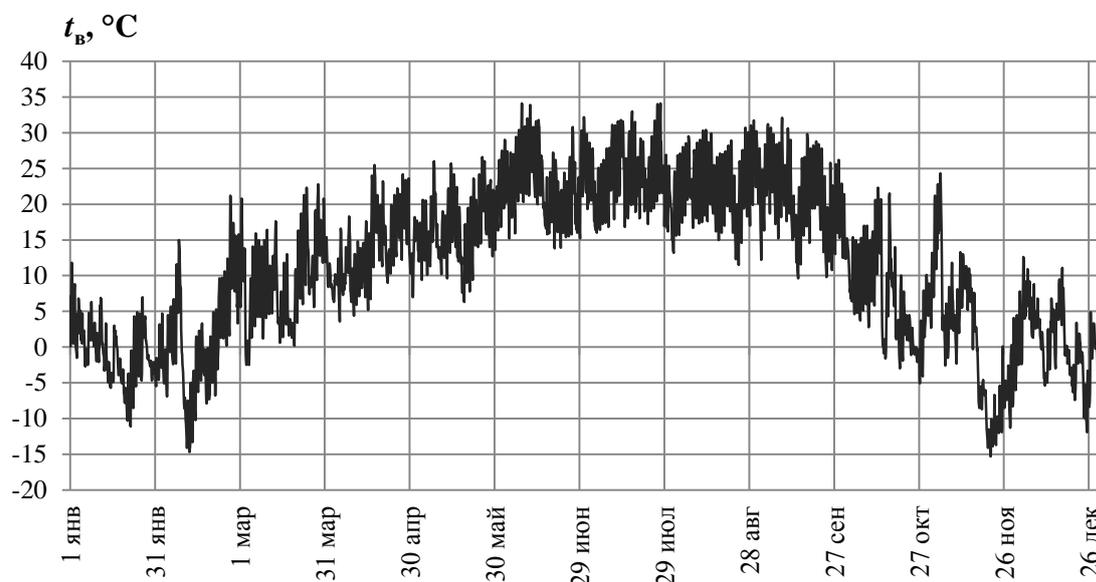


Рисунок 1 – Изменение температур атмосферного воздуха в городе Алматы за 2016 год

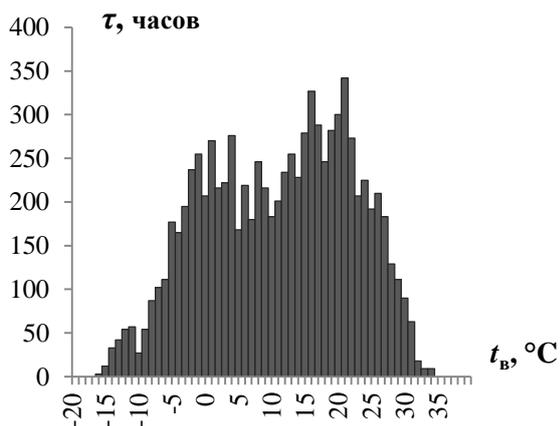


Рисунок 2 – Продолжительность наблюдения заданных температур воздуха в течение года

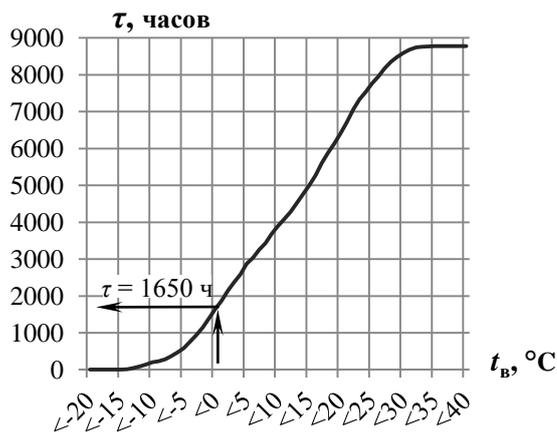


Рисунок 3 – Количество часов в году, когда температура воздуха опускается ниже указанного значения

Из рисунка 3 видно, что температура ниже  $0^{\circ}\text{C}$  наблюдалась около 1650 часов в год. В этот период охлаждение можно производить за счет естественного холода без включения парокомпрессионной холодильной машины.

При оценке теплопритоков в камеру, будет считать, что температура в ней составляет  $+1^{\circ}\text{C}$ .

Примем, что система хладоснабжения используется для охлаждения камеры хранения размерами  $10 \times 5 \times 3,5$  м. Стены камеры имеют слой теплоизоляции из вспененного полиуретана, толщиной 100 мм.

Упрощая стандартную методику для расчета теплопритоков через стены холодильной камеры [4, с. 11], можно получить уравнения, в котором суммарный теплоприток через ограждения камеры определяется как произведения двух коэффициентов:

$$Q_{\text{ст}} = K_{\text{ст}} \Delta t_1,$$

где:  $K_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопередачи через стены камеры, Вт/К. Для камеры данного размера он составляет 77 Вт/К;

$\Delta t_1$  – перепад между температурой атмосферного воздуха и температурой внутри камеры, К.

Далее при помощи полученной формулы и данных об изменении температур атмосферного воздуха можно определить величину теплопритоков через стены камеры в течение всего года. Результат отобразим в виде рисунка 4.

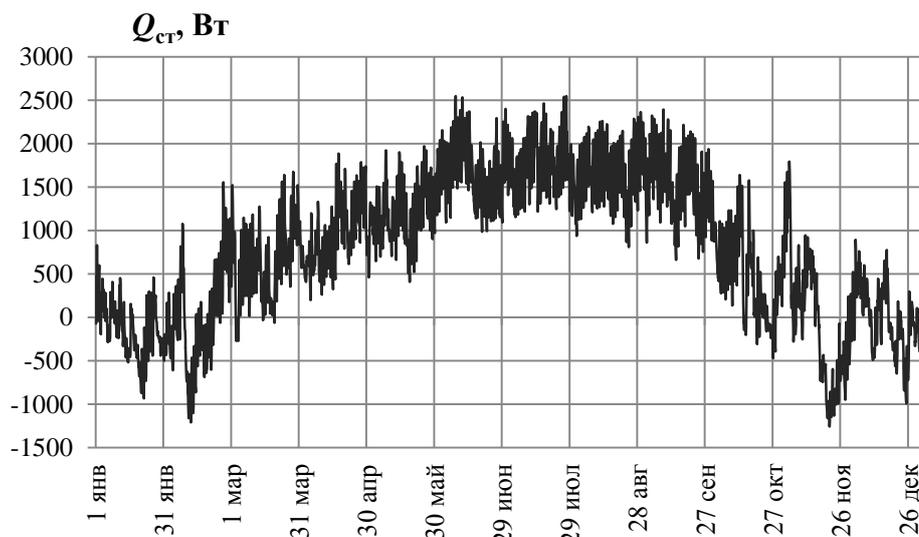


Рисунок 4 – Изменение теплопритоков через стены  $Q_{\text{ст}}$  камеры в течение года

Как видно из графика, в период с сентября по ноябрь теплоприток в камеры снижается с 2000 Вт до 0 Вт, и далее имеет отрицательное значение, что говорит о потерях теплоты из камеры в окружающую среду.

Период первичного охлаждения продукта в данной работе рассматривать не будем, так как использовать для этого естественный холод затруднительно, и примем теплоприток от холодильной обработки продукта равным нулю.

Теплопритоком от вентиляции, а также теплопритоком от открывания дверей пренебрегаем, так как камеры являются необслуживаемыми.

При высоте укладки продукта в камеру 3 м, грузовой объем камеры составляет  $150 \text{ м}^3$ , что теоретически дает возможность загрузить в камеру от 30 до 105 тонн продуктов, в зависимости от плотности их укладки. В реальности, конечно максимальная масса груза в камере будет меньше, но для данного эскизного расчета этот факт не имеет принципиального значения.

Таблица 1 – Расчет теплопритоков от дыхания хранимого продукта

Хранимый продукт	Плотность укладки груза, $\text{кг/м}^3$	Способ упаковки	Максимальная масса груза в камере, т	Теплоприток от дыхания продукта, Вт/т	Общий теплоприток от дыхания продукта $Q_{\text{дых}}$ , Вт
груши	350	ящики	52,5	22...27	1155...1418
капуста	610	быстрая упаковка	91,5	33	3021
картофель	700	навал	105,0	20	2100
лук репчатый	450	мешки	67,5	20	1350
морковь	450	ящики	67,5	28	1890
томаты	200	ящики	30,0	14...17	420...510
яблоки	350	ящики	52,5	11...19	578...998

Таким образом, для камеры указанного размера теплоприток от дыхания продукта может изменяться в значительном диапазоне от 420 до 3021 Вт, в зависимости от свойств хранимого продукта.

Теплоприток от солнечной радиации в данном случае не будет превышать 250 Вт.

Учитывая, что в период хранения продукта, камера практически не требует обслуживания, принимаем эксплуатационные теплопритоки от освещения, персонала, транспортных средств равными нулю. Теплоприток от двигателей вентиляторов воздухоохлаждителей примем эскизно равным 582 Вт.

Таблица 2 – Диапазон изменения теплопритоков в камеру в период хранения продукта

№	Вид теплопритоков	Величина теплопритока, Вт	
		Максимальная	Минимальная
1	через ограждения	2550	-1255
2	теплоприток от холодильной обработки продукта	0	0
3	от солнечной радиации	250	0
4	от вентиляции	0	0
5	от дыхания продукта	3021	580
6	эксплуатационные теплопритоки	582	0
	итого	6403	-675

Использование естественного холода возможно лишь в те периоды времени, когда температура атмосферного воздуха опускается ниже требуемой температуры воздуха в камере. Если учитывать, что атмосферный воздух недопустимо подавать непосредственно в камеру с регулируемым составом газовой среды, охлаждение естественным холодом возможно только с использованием промежуточного теплообменника. В данном теплообменнике воздух из камеры должен отдавать тепло наружному атмосферному воздуху через разделяющую стенку. Из-за установки дополнительного теплообменника использование естественного холода будет возможно только при наличии температурного напора величиной не менее 3К между наружным атмосферным воздухом и газовой средой в камере. Охлаждение естественным холодом будет происходить, только в те периоды, когда температура наружного воздуха опускается ниже  $-2^\circ\text{C}$ . Такие условия в Алматы в 2016 году

наблюдались 1143 часа или около 48 дней. В данное время можно пренебречь теплопритоками через ограждения. Требуемая холодопроизводительность системы естественного охлаждения будет составлять округленно от 1412 до 3853 Вт.

Парокомпрессионная холодильная машина (компрессорно-конденсаторный агрегат с одноступенчатым сжатием) в данных условиях бы имел холодильный коэффициент около 3 единиц. При этом потребляемая электрическая мощность составляла бы от 470 до 1285 Вт.

За указанный интервал времени общее количество потребленной электроэнергии составило бы от 537,2 до 1469 кВт·ч. При текущем уровне тарифов на электроэнергию в Алматы общая стоимость потребленной при работе парокомпрессионной холодильной машины электроэнергии за период возможного использования естественного холода составила бы от 9 529 до 26 054 тенге (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Тарифы на электроэнергию в городе Алматы

Наименование	Время действия	Тариф за кВт·ч		Потребленная электроэнергия, кВт·ч	Общая стоимость потребленной энергии	
		Тенге (KZT)	Доллары (USD)		Тенге (KZT)	Доллары (USD)
дневной	с 7:00 до 23:00	21,91	0,068	358,2...979,3	7848...21456	24,5...67,1
ночной	с 23:00 до 7:00	9,39	0,029	179...489,7	1681...4598	5,3...14,4
Итого					9529...26054	29,8...81,5

При указанном уровне сокращения потребления энергии, экономически-эффективное решение должно стоить не более 100...125 тысяч тенге KZT (или 390 USD), что дает срок окупаемости в пределах пяти лет. Очевидно, что в указанную сумму затруднительно уложиться при использовании дополнительных контуров для циркуляции жидкого теплоносителя с драйкулерами и аккумуляторами холода.

Более интересным решением может оказаться использование воздуха в качестве теплоносителя, подаваемого в систему естественного охлаждения. При этом атмосферный воздух можно предварительно охлаждать при помощи ночного радиационного охлаждения [5,6]. В качестве радиаторов в данном случае могут быть использованы металлические плоские листы, образующие каналы для движения воздуха, расположенные на крыше здания. Верхняя поверхность данных листов в ночное время охлаждается за счет эффективного излучения и в свою очередь получает теплоту от проходящего под ними воздуха. Такая конструкция радиаторов описана в работах [7,8].

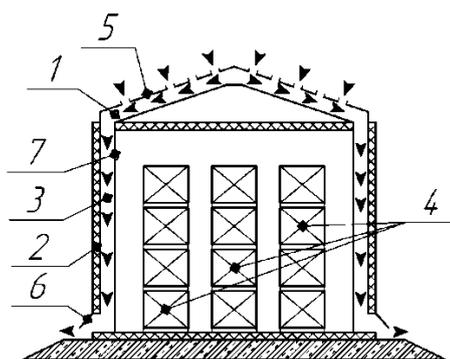
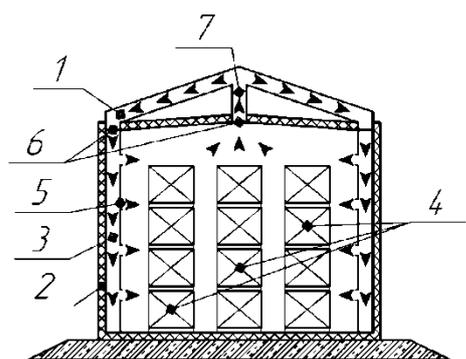


Рисунок 5 – Схема естественной циркуляции воздуха с использованием ночного радиационного охлаждения: 1 – радиатор; 2 – слой теплоизоляции; 3 – распределительный воздуховод; 4 – хранимый продукт; 5 – отверстия для распределения воздуха; 6 – заслонки; 7 – канал для возврата воздуха в радиатор

Рисунок 6 – Схема естественной циркуляции воздуха с использованием перфорированного радиатора: 1 – радиатор; 2 – слой теплоизоляции; 3 – распределительный воздуховод; 4 – хранимый продукт; 5 – отверстия для забора воздуха; 6 – заслонка; 7 – стена камеры

На рисунке 5 представлен один из возможных вариантов циркуляции воздуха в камере. В данном случае воздух забирается из камеры по каналу 7 и подается в радиаторы 1, размещенные на крыше. Здесь он охлаждается. После этого воздух возвращается по распределительным воздуховодам 3 через отверстия 5 в камеру. В случае организации камер малого объема возможно движение

воздуха исключительно за счет естественной конвекции. При необходимости для увеличения интенсивности движения воздуха в схему могут быть установлены вентиляторы.

В периоды, когда температура атмосферного воздуха выше требуемой температуры в камере, заслонки 6 могут быть закрыты, что исключит возможность поступления теплого воздуха, нагреваемого в радиаторах, в камеру.

На рисунке 6 представлена другая схема циркуляции воздуха в камере. В ней в ночное время воздух поступает в радиаторы через отверстия для забора воздуха 5. При прохождении через радиатор воздух дополнительно переохлаждается за счет действия радиационного охлаждения. Далее воздух подается в воздуховод 3. Данный воздуховод имеет с одной стороны тонкую металлическую стенку, через которую происходит отвод тепла из камеры 4. При движении по воздуховоду 3 воздух нагревается. После этого он выбрасывается в окружающую среду через заслонку 6.

Данные схемы позволяют регулировать количество отводимого из камеры тепла без контакта атмосферного воздуха с охлаждаемым продуктом, что исключает риск переохлаждения хранимого продукта. При необходимости предполагаемые конструкции можно дополнить аккумуляторами холода.

Дополнительно можно отметить, что радиаторы, расположенные на крыше здания в дневное время препятствуют теплопритоку от солнечной радиации, что также снижает расход электроэнергии на охлаждение хранилища.

Предлагаемые схемы использования естественного охлаждения сравнительно просты в реализации. Радиаторы предложенной конструкции по сути представляют собой профилированный металлический лист, имеющий минимальную стоимость.

Схему циркуляции воздуха внутри охлаждаемой камеры в данном случае необходимо проектировать с учетом процессов теплообмена, происходящих при обтекании хранимого продукта потоком воздуха [9].

Удельная холодопроизводительность радиаторов предлагаемой конструкции может изменяться в диапазоне от 30 до 100 Вт/м<sup>2</sup> в зависимости от условий окружающей среды, а температура воздуха проходящего через радиаторы снижается в ночное время на 1...2,5 К. Если предположить, что радиаторы будут закрывать всю поверхность крыши хранилища, то общая холодопроизводительность радиаторов может составлять от 1500 до 5000, чего достаточно для компенсации теплопритока от дыхания таких продуктов, как яблоки, груши, лук и томаты в любом возможном количестве. При хранении капусты, картофеля и моркови в некоторых ситуациях возможна нехватка холодопроизводительности. Если предполагается охлаждать данные продукты с использованием радиаторов, рекомендуется рассмотреть возможность сокращения высоты укладки продукта до 2 метров.

Для хладоснабжения хранилищ для овощей и фруктов с регулируемой газовой средой могут быть использованы схемы с воздухом, используемым в качестве теплоносителя, в которых поддержание температуры в камере в холодный период года происходит при помощи радиационного охлаждения. Данное решение отличается простотой и низкой стоимостью в сравнении со схемами, использующими жидкий теплоноситель.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасименко, И.В. Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода.– 2016. – № 2. – С. 23–25.
2. Абрамов, А.Ф. Использование естественного холода в переработке и хранении продуктов питания // Наука и техника в Якутии. – 2005. – № 1. – С. 95–97.
3. Расписание погоды гр5 [Электронный ресурс] // Архив данных о погоде по городам мира. – 2016. – Режим доступа: <http://гр5.kz>.
4. Чумак, И.Г. Холодильные установки. Проектирование: Учеб. пособие для вузов / И.Г. Чумак, Д.Г. Никулышина. – К.: Выща школа, 1988. – 280 с.
5. Цой, А.П. Моделирование работы холодильной системы ночного радиационного охлаждения в условиях определенного климата / А.П. Цой, А.С. Грановский, Д.А. Цой. // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2015. – № 3. – С. 95–103.
6. Ali, A.H.H. Desiccant enhanced nocturnal radiative cooling-solar collector system for air comfort application in hot arid areas // Sustain. Energy Technol. Assessments. – 2013– Vol. 1. – P. 54–62.
7. Hollick, J. Nocturnal Radiation Cooling Tests // Energy Procedia. – 2012. – Vol. 30.– P. 930–936.
8. Pat. 2012/0186778 A1 USA, Int. Cl. F25D 3/00, F 28C 3/00. Method and apparatus for two stage cooling of ambient air / J. Hollick. – filed 30.01.2012 ; pub. 26.07.2012.
9. Узаков, Г.Н. Моделирование процессов тепло- и массообмена в холодильной камере при охлаждении продуктов естественным холодом / Г.Н. Узаков, А.Б. Вардияшвили, С.М. Хужакулов. // Труды международной научно-технической конференции “Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве”. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 2012. – Том 3. – С.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО И МЯСОКОСТНОГО ФАРША СО ШНЕКОВЫМ ПИТАТЕЛЕМ

*Акимов М.М.<sup>1</sup>, кандидат тех наук, Кабулов Б.Б.<sup>1</sup>, кандидат тех наук., Мустафаева А.К.<sup>1</sup>, кандидат тех наук., Бакиева А.Б.<sup>1</sup>, магистр., Токенов Т.Т.<sup>1</sup>, студент  
Государственный университет имени Шакарима г. Семей, Республика Казахстан  
E-mail: bolatkabylov@mail.ru, bakieva@mail.ru*

В мясной промышленности среди всех видов механической обработки измельчение мясного сырья занимает значительное место и является одним из важнейших технологических процессов.

Для тонкого измельчения применяются в основном куттеры и коллоидные мельницы, которые предназначены для окончательного измельчения мясного сырья при производстве колбасных изделий, жиросодержащего сырья и др. Характеризуются они высокой производительностью, простотой исполнения транспортирующего и режущего механизмов, удобством в обслуживании и эксплуатации, надежностью в работе [1].

В настоящее время оборудование для переработки мяса производится на многих заводах России, Казахстана и Белоруссии, в том числе на предприятиях бывшего оборонного комплекса. Однако оборудование стран Евразийского союза не всегда обеспечивает возможность выпуска готовых изделий необходимого ассортимента и качества. Поэтому на казахстанском рынке в настоящее время достаточно много предложений иностранных фирм, которые могли бы удовлетворить потребности производителей пищевой продукции в расширении ассортимента.

Из зарубежных производителей оборудования для измельчения мяса следует отметить фирмы: «Kremer und Grebe», «Alexander-Werke AG», «Valer», «Kilia», "MEISSINER GmbH + Co. KG», «Seydelmann KG», «Laska» (Австрия), «Wolfking Danmark» (Дания), «Palmia» (Швеция) и другие.

Для получения мясной и мясокостной пасты нами была разработана и создана установка для тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша со шнековым питателем [2] и отработаны процессные режимы. Разработана схема проведения исследований по определению рациональных конструкций режущих механизмов и режимов тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша в тонкодисперсную пасту.

Мясокостное сырье, в основном позвонковая и реберная часть туш, подвергается среднему измельчению (размер кусочков меньше  $50 \cdot 10^{-3}$  м), затем на силовом измельчителе - мелкому измельчению до размеров кусочков  $(2-3) \cdot 10^{-3}$  м и охлаждается или подмораживается до температуры 0 °С. Охлажденный или подмороженный фарш разбавляется и перемешивается ледяной водой в соотношении 1:2 и подвергается тонкому измельчению на ротационном измельчителе. На ротационном измельчителе поочередно устанавливаются комплекты ножей №№ 1, 2, 3, 4. Затем меняется частота вращения подвижного дискового ножа от 104,67 рад/с до 418,0 рад/с. Далее меняются зазоры между ножами от  $0,05 \cdot 10^{-3}$  м до  $0,38 \cdot 10^{-3}$  м. После каждых смен комплектов ножей, изменений частот вращения подвижных дисковых ножей и зазоров между ножами определяются СМХ, гранулометрический, химический составы, ВСС, мощность двигателя. Затем проводим анализ полученных данных.

Установка для тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша со шнековым питателем предназначена для тонкого измельчения мясного и мясокостного сырья, предварительно измельченного до размера 3-5 мм, необходимого при производстве паштетов, кремов, сосисок, сарделек, колбас, пельменей и другой продукции (рисунок 1).

Установка включает в себя: шнековый питатель, раму, юбку, корпус ножевой головки, ротор, резьбовое кольцо и разгрузочный гусак.

Установка состоит из рамы, представляющей собой сварную конструкцию из листовой и профильной стали, в верхней части которой находится плита для установки электродвигателя, рабочей части измельчителя, привода, содержащего муфту и электродвигатель, загрузочную горловину, юбку, корпуса ножевой головки, состоящего из разгрузочного патрубка, резьбового кольца, во внутренней части которого жестко закреплена обойма с пакетом неподвижных зубчатых ножей, и расположенные в корпусе ножевой головки, жестко закрепленные на валу при помощи прижимной гайки пакет подвижных зубчатых ножей и разгрузочный диск.

Шнековый питатель (рисунок 2) состоит из корпуса, шнека, загрузочного бункера и



Рисунок 1 – Установка для тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша со шнековым питателем  
 1 – загрузочный бункер; 2 – корпус шнекового питателя; 3 – крышка; 4 – загрузочная горловина; 5 – корпус ножевой головки; 6 – разгрузочный гусак; 7 – рама; 8 – привод шнекового питателя; 9 – привод ножевого механизма

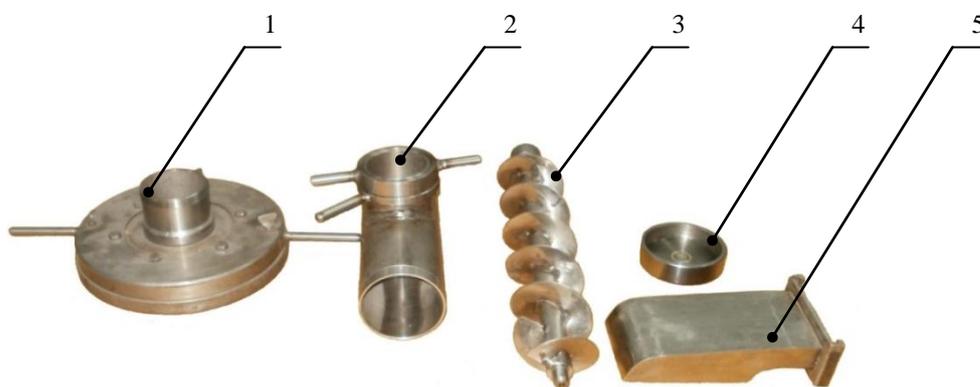


Рисунок 2 - Детали шнекового питателя установки для тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша  
 1 – резьбовое кольцо; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – крышка; 5 – разгрузочный гусак

привода, содержащего червячный редуктор, клиновые ремни, ведомый и ведущий шкивы, электродвигатель. Корпус представляет собой цилиндрическую разъемную конструкцию, состоящую из двух частей. Первая часть крепится к станине измельчителя, к которой приварен загрузочный бункер. Во второй части конструкции имеется выходной патрубок, который крепится к загрузочной горловине с помощью фиксирующей и контр гайки. Вращение шнека осуществляется от электродвигателя к червячному редуктору через клиноременную передачу. На одном конце вала шнека вырезан паз для крепления его к выходному валу червячного редуктора. Второй конец вала шнека фиксируется при помощи подшипника скольжения.

К неподвижному корпусу насаживается съемный корпус с выходным патрубком, который крепится к загрузочной горловине и фиксируется гайками. Затем вставляется шнек внутрь корпуса и закрывается крышкой.

Рама представляет собой сварную конструкцию из листовой и профильной стали, в верхней части которой находится плита для установки электродвигателя и рабочей части измельчителя.

Юбка представляет собой и находится между плитой рамы и корпусом ножевой головки. В верхней части юбки находится устройство для поворота и фиксации в корпусе ножевой головки. На цилиндрической поверхности юбки имеется окно, закрытое крышкой. Окно служит для подхода к муфте измельчителя.

Корпус ножевой головки является рабочим органом, внутри которой происходит измельчение фарша и выброс его через выгрузной канал и гусак в приемную емкость. В верхней части корпуса ножевой головки имеется резьба для установки резьбового кольца, в торцевой части - выгрузной канал с фланцем для крепления гусака.

На корпусе ножевой головки установлена линейка со шкалой от 0 до 1 мм, с ценой деления 0,055 мм, что позволяет при повороте резбового кольца изменять зазор между подвижными и неподвижными кольцеобразными зубчатыми ножами, согласно этой шкале.

Ротор представляет собой вал, который передает вращение набору подвижных кольцеобразных зубчатых ножей, разгрузочной крыльчатке и подающему шнеку, которые расположены в корпусе ножевой головки.

Набор подвижных кольцеобразных зубчатых ножей, разгрузочная крыльчатка и подающий шнек прижаты к торцу вала ротора при помощи гайки. Второй конец вала ротора соединен с электродвигателем через муфту.

Резбовое кольцо включает в себя: загрузочную горловину, обойму неподвижных ножей и стрелочного кольца.

Загрузочная горловина представляет собой усеченный конус, в нижней части которого находится фланец для установки на резбовое кольцо.

Обойма неподвижных ножей представляет собой пакет кольцеобразных зубчатых ножей, установленных в корпус обоймы и зажатыми сверху кольцом обоймы. Обойма неподвижных ножей крепится к резбовому кольцу при помощи болтов.

Стрелочное кольцо необходимо для визуального определения зазора между подвижными и неподвижными ножами, первоначальной установки на ноль и представляет собой кольцо с закрепленными на нем двумя стрелками. Стрелочное кольцо фиксируется на резбовом кольце при помощи винтов.

Сырье загружается в бункер, далее при помощи подающего винта транспортируется к первой паре измельчающих ножей. Под действием центробежной силы сырье проходит через радиальный зазор между подвижным и парным с ним неподвижным ножом и измельчается зубьями этих ножей. Далее продукт поступает во впадины зубьев второго подвижного ножа и под действием центробежной силы подается через радиальный зазор второй ножевой пары. Затем он снова проходит через торцевой зазор во впадины зубьев следующего подвижного ножа, подвергаясь измельчению боковыми кромками на торцевых плоскостях ножей. Измельченный продукт при помощи разгрузочного диска выбрасывается в канал для выгрузки.

Установка работает следующим образом.

Перед началом работы устанавливается требуемый зазор в зависимости от вида сырья, между комплектом подвижных и неподвижных ножей поворотом резбового кольца ножевой головки. При этом величину зазора выставляют по линейке, расположенной на корпусе ножевой головки. После установки зазора резбовое кольцо фиксируется на корпусе ножевой головки прижимными винтами.

Далее включается шнековый питатель.

Включаем электродвигатель и после установления стабильных оборотов комплекта подвижных ножей загружаем предварительно измельченное до размеров частиц 3-5 мм сырье в загрузочную горловину. Сырье при помощи подающего шнека, а также под действием силы тяжести поступает к рабочим органам. Измельченное сырье удаляется из машины с помощью разгрузочного диска через разгрузочный патрубок.

Для изменения скорости вращения рабочих органов вместо муфты установлена ременная передача со сменными шкивами, которая позволяет изменять скорость вращения рабочих органов от 104,67 до 418,67 рад/с. Частоты работы рабочих органов выбраны с учетом имеющих наибольшее распространение на предприятиях.

Для определения влияния конструкции ножей экспериментальной установки изготовлено четыре комплекта ножей различных конструкции.

Комплекты ножей № 1 и № 2 представляют собой шесть подвижных и шесть неподвижных ножей с углом заточки торцевых поверхностей составляющим 90°. Разница заключается в том, что у комплекта № 2 количество зубьев на ножах, занимающих одинаковую позицию, больше чем у комплекта № 1.

Комплект ножей № 3 представляют собой пять подвижных и пять неподвижных ножей с углом заточки торцевых поверхностей в 45° и прямым расположением зубьев.

Комплект ножей № 4 представляют собой пять подвижных и пять неподвижных ножей с углом заточки торцевых поверхностей в 45°, с зубьями расположенными под углом 70° по отношению к оси вращения, с изменяющейся глубиной зубьев до нуля.

Таким образом, в ходе исследования разработана и изготовлена экспериментальная установка для тонкого измельчения мясного и мясокостного фарша со шнековым питателем. Проведены испытания разработанной установки в производственных условиях. В результате испытаний

установлена эффективность применения экспериментальной установки, что позволит получить тонкоизмельченную мясокостную пасту и использовать ее в производстве комбинированных мясных продуктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тулеуов, Е.Т. Современное оборудование для тонкого измельчения сырья биологического происхождения. Аналитический обзор / Е.Т. Тулеуов, А. Еренгалиев, А.К. Какимов, Б.Б. Кабулов. – Семипалатинск: СЦНТИ, 2003. - 48 с.

2. Инновационный патент Республики Казахстан № 24479. Установка для тонкого измельчения мясного и мясокостного сырья / Какимов А.К., Кабулов Б.Б., Ибрагимов Н.К., Есимбеков Ж.С., Есмагамбетов А.А.; заявитель и патентообладатель Кабулов Б.Б. - № 2010/1187.1; заявл. опубл. 15.09.2011, бюл. № 9. – 4 с.

УДК 621.395.67.7

### **СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СИЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

*Альтман Э.И.<sup>1</sup>, кандидат тех наук., Верховкер Я.Г.<sup>1</sup>, доктор тех наук  
ОНАПТ Украина, г. Одесса  
E-mail: েলাা@ukr.net, j.g.v.2007@mail.ru*

Проблема надежного охлаждения электронных устройств в настоящее время является одной из основных в радиоэлектронике, так как от реализации этого процесса в значительной степени зависит работоспособность как отдельных блоков, так и всей конструкции. Большое количество публикаций посвященных этой тематике [1-6], также свидетельствует о том, что решение проблемы актуально.

Охлаждающими агентами в электронных устройствах являются преимущественно диэлектрические жидкости. Это связано с тем, что для работы электронных устройств необходимо подводить к ним источники электричества и использование в качестве охлаждающих агентов электропроводных сред недопустимо из-за возможных электрических пробоев. Использование диэлектрических охлаждающих сред позволяет избежать эти проблемы и обеспечить надежный температурный режим при работе электронных блоков.

Не менее важным требованием для системы охлаждения радиоэлектронной аппаратуры, чем обеспечение ее безопасного функционирования, является экономичность системы. Система охлаждения должна быть постоянно в рабочем состоянии, но включаться в активную работу и отводить тепловые выделения от конкретного блока радиоэлектронного устройства только при его функционировании. Выполнение этого требования позволяет существенно повысить энергетическую эффективность системы охлаждения и, следовательно, всего радиоэлектронного устройства.

Разработанный и исследованный способ охлаждения электронных устройств на основе сил электростатического взаимодействия [7] решает все вышеизложенные трудности, которые возникают при реализации системы охлаждения элементов радиоэлектронных конструкций. Суть способа иллюстрируется схематическим изображением системы охлаждения. Устройство для охлаждения содержит герметичную камеру 1, заполненную диэлектрическим хладагентом 2 и сообщающуюся с одной стороны с каналами 3,4 и 5 для циркуляции хладагента 2 и с другой стороны – с теплообменником 6, общую шину 7 питания источника питания 8, электроды 9, расположенные в каналах 5 между их стенками, которые являются экранами для электродов 9. Стенки каналов 3,4 и 5 электрически подсоединены к шинам 10 нулевого потенциала, коммутирующие элементы 11 в виде выключателей, количество которых равно количеству электродов 9 и которые электрически соединены с общей шиной 7 источника питания 8 и с соответствующими электродами 9. Каналы 3,4 и каналы 5 расположены взаимно перпендикулярно между собой с образованием рамок, в которых расположены блоки радиоэлектронной аппаратуры 12. При этом, каналы 3 и 4 перпендикулярны относительно герметичной камеры 1 и являются коллекторами, которые сообщены с каналами 5, расположенными параллельно между собой и относительно герметичной камеры 1. Таким образом, каналы 3,4,5 и герметичная камера 1 по сути являются корпусом и скелетной основой охлаждаемой радиоэлектронной конструкции. Электроды 9 имеют полярность, противоположную полярностям стенок 6 каналов 5.

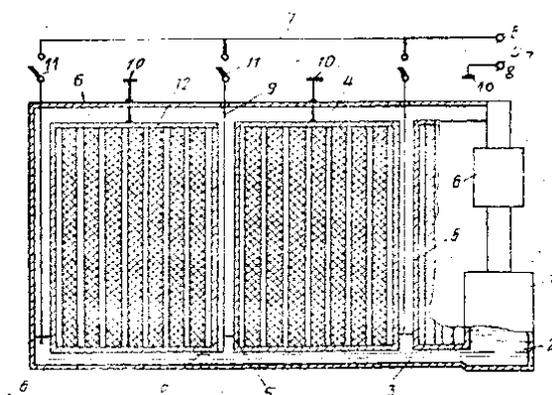


Рисунок 1 – Конструкция охлаждающего устройства

Описанная конструкция охлаждающего устройства работает следующим образом.

В герметичную камеру 1 заливают диэлектрический хладагент 2 в таком количестве, что он заполняет камеру 1, канал 3 и частично каналы 5. Тепловыделяющие блоки 12 расположены в пространстве, ограниченном стенками 6 каналов 3-5. Стенки 6 каналов 5 и электроды 9 образуют электрический конденсатор, частично погруженный в диэлектрический хладагент 2. К электродам 9 конденсатора подключается напряжение с помощью коммутирующих элементов 11. При включении напряжения в каналах 5 создается электростатическое поле и на диэлектрическую жидкость 2, заполняющую систему охлаждения и находящуюся между электродами 9 и стенками каналов 6, действует выталкивающая сила, величину которой можно рассчитать по формуле (1):

$$F_i = \frac{1}{8\pi} E^2 \text{grad } \varepsilon \quad (1)$$

где:  $F_i$  – выталкивающая сила, Н;  
 $E$  – приложенное напряжение, В;  
 $\varepsilon$  – диэлектрическая постоянная рабочей среды.

Величину суммарной выталкивающей силы, которая воздействует на диэлектрическую охлаждающую жидкость в зависимости от числа работающих каналов охлаждения можно определить по соотношению (2):

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n F_i \quad (2)$$

где:  $F_{\Sigma}$  – суммарная выталкивающая сила, в зависимости от числа работающих тепловыделяющих элементов  $i$  (охлаждающих каналов), которое изменяется от 0 до  $n$ .

Испытания системы производилось на разных режимах работы. В качестве диэлектрической жидкости использовался жидкий диэлектрик на основе фторорганических соединений

При всех работающих каналах 5 (случай, когда напряжение подается на все электроды 9) величина суммарной выталкивающей силы, то есть напор охлаждающей диэлектрической жидкости, был максимальным и происходило охлаждение всех каналов.

При последовательном отключении каналов, то есть отключения подачи питания на электрод канала, напор движения диэлектрической жидкости уменьшался и достигал 0 при отключении всех каналов.

Стабильность работы системы охлаждения позволяла ступенчато, при включении канала увеличивать скорость движения теплоносителя и увеличивать теплосъем всего устройства. Конструктивно система охлаждения выполняется в виде остова электронного модуля и каналы расположены непосредственно в его стенках и перегородках. Такая простота выполнения системы охлаждения резко повышает ее надежность и экономичность, так как не требуется дополнительных устройств для ее работы. Отсутствие в системе охлаждения движущихся элементов (вентиляторов, насосов) также повышает ее производственную надежность.

Сопоставление предложенной и исследованной системы охлаждения электронных устройств на основе сил электростатического взаимодействия с известными и применяемыми техническими решениями показывает ее значительные преимущества. Эти преимущества заключаются [8]:

- в простоте управления работой системы;
- в отсутствии дополнительных устройств (радиаторов, вентиляторов, насосов);
- в минимизации материалоемкости всего электронного модуля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Steven L. Garrett. Thermoacoustic refrigerator for space applications // Journal of thermophysics and heat transfer. 1993. Vol. 7. N 4.
2. Dr. Thomas Licht, Dr. Jurgen Schulz-Harder. Micro channel water-cooled power modules. PCIM Power Conversion Intelligent Motion Power Quality. Nurnberg. June 2000.
3. Dr. Schulz-Harder, Dipl.-Ing. Suavi Orey. Thermal management of dense power electronics for drives // Power Electronics Europe. 2002. Issue 3.
4. Ratnesh K. Sharma. Inkjet assisted spray cooling of electronics. IMAPS Advanced technology workshop (ATW) on thermal management for high-performance computing and wireless applications. October 2003.
5. Thilo Horvatitsch. Winzlinge mit hohem Potenzial // Laser. 2001. Issue 4.
6. CWI. Wasserkulung fur Server // c't. 2002. Issue 10.
7. А. с. 1670818 СССР, МКИ Н 05 К 7/20. Устройство для охлаждения / Я. Г. Верхивкер, С И. Глезер, Э.И.Альтман, Г.А.Черный (СССР)/ № 4360886/21 заявл. 07.01.88; опубли. 15.08.91, Бюл. No 30. – 2 с.
8. Yacov G. Verkhivker, Ella I. Aktman. Use the Electric field of Electronic devices for Realization of efficient module cooling // Non- compression refrigeration & cooling. Second International work- shop. Odessa, Ukraine, 2001. -P. 91.

УДК 6 81.11.031.12:519.673

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ СТЕПЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

*Белецкий Э.В.<sup>1</sup>, доктор тех наук., Петренко Е.В.<sup>2</sup>, кандидат тех наук  
Харьковский торгово-экономический институт киевского национального  
торгово-экономического университета  
E-mail: bileckyj@meta.ua, elena\_lion\_71@mail.ru*

Системы хладоснабжения с вторичным контуром и промежуточным охлаждением широко применяются в холодильной и климатической индустриях. Такие системы имеют ряд экономических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с холодильными системами непосредственного охлаждения. Одним из преимуществ, вышеназванных систем, является то, что по трубопроводам и охлаждающим приборам движется большей частью безопасное однофазное вещество и при этом не происходит фазовых превращений.

Ключевым моментом при проектировании системы хладоснабжения с промежуточным охлаждением является рациональный выбор хладоносителя, который должен отвечать комплексу требований относительно его теплофизических, физико-химических, технологических и санитарно-гигиенических свойств.

На сегодняшний день специалисты отдают предпочтение промежуточным хладоносителям на основе водных растворов спиртов и гликолей.

Альтернативой хладоносителям на водной основе могут быть олигоорганосилоксановые вещества, кремнийорганические жидкости: полиметилсилоксаны (ПМС), полидиметилсилоксаны (ПДМ). Эти вещества обладают хорошими теплофизическими свойствами, способны обеспечить низкотемпературные процессы до минус 100<sup>0</sup>С, являются экологически чистыми, нетоксичными, негорючими, химически инертными относительно конструктивных материалов.

Кроме этого, привлекательность кремнийорганических соединений обусловлена и тем, что они могут использоваться в широком интервале температур, как на плюс, так и на минус, что является важным для специфических технологических процессов, а также для косвенных систем центрального кондиционирования.

Одним из ключевых моментов сдерживающих применение кремнийорганических жидкостей в системах хладоснабжения является то, что отсутствуют адекватные модели описания режимов и условий их течения.

Объектом исследования являются степенные (неньютоновские) жидкости, а именно кремнийорганические жидкости. Для моделирования течения степенных жидкостей в системах хладоснабжения нами предлагается использовать метод аналогий. Сущность этого метода заключается в том, что известные результаты описания гидравлики ньютоновских жидкостей (формулы для определения местных сопротивлений) перенормируются на специальным образом

выбранное число Рейнольдса для течения степенных жидкостей. Такая процедура не вызывает существенных трудностей для всего диапазона значений числа Рейнольдса течения ньютоновских жидкостей, кроме переходного режима, который на сегодняшний день остается недостаточно изученным. Учитывая это, необходимо построить модель переходного режима течения для ньютоновской жидкости, которую потом можно при помощи метода аналогий применить для моделирования течения степенных жидкостей. Для этого необходимо проанализировать режимы и структуру течения в трубах и каналах, а также теплообмен ньютоновской жидкости.

Известно, что при изучении течения жидкостей в трубах и каналах кроме определения режима течения, необходимо установить условия течения. В связи с тем, что течение в трубах, как правило, носит продольное направление, условия течения могут быть постоянными или неустановившимися. Экспериментально и теоретически установлено, что ньютоновские жидкости при передвижении в канале или трубе, постепенно «вырождаются» в целиком определенное пуазейливское (или квазипуазейливское) течение [1, 2]. Термин «вырождение» означает, что каким бы не было течение ньютоновской жидкости на входе в канал или трубу, при прохождении большого расстояния от входа, течение будет все больше и больше приближаться к постоянному течению, условно «забывая» о состоянии, которое было на входе. Длина, на которой возникает, по сути, предельное течение, называется длиной стабилизации или становления. Указанная длина зависит от значения числа Рейнольдса, что характеризует поперечный размер канала и имеет тенденцию увеличиваться с увеличением этого числа [3].

При решении уравнения Навье-Стокса необходимо задать предельные условия на всех границах участка течения (канала или трубы). При решении этих же уравнений, но с конвективными слагаемыми в приближении гидродинамических и температурных приграничных слоев необходимо задать лишь одно условие на границе канала и трубы. Второе условие необходимо задавать на неизвестной заранее границе соответствующего приграничного слоя и ядра течения (или температурного ядра).

Такие уравнения пригодны для описания стоксовых и инерционных течений. Использование данных уравнений течения для описания турбулентных режимов нуждается в преобразованиях и заключается в том, что проводится разложение вектора скорости течения и давления на среднюю и случайную составляющую, после чего каждое слагаемое уравнения течения усредняется. Вследствие чего, получаем соответствующие уравнения для средних значений и корреляторов мультипликативных величин. Кроме того, к тензору напряжения добавляется дивергенция тензора случайных или пульсационных составляющих [4].

Известно, что турбулентное течение ньютоновской жидкости в каналах и трубах имеет универсальное распределение профиля скорости, который подчиняется логарифмическому закону [5]. Это довольно хорошо объясняется с помощью гипотезы Прандтля. Течение турбулентной ньютоновской жидкости может быть разбито на два участка – квазитвердое ядро течения и приграничный слой. В отличие от ламинарного течения, турбулентный приграничный слой внутри себя содержит вязкий подслой, в котором турбулентность затухает, и течение приобретает ламинарный характер. Вне этого подслоя расположен непосредственно турбулентный слой течения с логарифмическим профилем продольной скорости, которая примыкает к ядру течения. На участке стабилизации ядро течения уменьшается, и приграничный слой постоянно увеличивается. На полностью стабилизированном участке ядра течения нет и все сечение заполнено приграничным слоем, в результате чего устанавливается предельный профиль скорости.

Значение длины стабилизации течения существенно влияет на определение коэффициентов сопротивления трения, теплоотдачи. Как показал проведенный анализ литературы [1, 2, 6, 7, 8], основные значения коэффициентов сопротивления трения, местных потерь и теплоотдачи относятся к полностью стабилизированным течениям в каналах и трубах. Это, безусловно, можно считать уместным в тех случаях, когда длины труб и каналов значительно превосходят длины участков стабилизации, т.е. более целесообразно для использования в случае протяженных трубопроводов. Но для небольших по протяженности трубопроводов и каналов это условие выполняется с большой погрешностью. Поэтому применение значений, которые получены для стабилизированных течений, недопустимы для нестабилизированных течений, так как приводит к ряду ошибок при определении потерь давления и величины тепловых потоков.

Вышесказанное касается и неньютоновского течения. Это связано, прежде всего, с тем, что такие подходы имеют универсальный характер поэтому, при изучении модели специально не использовалось такое свойство, как ньютоновская жидкость. Также необходимо обратить внимание, что после предельного перехода от неньютоновской реологии к ньютоновской реализуется

апробированная гипотеза пристенной турбулентности Прандтля. Поскольку тензор пульсационных напряжений, который образован парными корреляторами случайных составляющих вектора скорости после усреднения конвективных слагаемых в уравнениях течения, имеет универсальный характер и не зависит от выбора реологической модели и совпадает с описанием ньютоновской модели [5, 9]. Вышесказанное свидетельствует, что турбулентность в приграничном слое для любой модели реологии будет одинаковой. Отличия возникают только в вязком подслое, граница которого и есть непосредственным предельным условием для самого турбулентного приграничного слоя. Что касается течения в вязком подслое, то в этом случае для каждой реологической модели оно будет индивидуально, в связи, с чем значение скорости на границе вязкого подслоя и турбулентного слоя для ньютоновской и неньютоновской реологий будут разными. Но в силу того, что кроме вязкого подслоя на всем участке существует турбулентная вязкость, которая значительно превышает молекулярную, то непосредственно в турбулентном слое профиль продольной скорости тоже будет логарифмическим, т.е. универсальным.

Как правило, течение в трубах и каналах сопровождаются переносом тепла [7, 10]. Тепловые процессы также можно описывать на двух уровнях - локальном и интегральном. На локальном уровне решения уравнения переноса температуры позволяют найти ее значение в каждой точке участка переноса. Интегральный уровень аналогичен гидравлическому, где теряется локальная информация, но сохраняется интегральная, например, в виде коэффициента теплоотдачи. Известно, что с помощью этого коэффициента вычисляется плотность теплового потока на границе канала или трубы. Коэффициент теплоотдачи целиком зависит от теплофизических характеристик жидкости, а также от локальных свойств течения близ границы.

Течение ньютоновской жидкости в каналах и трубах имеет определенную структуру, при которой весь участок течения можно условно поделить на участки с принципиально разными течениями. Следует отметить, что при перемещении жидкости вдоль канала или трубы, размеры указанных участков изменяются. В случае течения вязкопластической жидкости образуются следующие участки: один, примыкающий к границам канала или трубы; другой, что не затрагивает границы канала, т.е. ядро течения. Течение ньютоновской жидкости в ядре сформировано непосредственно предыдущим течением на участке канала или трубы. Течение на участке, который примыкает к границам канала или трубы иначе называют приграничным слоем, который формируется непосредственно самим каналом или трубой. По мере продвижения течения влияние приграничного слоя на жидкость увеличивается, а соответственно предыдущего участка уменьшается. Это обусловлено тем, что ядро течения уменьшается, а приграничный слой увеличивается до тех пор, пока не займет весь участок течения. После этого наступает стабилизация течения и устанавливается предельный профиль скорости течения. Приведенная характеристика структуры течения пригодна как для ламинарных, так и для турбулентных течений. Распределение течения жидкости на предельные участки с определением приграничных гидродинамических слоев показаны на рис.

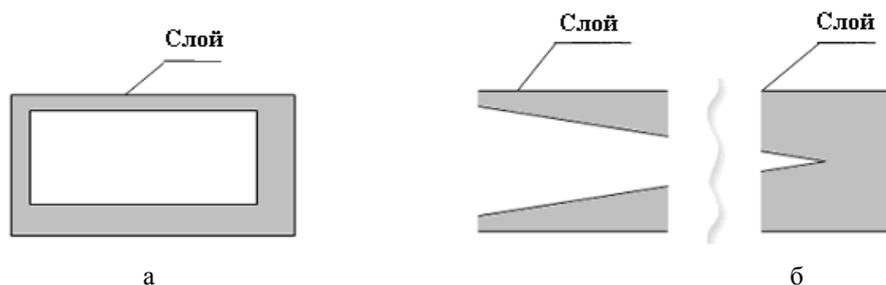


Рисунок 1 – Распределение течения жидкости на предельные участки с определением приграничных гидродинамических слоев в поперечном и продольном сечениях.

а – прямоугольный канал, поперечное сечение; б – плоский канал, продольное сечение

Участок, который примыкает к границам трубы, называется гидродинамическим приграничным слоем и если он занимает все поперечное сечение канала или трубы, то сила трения на границах определяется профилем скорости течения. В случае, когда приграничный слой занимает не все поперечное сечение канала или трубы, то сила трения на границах определяется профилем скорости только в указанном слое.

Все выше сказанное можно перенести на процесс распространения тепла в жидкостях, которые движутся в каналах и трубах. С точки зрения распределения температуры в объеме канала или трубы также можно выделить два отдельных участка: это участок, в котором температура почти постоянная по сечению, т.е. ядро потока температуры, и участок, в котором температура сильно изменяется от своего значения на границе канала к значению в ядре.

Приграничный участок называется тепловым или температурным приграничным слоем. Толщина этого слоя увеличивается от входа в канал или трубу по мере продвижения жидкости. На достаточно большом расстоянии от входа устанавливается предельный профиль температуры. Длина, на которой устанавливается такой предельный профиль, называется длиной температурной стабилизации. Необходимо указать, что толщины гидродинамического и температурного приграничных слоев и соответствующие им длины стабилизации, не совпадают один с одним по величине. Это связано, прежде всего, с тем, что профиль стабилизированной скорости остается постоянным при неизменности границ канала или трубы, а профиль стабилизированной температуры увеличивается, благодаря действию закона сохранения количества теплоты.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы. Моделирование течения в каналах неньютоновских жидкостей базируется на определении таких характеристик: режима течения (стоксовый, ламинарный, турбулентный), структуры течения (при этом необходимо уметь вычислять форму и размеры гидродинамических и температурных приграничных слоев для различных режимов течения), длин стабилизации течения и температуры. Полученные данные позволят определять коэффициенты сопротивления трения и местные сопротивления, а также коэффициенты теплоотдачи.

Построение гидравлической модели течения маловязкой жидкости основывается на анализе структуры потока в трубах и каналах ньютоновской жидкости с последующим использованием метода аналогий.

В частом случае течения степенной жидкости метод аналогий принимает достаточно простую форму, так как в этом случае известные формулы гидравлики описания ньютоновской жидкости сохраняют свой вид, а число Рейнольдса ньютоновской жидкости необходимо переопределить специальным образом, так что бы оно стало зависимым от показателя степени в законе течения степенной жидкости. О возможности такой процедуры было сказано еще в работах Уилкинсона [11].

Для подтверждения достоверности полученной теоретической модели течения степенной жидкости нами был проведен ряд экспериментальных исследований, позволяющих судить об адекватности данного метода [12].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов В. А. Гидравлика / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов — Санкт-Петербург : Высшая школа, 2008. – 200 с.
2. Каминер А. А. Гидромеханика в инженерной практике / А. А. Каминер, О. М. Яхно.– К. : Техника, 1987. – 175 с.
3. Аппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Аппель, Г. Бригер– М. : Мир, – 1976. – 630 с.
4. Товажнянський Л. Л. Моделювання течій неньютонівських рідин у каналах базової геометрії : монографія / Л. Л. Товажнянський, Е. В. Білецький, Ю. А. Толчинський.– Х. : НТУ «ХП», 2013. – 319 с.
5. Белов И. А. Моделирование турбулентных течений / И. А. Белов, С. А. Исаев. – СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, 2001. – 108 с.
6. Штеренлихт Д. В. Гидравлика – в 2-х кн. Кн. 1. / Д. В. Штеренлихт. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 351 с.
7. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление / С. С. Кутателадзе. – М. : Энергоатомиздат, 1990 – 336 с.
8. Примеры гидравлических расчетов / под ред. А.И. Богомолова. – 2-е изд., перераб.– М. : Транспорт, 1977. – 526 с.
9. Пивень В. Ф. Теория и приложения математических моделей фильтрационных течений жидкости / В. Ф. Пивень. – Орел, 2006. – 508 с.
10. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа / А. Д. Гиргидов. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета, 2007. – 545 с.
11. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости / У. Л. Уилкинсон. –М. : Мир. 1964.– 216 с.
12. Biletskii E. Method for defining hydraulic losses during power-law fluids flow / E. biletskii, O. Petrenko, D. Semeniuk // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Vol. 3, Issue 1, Kyiv, Ukraine. – С.131–138.

## СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ. НОВЫЕ РЕШЕНИЯ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

*Дорошенко А.В.<sup>1</sup>, доктор тех наук., Антонова А.Р.<sup>1</sup>, кандидат тех наук.,  
Людницкий К.В.<sup>1</sup>, аспирант., Глауберман М.А.<sup>1</sup>, кандидат физико-мат. наук  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: allaantonova62@gmail.com, dor\_av@i.ua*

### I. Солнечные многофункциональные системы. Основные принципы построения

Авторами ранее [1, 5-10] рассматривалось построение солнечных холодильных систем на основе блока [(ДБР↔АБР) – НИО], где предварительное осушение наружного воздуха в абсорбере обеспечивало последующее глубокое охлаждение основного воздушного потока «О» в каналах НИО, либо блока [(ДБР↔АБР) – ГРД], где обеспечивается глубокое охлаждение воды. В настоящей статье представлены разработанные двухступенчатые солнечные холодильные системы СХС (рис. 1А, 3и 6А). Основная концепция создания таких систем основана на следующих положениях:

1. СХС выполнена в двухступенчатом варианте, и состоит из автономных осушительно-охладительных блоков, первый блок решен по формуле [(ДБР↔АБР)–НИО] (в составе элементов 1 и 3), а во втором [(ДБР↔АБР)–ГРД] (элементы 3 и 14), причем каждая ступень регенерации (ДБР, элементы 5 и 6, рис. 3) замкнута на соответствующую ступень абсорбера-осушителя воздуха (АБР, элементы 1 и 3), соответственно [7, 9-10];

2. Десорбер-регенератор (элементы 5 и 6) выполнен многоступенчатым на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень восстановления концентрации абсорбента, при этом требуемый температурный уровень регенерации абсорбента обеспечивается горячей водой от солнечной системы; раствор абсорбента последовательно проходит каждую ступень регенерации, в которую поступает «свежий» наружный воздух;

3. Схема осушительной части может быть построена так, чтобы каждая ступень регенерации (ДБР) была замкнута на соответствующую ступень абсорбера-осушителя воздуха (АБР), рис. 3, что приводит к росту концентрации абсорбента от ступени к ступени (в диапазоне возможных концентраций используемого раствора бромистого лития LiBr, что ограничено опасностью начала кристаллизации раствора при высоких концентрациях абсорбента);

4. Внутренняя рекуперация тепла обеспечивается системой теплообменников: на линиях горячей-крепкий (М) и холодной-слабый (N) растворы бромистого лития LiBr установлены т/о 11 и 11\*; на холодных выбросных воздушных потоках из НИО (вспомогательный воздушный поток) и ГРД также установлены теплообменники;

5. В охлаждающей части схемы последовательно используется в первой ступени охлаждения воздухоохладитель непрямого типа НИО (2), включенный в схему после соответствующей ступени абсорбции; во второй ступени СХС – градирня ГРД (14).

6. СХС может быть построена с использованием автономных градирен технологического назначения ГРДт для обслуживания абсорберов каждой из ступеней охлаждения, и с использованием части «продуктовой» воды от «продуктовой» градирни ГРДпр (14) для охлаждения низкотемпературного абсорбера АБР2 (рис. 6А).

Все теплообменники (ТМА) солнечных систем конструктивно унифицированы, основаны на использовании аппаратов пленочного типа, и основаны на поперечноточной схеме контактирования потоков газа и жидкости, что обеспечивает: – рост предельных нагрузок по газу, исключаящий, до значений скоростей воздуха 6 - 7 м/сек, возникновение «захлебывания» насадочного слоя и высокую равномерность распределения контактирующих потоков по всему объему насадки [1-2]; – упрощение коммуникаций между ТМА и создание «линейной» схемы построения систем, что снижает энергозатраты на организацию движения теплоносителей.

### II. Анализ возможностей солнечных холодильных систем

Анализ принципиальных возможностей разработанных солнечных холодильных систем рассмотрен на примере двухступенчатых СХС с одним (единым для двух степеней) десорбером, решенных по формуле: (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР1 ↔ АБР2) – ГРД → «охлажденная вода» (рис. 1) и СХС с двумя десорберами, решенных по формуле: (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД → «охлажденная вода» (рис. 3А). Последний вариант СХС дополнительно рассмотрен с

использованием части «продуктовой» воды от ГРД для охлаждения низкотемпературного абсорбера АБР2 (рис. 3Б).

Двухступенчатая (двухкаскадная) СХС с одним (единым для двух степеней) десорбером. На рис. 2 в поле Н-Т диаграммы влажного воздуха показано протекание процессов в основных элементах солнечных холодильных систем СХС, оформленных по формуле:

$$[(\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР1}) - \text{НИО}] \rightarrow [(\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР2}) - \text{ГРД}]$$

Начальное влагосодержание наружного воздуха выбрано значительно выше критической величины  $x^* \approx 12,5 \text{ г/кг}$  [1] ( $x = 15$  и  $20 \text{ г/кг}$ ), что требует обязательного предварительного осушения воздуха перед испарительным охлаждением. Анализ выполнен на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных по эффективности процессов в ТМА осушительного и охладительного контуров [1-2, 5-10] на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит с параметрами слоя:  $d_3 = 15-25 \text{ мм}$ . Использование полимерных многоканальных насадочных структур в случае ИО непрямого типа (НИО) не приводит к сколь либо существенному снижению эффективности процесса, поскольку термическое сопротивление разделяющей каналы стенки соизмеримо с термическим сопротивлением жидкостной пленки, стекающей по внутренним поверхностям каналов. Для НИО была принята в расчетах величина эффективности процесса охлаждения по основному и вспомогательному потокам, равная  $E_O = E_B = (t^1 - t^2)/(t^1 - t_M) = 0.65$ , при эффективности теплообменников  $E_{ТГО} = 0.8$ . Эта величина определяется соотношением расходов воздушных потоков в НИО,  $l = G_O / G_B$ . Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО, принята  $t_{*ж}^1 = t_M^1 + 1,5-2,5^\circ\text{C}$ . На самом деле эффективность охлаждения вспомогательного воздушного потока несколько выше, чем основного, величина  $E_B$  несколько выше чем  $E_O$ , а реальное значение величины  $t_{*ж}^1$  зависит от соотношения  $l = G_O / G_B$  [1, 2], так что результаты выполненного анализа носят предварительный характер и несколько занижены.

Сравнительный анализ выполнен для начальных параметров наружного воздуха:  $t_B^1 = 35^\circ\text{C}$ ,  $x_B^1 = 15 \text{ г/кг}$  и  $t_B^1 = 40^\circ\text{C}$ ,  $x_B^1 = 20 \text{ г/кг}$ , то есть, заведомо, для самых «тяжелых» внешних условий для использования испарительных охладителей сред на Украине и в мире. Для двухступенчатых СХС с одним (единым для двух степеней) десорбером (формула:  $(\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР1}) - \text{НИО1} - (\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР2}) - \text{ГРД}$ ), получены сравнительные результаты (последовательно по ступеням охлаждения, рис. 1Б) для трех сравниваемых вариантов СХС при двух начальных параметрах НВ:

Параметры наружного воздуха НВ в СХС:  $t_B^1 35^\circ\text{C}$ ,  $t_M^1 24^\circ\text{C}$ ,  $t_P^1 20,5^\circ\text{C}$ ,  $x^1 15 \text{ г/кг}$

- 1: ГРД  $\rightarrow t_{*ж}^2 29,0^\circ\text{C}$ ;
- 2: АБР  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 24,5^\circ\text{C}$ ;
- 3: АБР  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 21,0^\circ\text{C}$ ;
- 4: АБР1  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  АБР2  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 15,0^\circ\text{C}$

Параметры наружного воздуха НВ в СХС:  $t_B^1 40^\circ\text{C}$ ,  $t_M^1 28^\circ\text{C}$ ,  $t_P^1 25^\circ\text{C}$ ,  $x^1 20 \text{ г/кг}$

- 1: ГРД  $\rightarrow t_{*ж}^2 32,5^\circ\text{C}$ ;
- 2: АБР  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 28,5^\circ\text{C}$ ;
- 3: АБР  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 26,5^\circ\text{C}$ ;
- 4: АБР1  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  АБР2  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{*ж}^2 21,5^\circ\text{C}$

Видно, что процесс изменения состояния воздушного потока в градирне носит криволинейный характер. Линия изменения состояния вспомогательного воздушного потока в НИО также криволинейна и до выхода из насадки ТМА выходит на кривую  $\phi = 100\%$ , с определенного момента следуя непосредственно по ней. Построение этих кривых выполнено по методике, разработанной на основе метода «энтальпийного потенциала» в работе [2]. Следует отметить опасность снижения эффективности процесса в этой области, что требует особого анализа. Решение вопроса может лежать на регулировании соотношения воздушных потоков в НИО и потоков газа и жидкости в градирне ГРД.

Достигнутый уровень охлаждения воды  $t_{*ж}^2 = 15,0^\circ\text{C}$  и  $21,5^\circ\text{C}$ , соответственно, оказывается ниже естественного предела охлаждения по наружному воздуху ( $t_M^1 24^\circ\text{C}$  и  $28^\circ\text{C}$ ) и даже ниже его точки росы ( $t_P^1 20,5$  и  $25^\circ\text{C}$ ). Результаты анализа приведены также на совмещенной диаграмме р-Т для раствора (LiBr+ – влажный воздух), рис. 2 для НВ:  $t_B^1 = 40^\circ\text{C}$ ,  $x_B^1 = 20 \text{ г/кг}$ . Здесь показаны процессы изменения состояния раствора абсорбента в абсорберах по ступеням охладителя (7-8, АБР1) и (7-8\*, АБР2), в теплообменнике (8(8\*)-9 и 10-7) и десорбере-регенераторе (9-10, ДБР). Такой анализ выполнен впервые и позволяет одновременно и наглядно видеть возможности СХС и пути повышения эффективности, особенно при росте концентрации абсорбента

Двухступенчатая (двухкаскадная) СХС с двумя десорберами.

Основной вариант разработанной СХС с двухступенчатым десорбером ДБР приведен на рис. 2-4 по формуле:

$$[(\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР1}) - \text{НИО}] - [(\text{ДБР1} \leftrightarrow \text{АБР2}) - \text{ГРД}]$$

Оптимально использование двухступенчатого варианта десорбера, когда каждая его ступень обеспечивает последующий рост концентрации абсорбента и связана в работе с соответствующей ступенью абсорбера (рис. 2). На двух последних рисунках в поле Н-Т диаграммы влажного воздуха приведен анализ работы СХС по ступеням охлаждения для двух уровней концентрации абсорбента (ориентировочный предельный уровень концентраций для LiBr++ составляет 70-75% [1]) и НВ:  $t_{\text{в}}^1$  40°C,  $t_{\text{м}}^1$  28°C,  $t_{\text{р}}^1$  25°C,  $x^1$  20 г/кг.

– ( $\xi^1$  60% и 67% на входе в ступени охлаждения, рис. 4):

1: ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  32,5°C;

2: АБР  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  28,5,0°C;

3: АБР  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  26,5°C;

4: АБР1  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  АБР2  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  19,0°C

– ( $\xi^1$  69% и 75% на входе в ступени охлаждения, рис. 5):

1: ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  32,5°C;

2: АБР  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  25,5,0°C;

3: АБР  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  22,5°C;

4: АБР1  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  АБР2  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  13,0°C

Видно, как рост концентрации абсорбента снижает достигаемый уровень влагосодержания, и, соответственно, общий уровень охлаждения среды.

Двухступенчатая (двухкаскадная) СХС с двумя десорберами и использованием части «продуктовой» воды от ГРДпр для охлаждения низкотемпературного абсорбера АБР2.

На рис. 6 приведено решение для СХС с использованием части «продуктовой» воды от ГРД для охлаждения низкотемпературного абсорбера второй ступени АБР2. Получено:

1: ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  32,5°C;

2: АБР  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  28,5,0°C;

3: АБР  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  26,5°C;

4: АБР1  $\rightarrow$  НИО  $\rightarrow$  АБР2  $\rightarrow$  ГРД:  $\rightarrow t_{\text{ж}}^2$  15,0°C;

Процесс осушения воздуха в низкотемпературном абсорбере АБР2 реализуется при одновременном его охлаждении, причем линия изменения состояния воздушного потока (процесс 3-4) носит криволинейный характер. Линия изменения состояния воздушного потока в градирне также криволинейна и до выхода из насадки ТМА выходит на кривую  $\phi = 100\%$ , с определенного момента следуя непосредственно по ней (участок 4-6-6\*).

1. Многофункциональные солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной (абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор) и охлаждающей части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей; поддержание непрерывности цикла обеспечивает солнечная система на основе жидкостных плоских солнечных коллекторов.

2. Использование многоступенчатого абсорбера для осушения воздушного потока, как и использование многоступенчатого десорбера для восстановления концентрации абсорбента, обеспечивают рост эффективности процесса абсорбции и существенное снижение пределов последующего испарительного охлаждения сред (газов или жидкостей).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. – Одесса: ОНУ, 2012. – 446 с.
2. Дорошенко А. Компактная тепломассообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика). Докторская диссертация, Одесский институт низкотемпературной техники и энергетике. Одесса. - 1992. – т. 1. – 350 с., т. 2. – 260 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.- «Наука». – 1973. – 848 с.
4. JOHN L., McNAB, PAUL McGREGOR., 2003, Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. 21<sup>h</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0646.
5. Chen, G.M., Zheng, J., Doroshenko, A., Shestopalov, K., 2014a. Design and modeling of a collector-regenerator for solar liquid desiccant cooling system, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
6. Chen, G.M., Doroshenko, A.V., Shestopalov, K.O., Khliyeva, O.Y., 2014b. Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Hangzhou.
7. Doroshenko, A., Shestopalov, K., Khliyeva, O., 2014. Development of new schematic solutions and heat and mass transfer equipment for alternative solar liquid desiccant cooling systems, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.

8. Koltun, P. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21<sup>h</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57.

9. Дорошенко А.В. Солнечные многоступенчатые абсорбционные холодильные системы на основе теплообменников пленочного типа // А.В. Дорошенко, А.Р. Антонова, К.В. Людницкий/. Холодильная техника и технология. – 2015. – 51(2). – С. 25-31

10. Дорошенко А.В., Людницкий К.В. Солнечные холодильные системы на основе абсорбера с внутренним испарительным охлаждением. // Холодильная техника и технология. – 51 (3) – 2015. – С. 42-52.

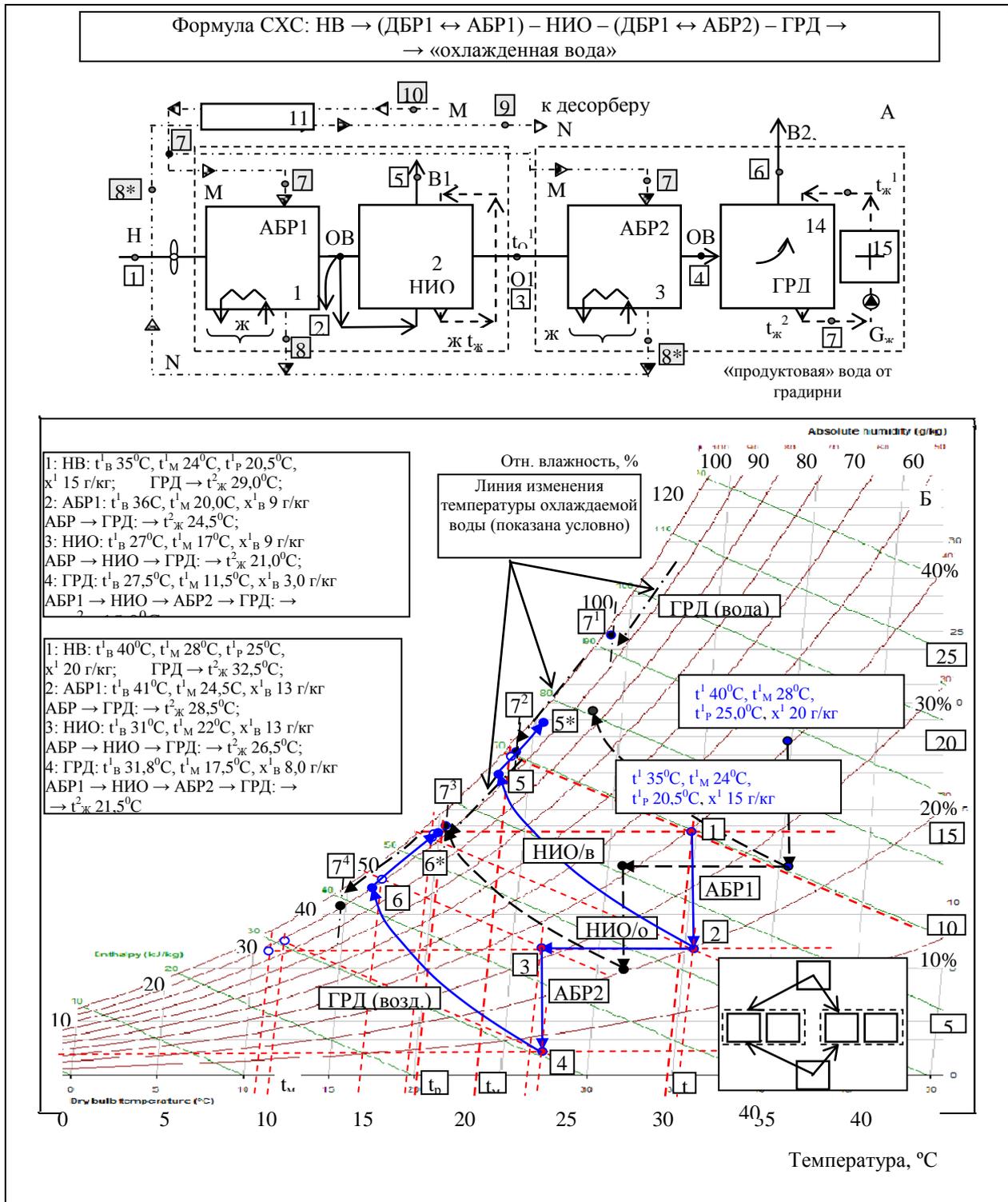


Рисунок 1-. Принципиальные возможности разработанных СХС, (формула по рис. 1А). НВ:  $t^1 35^\circ\text{C}$ ,  $x^1 15 \text{ г/кг}$  и  $t^1 40^\circ\text{C}$ ,  $x^1 20 \text{ г/кг}$ . Обозначения: 1-2, 3-4 – процесс осушения воздуха в абсорбере; 2-3, 2-5 – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО;  $7^1, 7^2, 7^3, 7^4$  – охлажденная в ГРД вода  $t^2_{\text{ж}}$  (ГРД, АБР-ГРД, АБР-НИО-ГРД, АБР1-НИО-АБР2-ГРД)

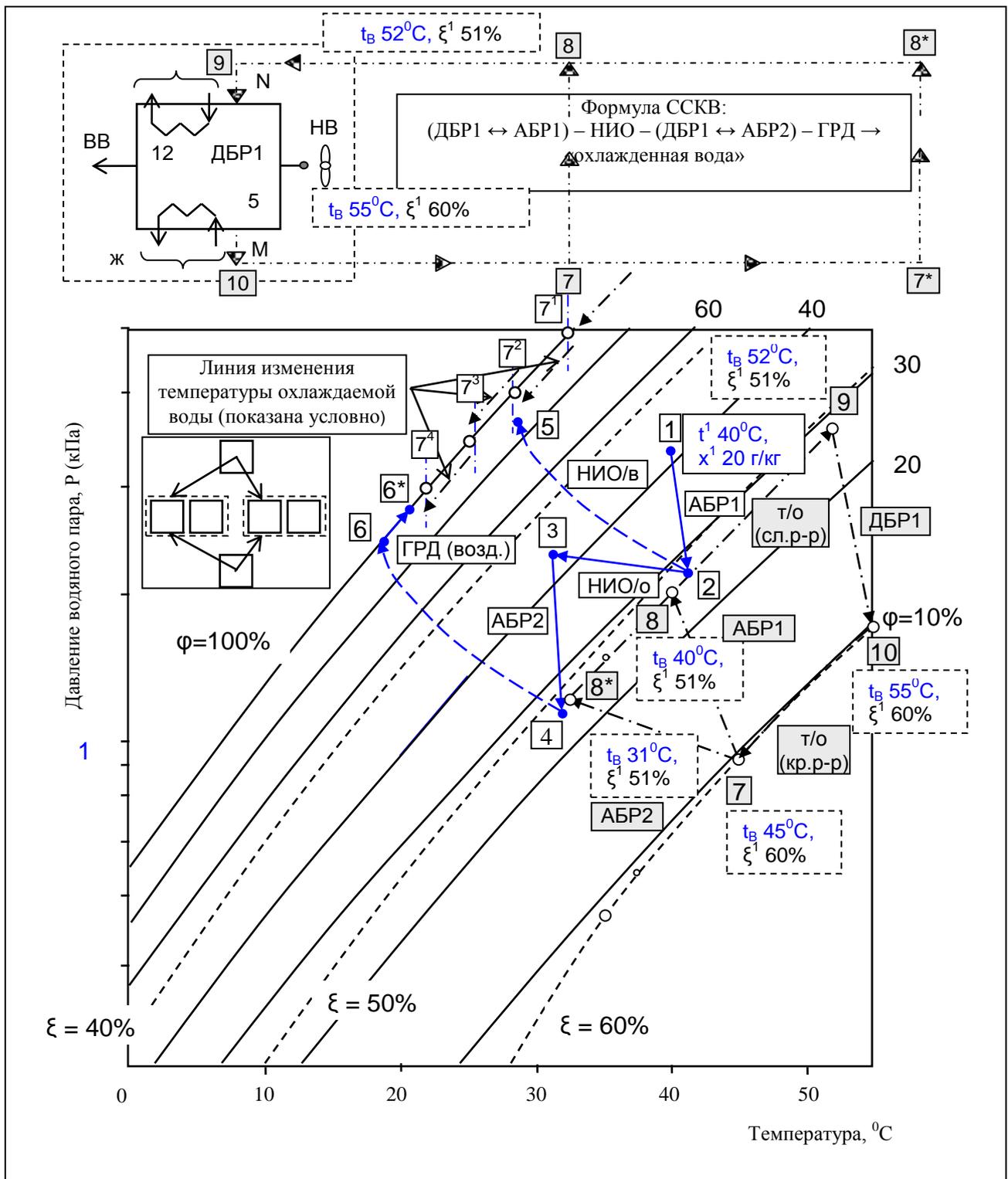


Рисунок 2-. Изображение процессов в СХС на совмещенной диаграмме р-Т для раствора LiBr+ – влажный воздух (формула АБР1-НИО1-АБР2-ГРД, схема по рис. 1А, НВ:  $t^1 40^\circ\text{C}$ ,  $x^1 20 \text{ г/кг}$ ). Показаны: 1-2 и 1\*-2\* – процессы осушения воздуха в ступенях абсорбера АБР1 и АБР2; 2-4(1\*) (основной возд. поток) и 2-5 (вспомогат. возд. поток) – процессы в испарительном охладителе непрямого типа НИО1; 2\*-4\* и 2\*-6-6\* – процессы в испарительном охладителе непрямого типа НИО2; 7-8(8\*)-9-10 – процессы изменения состояния раствора абсорбента в абсорбере (7-8, АБР1) и (7-8\*, АБР2) теплообменнике (8-9, 8\*-9 и 10-7) и десорбере (9-10)

Формула СХС: НВ → (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД →  
 → «охлажденная вода» (повышение концентрации от АБР1 к АБР2)

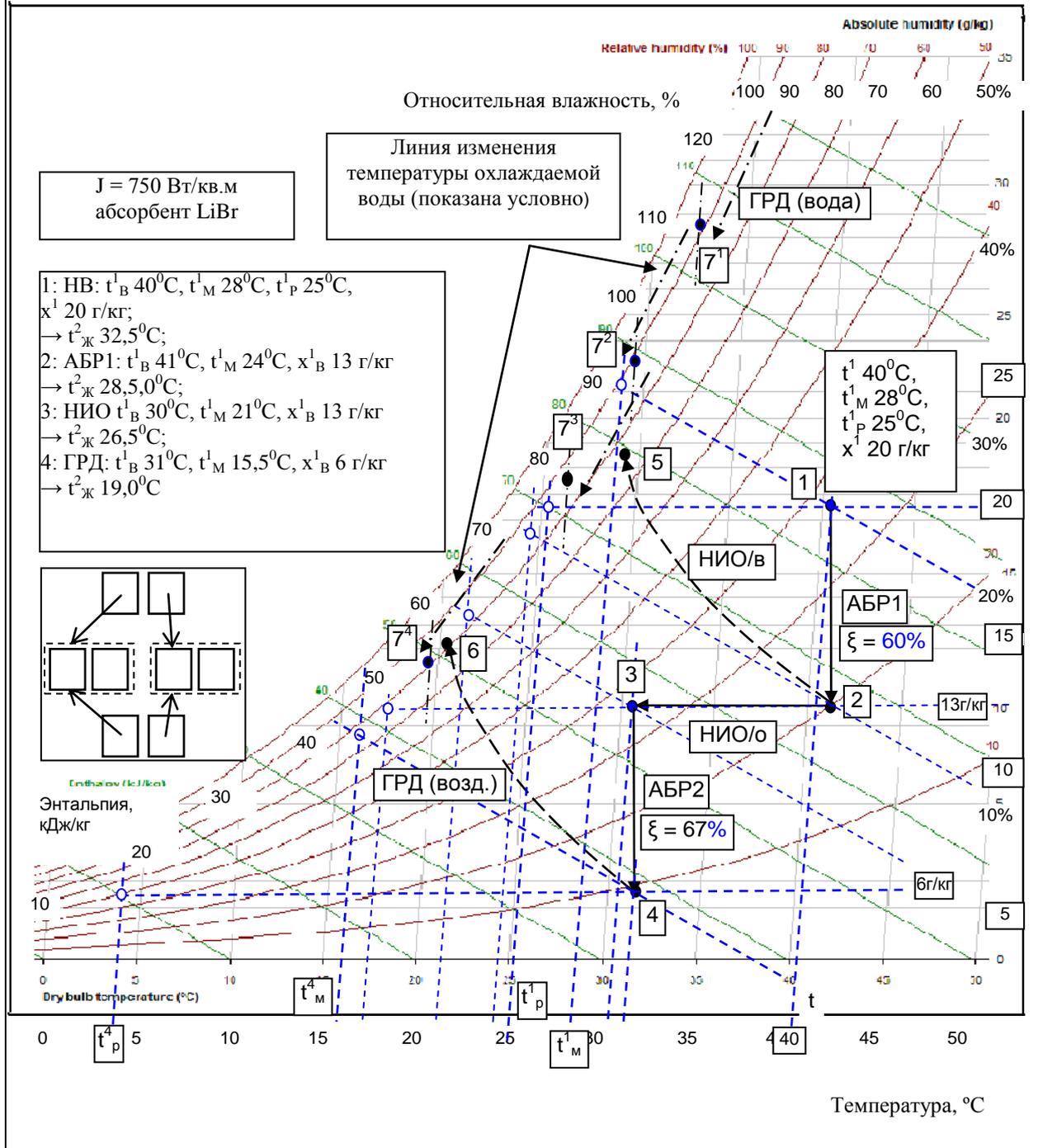


Рисунок 3-. Принципиальные возможности разработанных СХС, (формула (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД); концентрация абсорбента по первому и второму каскадам АБР-ИО соответственно 60 и 67% (схема на рис. 3А).

Формула СХС: НВ → (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД →  
 → «охлажденная вода» (повышение концентрации абсорбента до 69 - 75%)

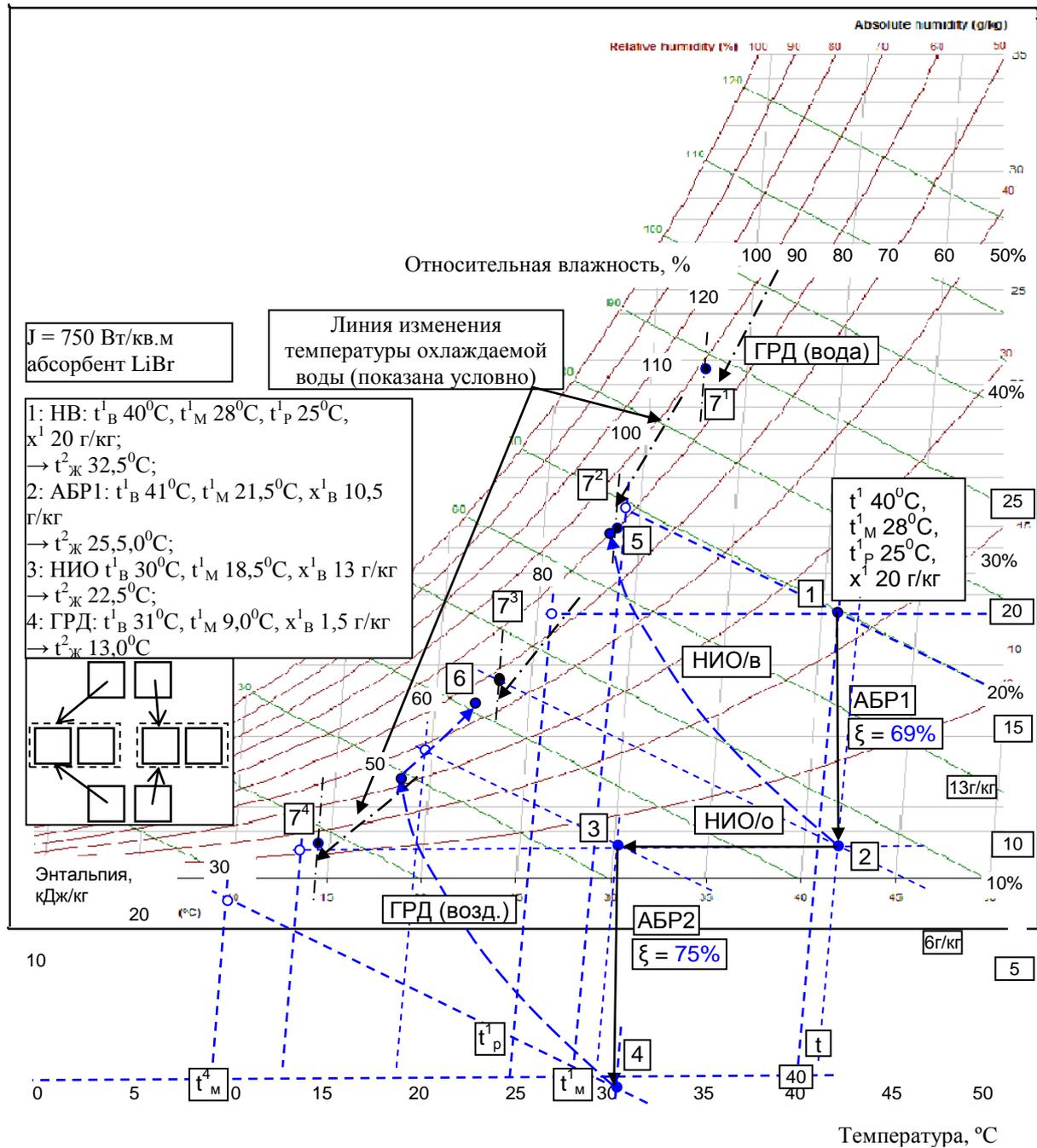


Рисунок 4-. Принципиальные возможности разработанных СХС, (формула (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД); концентрация абсорбента по первому и второму каскадам АБР-ИО соответственно 69 и 75% (схема на рис. 3).

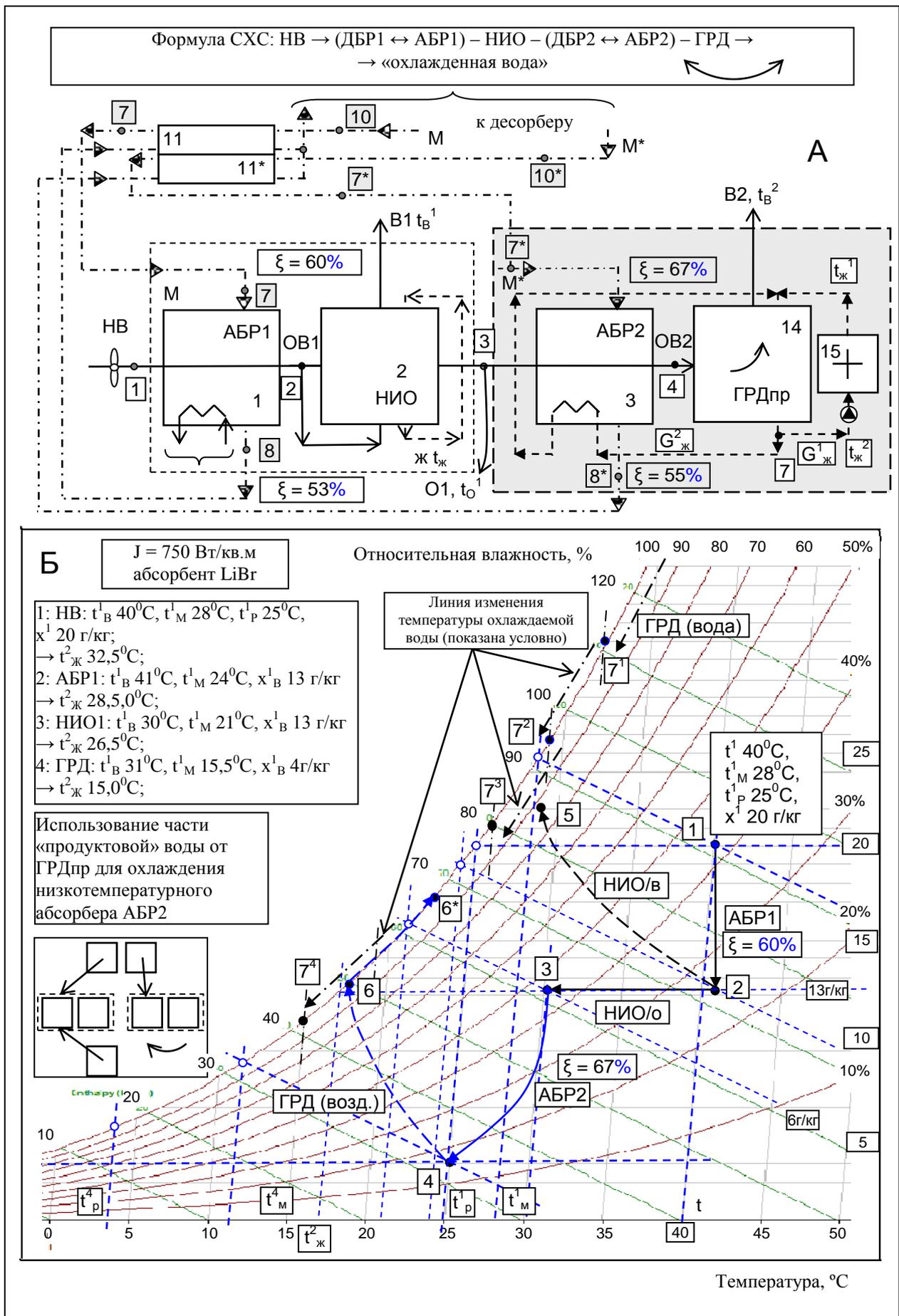


Рисунок 5-. Анализ СХС по формуле (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД (схема на рис. 3.Б)

**БИОСЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В МОЛОКЕ**

*Какимова Ж. Х.<sup>2</sup>, к.т.н., Утегенова А.О.<sup>3</sup>, докторант., Ашкенова З.Н.<sup>1</sup>, магистрант  
ГУ имени Шакарима г. Семей, Казахстан  
E-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru, asia\_aksu@mail.ru*

В настоящее время серьезное внимание уделяется проблеме загрязнения кормов и пищевых продуктов посторонними или чужеродными, веществами, многие из которых являются токсичными для животных и человека, а некоторые опасны с точки зрения отдаленных последствий, так как обладают гепатотропным, канцерогенным и мутагенным действием. К чужеродным веществам молока, имеющим значение с точки зрения охраны здоровья человека, относится широкий круг веществ: антибиотики, пестициды, токсичные элементы, радионуклиды, нитраты, нитриты, полициклические ароматические углеводороды, хлорированные бифенилы, микотоксины, бактериальные яды и др. Помимо токсичности многие из этих веществ обладают свойством нарушать ход технологических процессов при выработке молочных продуктов, что приводит к снижению их качества и пищевой ценности. Для обеспечения безопасности населения необходимо контролировать остаточные микрочисла инсектицидов в продуктах питания [1].

Для определения чужеродных веществ в продуктах питания в последние годы наиболее часто применяют хроматографические методы: высокоэффективную жидкостную хроматографию, тонкослойную хроматографию, жидкостную хроматографию и их сочетание с масс-спектрометрической или флуоресцентной детекцией.

Хроматографические методы обладают, как правило, достаточно высокой чувствительностью обнаружения и относительно высокой избирательностью. Тем не менее проведение определений этими методами занимает много времени, зачастую требует операций пробоподготовки, в том числе и процедуры предварительной концентрации [1,2].

Анализ литературных данных показывает, что методы количественного определения пестицидов постоянно находятся в поле зрения исследований ученых. Хроматографические методы относятся к наиболее распространенным методам идентификации пестицидов, в то же время эти методы определения пестицидов имеют недостатки: сложная пробоподготовка образцов, трудоемкость, высокие требования к квалификации персонала и значительная стоимость применяемого оборудования [2].

Целью данной работы является разработка биосенсоров для определения пестицидов в молоке и молочных продуктах.

Биосенсоры – аналитические устройства, в состав которых входят биохимические элементы, реагирующие с определенными веществами и находящиеся в непосредственном контакте с датчиком, преобразующим в итоге биохимический сигнал в электрический.

Биосенсорные устройства позволяют проводить экспрессное определение загрязнителей в полевых условиях и не требуют высококвалифицированного персонала. Анализ литературы показывает, что использование биосенсорных технологий имеет определенные преимущества по сравнению с другими методами определения широкого круга биологически активных веществ [3].

Принцип детекции, реализованный в биосенсорах, основан на том, что биоматериал (ферменты, клетки, антитела и др.), иммобилизованный на физическом датчике (преобразователе), при взаимодействии с определяемым соединением генерирует зависимый от его концентрации сигнал, который регистрируется преобразователем электрохимического, оптического или иного типа и после обработки данных представляется в численном виде.

Простота устройства, оперативность, специфичность и низкая стоимость биосенсорного анализа создают развитию этой области аналитической биотехнологии высокую степень приоритета.

Характеристики биосенсоров - чувствительность, время отклика, линейный диапазон, предел обнаружения, селективность и специфичность совпадают с таковыми для физических и химических датчиков. Относительно специфической характеристикой биосенсора является время его жизни; чувствительность биосенсоров со временем уменьшается из-за деструкции биологического материала. Понятно, что время жизни зависит от условий хранения и эксплуатации датчика (температуры, pH, применяемых консервантов) [3,4].

Принципы работы биосенсора достаточно просты. Определяемое вещество диффундирует через полупроницаемую мембрану в тонкий слой биокатализатора, в котором и протекает ферментативная

реакция. Поскольку в данном случае продукт ферментативной реакции определяется с помощью электрода, на поверхности которого закреплен фермент, то такое устройство еще называют ферментным электродом.

Следует отметить, что характер ферментативной реакции зависит от природы фермента, типа его каталитического действия. Среди ферментов можно выделить оксидоредуктазы, осуществляющие реакции окисления и восстановления, гидролазы, катализирующие гидролиз, трансферазы [4].

Важно отметить, что при конструировании биосенсора увеличение продолжительности действия фермента становится основной задачей. Дело в том, что нативный фермент сохраняет свои свойства лишь в течение относительно короткого времени. Поэтому была разработана операция так называемой иммобилизации фермента. В ходе иммобилизации с помощью специальных реагентов фермент «закрепляют» либо на поверхности адсорбентов, например силикагеля, угля или целлюлозы, либо вводят в пленку пористого полимера, либо ковалентно, то есть с помощью химических связей, «пришивают» к какой-либо подложке [5].

Существуют два основных типа биосенсоров.

Первый тип – биоаффинные биосенсоры. В этом случае молекулы биополимера, образующие чувствительный элемент, «узнают» молекулы вещества, находящиеся в анализируемом растворе. В результате взаимодействия между этими молекулами (комплексообразования) свойства молекул биодатчика (цвет, форма и т. д.) меняются. Такое изменение свойств представляет собой «сигнал» для системы, причем величина «сигнала» должна быть пропорциональна концентрации исследуемого вещества.

Второй тип – фермент-метаболитные биосенсоры. В этом случае молекулы фермента, образующие чувствительный элемент, «узнают» молекулы субстрата, присутствующего в растворе. Продукт реакции, появляющийся в результате взаимодействия фермент-субстрат, представляет собой «сигнал» для системы, причем величина «сигнала» должна быть пропорциональна концентрации анализируемого субстрата [6].

Анализируемая смесь узнавание

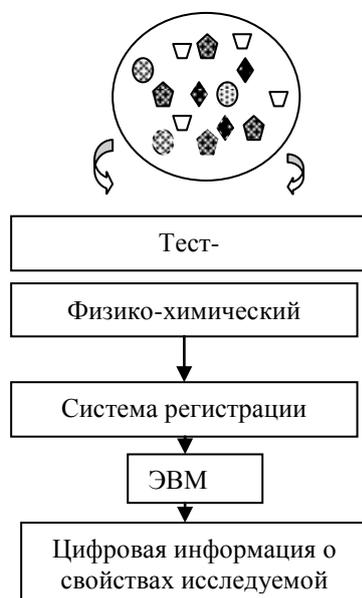


Рисунок 1 - Обобщенная схема построения биосенсорных устройств

Важнейшим элементом любого биосенсора является биологический чувствительный элемент (биоспецифическая поверхность, био-датчик, тест-объект. В целях унификации терминов в дальнейшем изложении материала будет употребляться последний термин – тест-объект). Можно сказать, что тест-объект – это ансамбль биологических молекул, который отражает свойства исследуемой среды в виде характерного «сигнала». Специфичность тест-объекта определяется эффективностью реакции «узнавания» [6].

Анализ литературы показывает, что использование биосенсорных технологий имеет определенные преимущества по сравнению с другими методами определения широкого круга биологически активных веществ. К преимуществам биосенсоров относятся:

1. Достаточно высокая специфичность анализа, которая исключает предварительную обработку исследуемых образцов;
2. Возможность анализа малых объемов образцов в сочетании с быстротой проведения определения;
3. Возможность контроля за результатами анализа в отдаленных районах, производимых молоко;
4. Отсутствие требований к высокой квалификации персонала, проводящего анализ, что обусловлено простотой самого анализа;
5. Относительно низкая стоимость биодатчиков.

В биосенсорных устройствах используются физико-химические преобразователи различных типов; оптические, акустические, кондуктометрические, калориметрические, электрохимические.

Нами был выбран электрохимический метод-потенциометрический, т.е. для определения пестицидов мы использовали лабораторный рН-метр, по типу распознающего материала, в своей работе мы использовали ферменты – холинэстеразу, которую иммобилизовали методом кросс-сшивки.

Экспериментальные исследования по иммобилизации ферментов проводили на кафедре Стандартизации и биотехнологии, в лаборатории биопрепаратов.

Для определения фосфорорганических пестицидов использовали модельные растворы, приготовленные из молока введением фосфорорганического пестицида - хлорофоса. Для этого в молоко вводили определенное количество хлорофоса:  $0,76 \times 10^{-3}$  ммоль;  $3,8 \times 10^{-3}$  ммоль;  $8,5 \times 10^{-3}$  ммоль;  $15 \times 10^{-3}$  ммоль;  $30 \times 10^{-3}$  ммоль;

Определение фосфорорганических пестицидов в молоке проводили в следующей последовательности. Образцы молока в количестве 50 мл, предварительно обработанные раствором хлорофоса, помещали в коническую колбу  $V=250$  мл. перемешивали в течение 3 часов и оставили под тягой на одни сутки. Затем добавляли индикатор 0,1 М сульфата натрия в количестве 0,02 мг. Далее смесь термостатировали 30 минут при  $37^\circ\text{C}$ . После термостатирования добавляли 2 %-ый раствор субстрата (Ацхолин) в объеме 0,5 мл, 5 мл фосфатного буферного раствора ( $\text{pH} = 7,8$ ), смесь снова термостатировали 30 минут при  $37^\circ\text{C}$ . Раствор перемешивали в течение 5 мин до установления равновесия распределения субстрата с помощью магнитной мешалки и измеряли рабочий сигнал биосенсора в рН-метре. Отликом служила разность величин тока окисления холина и фонового тока.

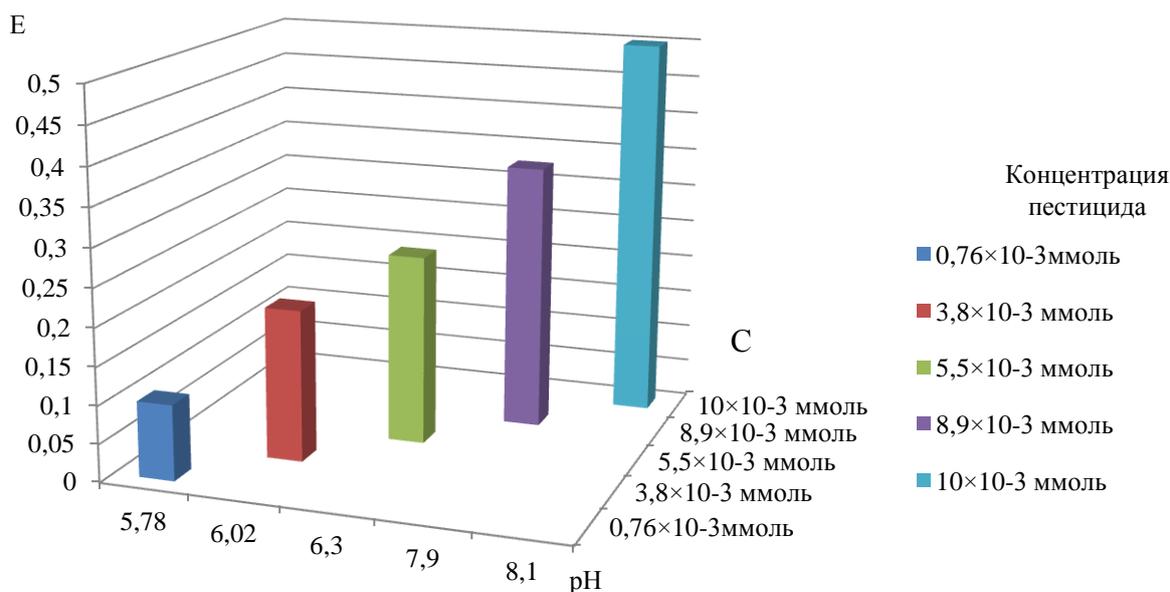


Рисунок 2 – Зависимость отлика потенциометрического биосенсора

Из графика видно, что чем выше значение рН, тем больше концентрация фосфорорганических пестицидов в молоке.

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных работ по определению фосфорорганических пестицидов разработана экспериментальная модель потенциометрического ферментного биосенсора, который состоит из рН-метра со стеклянными электродами, на которые нанесен иммобилизованный фермент - холинэстераза, позволяющая расширить диапазон определяемых концентраций пестицидов, увеличить коэффициент чувствительности ферментов, получить более воспроизводимые результаты по сравнению с традиционными методами определения пестицидов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение.- М.: Химия, 1987. –712 с.
2. Методы определения микроколичеств пестицидов./ Под ред. Клисенко М.А. – М.: Колос, 1977, – 367 с.
3. Варфоломеев С.Д. Гуревич К.Г. Биокинетика. Практический курс М.: Фавр-Пресс, 199.-720 с
4. Биосенсоры: основы и приложения / Под ред Э. Тернера и др. М.: Мир, 1992.-614с.
5. Кулис Ю. Ю. Аналитических системы на основе иммобилизованных ферментов. Вильнюс: Мокслас, 1981. – 200 с.
6. Кудряшов А.П. Биосенсорные устройства: Курс лекций. Мн:БГУ, 2003. – 113 с.

УДК 62-71

### **ВЫБОР СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МАГНИТРОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ УСТАНОВКИ**

*Бошкова И.Л., д.т.н., Потапов М.Д., к.т.н., Ачилов Ю, магистр  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: ira\_boshkova@mail.ru, dornot@te.net.ua, ira\_boshkova@mail.ru*

В последнее десятилетие микроволновой (диэлектрический) нагрев с использованием энергии переменного электромагнитного поля микроволнового диапазона начинает широко использоваться в различных отраслях промышленности [1,2,3]. Усиление интереса к конструированию промышленных микроволновых устройств не в последнюю очередь связано со значительным удешевлением комплектующих элементов для микроволновых устройств, в настоящее время ее стоимость может быть сравнима с техникой, реализующей обычные методы нагрева [4]. Однако при этом не решены некоторые важные технические вопросы, что тормозит внедрение микроволновых технологий. К одному из таких вопросов относится проблема обеспечения теплового режима генератора микроволновой энергии, в частности, магнетрона. Этому вопросу уделяется большое внимание, т.к. при несоблюдении требований по тепловым режимам генератор быстро выходит из строя, что вызывает большие проблемы, связанные с его покупкой и заменой. Выпускаемые магнетроны, являясь одним из определяющим и дорогостоящим узлом микроволнового устройства, из-за несоответствия условий работы с требованиями по тепловым режимам часто выходят из строя, что мешает продвижению на рынок новой техники.

Целью работы является выбор и обоснование системы охлаждения, способной обеспечить тепловой режим анодного блока магнетрона при его длительной работе, что предусмотрено при эксплуатации микроволновой техники промышленного назначения.

Объектом исследования являются процессы теплопередачи в системе охлаждения анодного блока магнетрона.

Предмет исследования – тепловые режимы системы охлаждения магнетрона.

Одним из важных этапов проектирования, определяющим направление всей разработки системы обеспечения тепловых режимов (СОТР), является выбор схемного решения, которым устанавливается вид расположения по гидро- (аэро-) трактам функциональных элементов системы и объекта охлаждения [5]. Рассмотрев и проанализировав существующие схемы и особенности теплоотвода для различных случаев, в качестве базовой была выбрана система жидкостного охлаждения. Этот выбор был основан на следующих положениях:

1. Плотность теплового потока составляет  $1.68 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup> на поверхности анодного блока. Для отвода тепловой нагрузки такого уровня наиболее предпочтительна система жидкостного

охлаждения. Магнетроны с рассматриваемым уровнем мощности также охлаждаются с помощью воздушной системы, однако не могут длительное время работать в непрерывном режиме из-за возможности перегрева.

2. В системе жидкостного охлаждения (СЖО), в отличие от системы воздушного охлаждения (СВО), температура теплоносителя на входе в рубашку охлаждения постоянна.

3. Благодаря замкнутому контуру исключена возможность попадания частиц в рубашку охлаждения и забивание каналов, что является еще одним преимуществом по сравнению с СВО.

4. В отличие от испарительной системы охлаждения (ИСО), которые отличаются высокой эффективностью теплоотвода, в СЖО исключается образование накипи в каналах охлаждения.

5. Для СЖО ориентация в пространстве не имеет решающего значения, в отличие от ИСО. Это также облегчает условия транспортировки.

Схема СЖО для рассматриваемого МВ-устройства приведена на рис. 1.

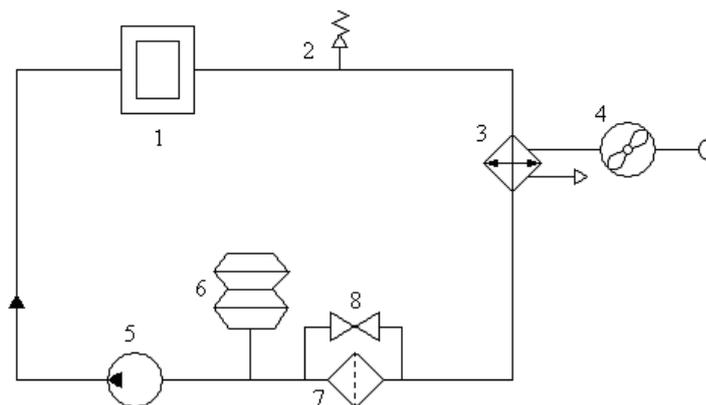


Рисунок 1 – Система жидкостного охлаждения микроволнового устройства. 1 – магнетрон; 2 – предохранительный клапан; 3 – воздухо-жидкостной теплообменник; 4 – вентилятор; 5 – насос; 6 – расширительный бачок; 7 – фильтр механический; 8 – байпасный вентиль.

Для организации теплоотвода от поверхности с помощью СЖО требуется заменить ребра, установленные ранее на магнетроне и предназначенные для СВО, на рубашку охлаждения, которая предусматривает поступление жидкого теплоносителя. Необходимость такой замены вызвана тем, что выпускаемые промышленно магнетроны рассчитаны на непродолжительную работу и поэтому комплектуются с СВО.

Для оценки величины температурных напряжений проведен расчет температурного поля в рубашке охлаждения, в ходе которого устанавливалось распределение температур теплоносителя, стенки рубашки охлаждения и поверхности анодного блока магнетрона по длине канала в рабочем режиме. Плотность отводимого теплового потока составляла  $q=1,68 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>, теплоносители: вода и тосол.

Исходные данные для расчета:

$N_m=2200$ , Вт – мощность одного магнетрона;

$\eta=0.75$  - К.П.Д. магнетрона;

$Q=N_m(1-\eta)=550$ , Вт – отводимое количество теплоты;

$d_a=0.046$ , м -- наружный диаметр анодного блока;

$d_z=0.052$ , м – внутренний диаметр зазора;

$D_z=0.055$ , м – наружный диаметр зазора;

$d_r=0.058$ , м – внешний диаметр рубашки охлаждения;

$\delta_z=0.0015$ , м – толщина зазора;

$h_z=0.02$ , м – ширина зазора;

$t_a=120$ , м – максимально допустимая средняя температура поверхности анодного блока.

Анодный блок и рубашка охлаждения изготовлены из меди,  $\lambda_b=400$  Вт/(мК).

Теплоноситель – вода (при температуре окружающей среды от 5 до 50 °С) и тосол (при температуре окружающей среды от –20 до 5 °С). Тепловой расчет проводится при максимально возможной температуре окружающей среды, равной  $t_{o,c}=50$  °С.

На основании тепловых расчетов установлено, что максимально допустимая температура воды составила  $104.1^{\circ}\text{C}$  – при этом будут выполняться требования, согласно которым температура поверхности анодного блока не должна превышать  $120^{\circ}\text{C}$ . Максимально допустимая температура для тосола составила  $113^{\circ}\text{C}$ . Достижение максимально возможной температуры должно фиксироваться и выводиться на панель управления. Поддержание высокой (порядка  $87^{\circ}\text{C}$ ) температуры теплоносителя на входе в рубашку охлаждения способствует наиболее эффективному теплосъему в теплообменнике. Термические напряжения, развиваемые в материале анода, будут незначительны для его прочностных характеристик.

Для обеспечения безаварийной работы СЖО снабжена датчиками давления, температуры и расхода. Гидравлическая схема СЖО, принятая в расчете, представлена на рис. 2. Цифрами показаны участки, на которых рассчитывались потери напора.

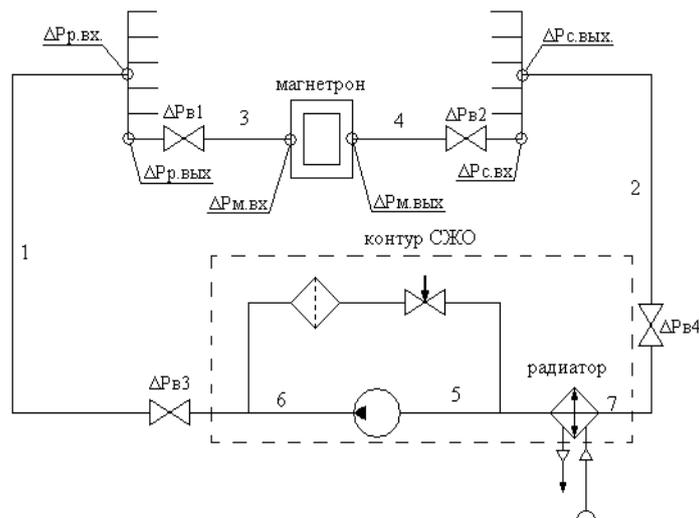


Рисунок 2 – Гидравлическая схема системы жидкостного охлаждения анодного блока магнетрона

Расчеты показывают, что суммарные потери давления невелики и составляют  $0,842$  м (вода). Конструктивно СЖО выполнена с учетом возможности легкой замены деталей и подключения к микроволновому устройству. Избыточное давление в контуре составляет  $0,52$  атм., что исключает возникновение поверхностного кипения и возможность образования накипи.

Оптимальным вариантом СОТР для микроволнового устройства, предназначенного для термообработки диэлектрического материала при непрерывной и длительной работе, является система жидкостного охлаждения с замкнутым контуром циркуляции.

Поддержание высокой (порядка  $87^{\circ}\text{C}$ ) температуры теплоносителя на входе в рубашку охлаждения способствует наиболее эффективному теплосъему в теплообменнике.

Максимально допустимая температура воды составила  $104.1^{\circ}\text{C}$ , для тосола –  $113^{\circ}\text{C}$ , при этом будут выполняться требования, согласно которым температура поверхности анодного блока не должна превышать  $120^{\circ}\text{C}$ .

Потери давления в контуре СЖО составляют  $0.8$  м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тучный, В.П. Микроволновые технологии в современной структуре технического прогресса [Текст] / В.П. Тучный // Сб. Микроволновые технологии в народном хозяйстве, Одесса-ОКФА. – 1996. – С. 6-12.
2. Advances in Agricultural Science and Technology. Volume 1. Advances in Bioprocessing Engineering. [Text] / Editors Xiusheng Harrison Yang, Juming Tang. World Scientific. . – 2002. – 172 p.
3. Калинин, Л.Г., Новые технологии обработки продовольственных товаров как факторы улучшения их качества [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Научные и практические аспекты совершенствования качества продуктов питания. Одесса, 24-26 ноября. – 1999. – С. 51-54.
4. Giese, J.. Advances in microware food processing [Text] / J. Giese // Food Tech. – 1992. – Vol. 46. – No. 9. – P. 118-123.
5. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / Г. Н. Дульнев. М.: Высш. шк., 1984. – 240 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

*Ким И.А.<sup>2</sup>, к.т.н., Мустамбаев Н.К.,<sup>3</sup> Бурая М.В.<sup>1</sup>, студент  
Костанайский государственный Университет имени им. А. Байтурсынова, Казахстан  
Алматы менеджмент университет, Республика Казахстан  
Алматинский технологический университет, г.Алматы, Республика Казахстан,  
E-mail: burayam@list.ru*

В XX столетии в питании людей произошли существенные изменения. В пищевом рационе стали преобладать рафинированные продукты, резко возросло потребление продуктов животного происхождения и снизилась доля овощей и фруктов. Присоединившаяся гиподинамия довершила картину: от переедания и малоподвижности человек стал болеть тяжело и часто.

Повседневная еда должна быть простой и здоровой, преимущественно молочно-растительной. Ведь продукты растительного происхождения являются основным источником витаминов, минеральных и пектиновых веществ, клетчатки, органических кислот, катализаторов, стимуляторов органов пищеварения, кровообращения, мочевыделительной системы.

О такой прекрасной ягоде, как виноград, мы знаем давно. Ещё древние римляне почитали бога вина Бахуса, который преподносил своему народу прекрасный урожай. Открытие археологов просто поражают. Они доказали, что виноград выращивали ещё около 7 тысяч лет назад. Сам виноград состоит из побегов, которые называются лозой, семян плодов и цветков.

В винограде содержится около 80% воды и 20% натуральных сахаров. Также стоит отметить, что плоды винограда имеют высокую питательность для человеческого организма (1,2 ккал/кг). В составе клеточного сока винограда содержится от 16 до 35% сахара, главным образом глюкозы и фруктозы. Кроме того, в клеточном соке содержится от 0,5 до 1,4% таких кислот, как винная, яблочная, лимонная, щавелевая, муравьиная.

Объёмное количество калия, глюкозы и солей улучшают и восстанавливают водно-солевой обмен. Всего горсть винограда может с лёгкостью стабилизировать артериальное давление. А регулярное употребление плодов этого растения является прекрасной профилактикой повышенного АД. Также виноград способен выводить слизь из дыхательных путей, а значит, его можно применять при бронхите, туберкулёзе и т.д.

Но зачастую, сохранить все полезные свойства винограда очень сложно, именно поэтому был проведен анализ существующих методов хранения винограда, а также исследование метода РГС. Целью исследования явилось описание принципа работы РГС, а также наблюдение и сравнение на примерах разных сортов винограда. Направление статьи заключается в поиске новых решений, для хранения винограда при этом основываясь на уже существующие методах.

Для того что бы описать технологию хранения винограда в условиях регулируемой газовой среды, необходимо было выяснить о существовании традиционных методов хранения винограда. Также была проведена беседа с теми людьми, которые занимаются выращиванием винограда в домашних условиях. Предметом исследования является ресурсный ассортиментный потенциал, хозяйственные и качественные показатели, определение конкурентоспособности различных сортов с целью предложения их для производства. Задачей работы является изучение следующего вопроса: охарактеризовать столовый виноград как объект изучения и осветить состояние формирования и сохранения качества винограда.

Хранение винограда — это комплекс технологических приемов, направленных на сохранность гроздей в свежем виде в течение более длительного периода без заметных изменений их качества. Хранение винограда состоит из нескольких основных этапов, которые непосредственно влияют на качество и сроки хранения данного продукта. Этапы следующие: созревания и правильное снятие гроздей винограда, приготовление помещений для хранения и соблюдения условий для хранения данного вида продукта. [4] Созревание и снятия виноградных гроздей. Гроздь винограда представляет собой сложный объект хранения. Это связано с тем, что ягоды на кисти созревают не одновременно и вследствие этого кисти надо забирать выборочно, в два-три приема. Первый сбор проводят при созревании на кусте 10–15 % гроздей, второй - через неделю, а третий - через две недели. Различают зрелость ягод техническую (товарную), физиологическую и полную. В фазу физиологической зрелости ягоды приобретают определенное для сорта окраску, вкус, аромат, семена

становятся буроватыми и твердыми, а содержание сахара в ягодах достигает максимума, а при технической зрелости важными показателями являются содержание и соотношение сахара и кислоты и соответствие их установленным стандартам. Чтобы определить, спелая ли гроздь, надо попробовать самую нижнюю ягоду, потому что она созревает позже верхних. Внешним ориентированным показателем наступления момента для сбора ягод также служит степень одревеснения плодоножки в грозди. Для закладки плодов на хранение ответственная работа - это снятие ягод с кустов. Собирают виноград в сухую теплую погоду или после исчезновения росы, но не в жаркое время.

Важно при уборке не стереть с ягод восковой налет, который добавляет кисти красоту и стойкость против загнивания. Грозди, предназначенные для длительного хранения, нельзя собирать в корзины, где их легко повредить. Отсортированные кисти укладывают в ящики или корзины, на дно кладут виноградные листья, располагая наклонно гребнями вверх в один слой, выдерживают 15–20 минут на солнце и переносят на хранение. Гроздья подвешивают для подсушивания воздухом в течение двух часов. Ягоды винограда, которые отбираются на сохранение, должны быть созревшими и с более твердой кожицей. Для сохранения целесообразно заготавливать виноград, который содержит не менее 20 % сахара, так как в нем потери меньше, чем у столового винограда с меньшей сахаристостью. Помещения для хранения винограда должны быть чистым, прохладным, хорошо вентилируемым. Оптимальная температура для хранения от 0 до 5 °С. Более пригоден для хранения «толстокожий» столовый виноград с рыхлой гроздью. Как хранилища используют любые сухие, хорошо проветриваемые помещения, в которых можно поддерживать постоянную температуру не ниже 0 °С и не выше + 8 °С и влажность воздуха 90–95 %. Наиболее пригодны для этой цели хорошо утепленные чердачные помещения, сараи и другие помещения, важно, чтобы в таких помещениях не было посторонних запахов, плесени и насекомых. Их заблаговременно прокуривают серой, сжигая 0,5 г серы на 1 м<sup>2</sup>, белят известью или обрабатывают 5 % -ным раствором железного купороса.

Для удаления лишней влажности в помещение кладут немного негашеной извести. [1] Виноград является уникальным растением, которым восхищаются и разводят не только дачники на приусадебных участках, а и предприниматели, учитывая то, что свежий виноград пользуется достаточно большим спросом у потребителей, предприниматели, а также хозяева стараются как можно дольше сохранить сорта столового винограда свежими, ведь при правильном хранении данный продукт можно сохранить до мая месяца. Рассмотрим наиболее распространенные из них более подробно. Одним из самых простых способов хранения винограда - как можно дольше держать кисти на кустах, таким образом виноград можно хранить 1½–2½ месяца. Распространенный своеобразный способ хранения винограда - подвешивание гроздей на шпагате или на ветвях в подвалах домов, при естественной вентиляции. В таком виде виноград сохраняется почти до мая месяца. Для непродолжительного хранения в течение 15–20 дней виноград можно раскладывать на полках в неотапливаемом помещении, гроздья лучше располагать в один слой, чтобы они не касались друг друга.

Технология хранения овощей и фруктов в других странах.

В середине 30-х годов в Северной Америке ученый Роберт Смок впервые ввел определение "хранение в регулируемой атмосфере" вместо термина "газовое хранение", который использовался Киддом и Вестом. Но только после второй мировой войны (1950) началось промышленное применение регулируемой атмосферы. Итальянский инженер Бономи, который считается основателем европейской системы РГС, начал распространять практические методы ее применения. В 1951 году были построены склады с регулируемой атмосферой в Новой Англии, в 1956 году в Мичигане и Нью-Джерси, в 1958-м - в Вашингтоне, Калифорнии и Орегоне, в 1959-м - в Вирджинии. В СССР исследования по хранению в РГС проводились в 60-80-е годы прошлого столетия в Гипрониисельпроме, Институте биохимии им. А.Н. Баха, в Казахском НИИ плодоводства и виноградарства, а также в Грузии и Молдавии. . На сегодняшний день РГС распространена за рубежом, и в каждой стране есть свои особенности применения. Для улучшения результатов хранения плодов и овощей в РГС применяют различные дополнительные приемы и материалы. Например, в Италии был запатентован процесс технологии хранения продукции, основанный на использовании известного количества газообразной и твердой углекислоты. Принцип хранения в МГС в этом случае заключается в том, что в упаковку с полупроницаемыми свойствами или газоселективным элементом дополнительно вкладывается некоторое количество «сухого льда» - твердой углекислоты. Это позволяет интенсивно воздействовать углекислым газом на продукт и установить равновесное состояние между содержимым упаковки и газовой средой внутри нее, при этом избыточное давление уравнивается растворенной фазой. На сегодняшний день РГС распространена за рубежом, и в каждой стране есть свои особенности применения. Так, в Германии применяют в основном

технологии регулируемой газовой среды с ультранизким содержанием кислорода (менее 1-1,5%) (Ultra Low Oxygen - ULO), и содержанием углекислого газа (0-2%). При хранении в атмосфере с таким низким содержанием кислорода, овощи фрукты сохраняются твердыми и свежими. Поражение плодов загаром исключено. А вот например в США, применяют РГС с технологией шоковой обработки плодов углекислым газом (CO<sub>2</sub> shock treatment). Концентрация углекислого газа в регулируемой атмосфере  $\bar{E}\Phi7\bar{E}$ , при этом, достигает 30%. Плоды, после сбора урожая и перед хранением, помещают в газовую среду с высоким содержанием углекислого газа, для замедления процессов гниения, сохранения плодов в свежем виде[9]. Газовые среды в камерах с РГС создают за счет естественного процесса дыхания плодов или искусственным путем, применяя различные виды специального оборудования. Естественным путем газовые среды формируются в течение двух-трех недель. С помощью специального оборудования, например генераторных установок, газовую среду можно создать за 2-3 дня. К преимуществам искусственной генерации газовых сред относят и менее жесткие требования к газоизоляции камер. У нас в Казахстане камеры с РГС газовые среды создают в основном искусственным путем, в том числе и для винограда. При таком способе камеры с РГС можно загружать частично и вести реализацию плодов партиями, так как требуемый газовый состав создается за короткий срок [8].

Хранение винограда в регулируемой газовой атмосфере.

Хранение винограда осуществляется в холодильниках или в регулируемой газовой среде (РГС), также в последнее время все большее распространение получает замораживание винограда, как наиболее прогрессивный способ хранения сортов столового винограда (см. рис.1 и табл. 1). Формулы составов газовой среды для хранения различных сортов винограда.

Таблица 1 – Формулы составов газовой среды для хранения различных сортов винограда

Сорт	Состав среды	
	Углекислый газ, %	Кислород, %
Агадаи	3	5
Тербаш	3	3
Нимранг	3	3
Асма	8	5
Шабаш	8	5
Ризага	5-8	5
Мускат Гамбургский	5-8	3
Италия	5-8	3-5
Молдова	5-8	3-5
Кара изюм ашхабадский	5-8	3-5
Карабурну	3	2-3

Точный процент углекислого газа и кислорода зависит от сорта винограда. Например, урожайный мускат гамбургский хранится при 8-процентном содержании CO<sub>2</sub> и 3-процентном кислороде. Столовый сорт Карабурну требует не более 3 % углекислого газа и 2-3 % кислорода.

Технология хранения винограда в холодильниках [3]. Отсортированный и упакованный столовый сорт винограда в тот же день необходимо поставить в холодильные камеры. Задержка приводит к ухудшению качества ягод и увеличение отходов при хранении. Особенно вредно оставлять виноград на плантациях, где он подвергается воздействию солнечных лучей, ветра, росы и других неблагоприятных факторов. Каждый день задержки сокращает срок хранения на 1–1,5 месяца, а кисти, которые простояли в поле 3–4 суток даже под брезентом, становятся непригодными для длительного хранения. Размещать виноград в камерах надо с учетом его лежкости: более лежки сорта и партии загружают дальше, а менее лежки — ближе к выходу. Это позволяет при необходимости быстро провести реализацию. В камерах ящики с виноградом устанавливают штабелями между торцами ящиков оставляют щели для вентиляции (8 -10 см). В холодильных камерах штабеля размещают на расстоянии 60 см от охлаждающих приборов, ближе размещение может привести к подмерзания ягод, кроме того, приведенный резерв площади вблизи батарей имеет и аварийное значение. У стен, не имеющих охлаждающих приборов, достаточно оставить пространство для циркуляции воздуха, не более 30 см, последний ряд ящиков должен быть на уровне верхних труб батарей, но не ближе 60 см от потолка. Это обеспечивает нормальную циркуляцию воздуха, штабеля надо размещать так, чтобы трубы, по которым проходит воздух, размещались над проходами, иначе влага, конденсируется на железных трубах, может попасть на виноград и вызвать его порчу.

Виноград с плантации поступает в хранилище теплым, поэтому чем скорее снизится температура, тем меньше будут потери при хранении, охлаждение кистей зависит от разницы температуры винограда и окружающей среды, скорости движения воздуха, упругости холодильных установок, способ упаковки и тп. Наиболее интенсивно оно в первый период, когда разница температур воздуха и продукта наибольшая, в дальнейшем охлаждение замедляется, температуры 0 кисти винограда достигают на 4–5 день [6]. Чем меньше доступ воздуха к продукции и слабее его движение, тем дольше грозди будут охлаждаться. Во время загрузки для предупреждения возникновения точки росы рекомендуется проводить предварительное охлаждение продукции, с этой целью в холодильных камерах устанавливают температуру 2–4, а в камере предварительного охлаждения, где с помощью вентиляторов создается постоянная циркуляция воздуха, поддерживают температуру 4–5. Виноград размещают сначала в камере предварительного охлаждения на 10–12 часов, после этого его переносят в помещение для постоянного хранения, где поддерживают температуру, оптимальную для данного сорта и района его выращивания.

Такая технология загрузки нужна в хранилищах с камерами больших емкостей, которые заполняются в течение 5–7 дней, или в случае вынужденной задержки с закладкой гроздей столовых сортов винограда на хранение. Камеры вместимостью до 50 т, которые при нормальном поступлении винограда загружаются за 1–2 дня, не требующих соблюдения приведенного выше режима, в них устанавливают температуру 7–10 °С и завозят кисти непосредственно с плантации. В заполненных камерах поддерживают оптимальные температуру и влажность воздуха. В это время с камер нужно удалить не только тепло, которое проникает извне и выделяется при дыхании, но и большое количество энергии, аккумулированной гроздьями на плантации, чем скорее охлаждаются кисти до нужной температуры, тем меньше будут потери и длительным период хранения. После того, как в хранилище установится температура 0–2°С, работа холодильных агрегатов сводится к отводу тепла, выделяемого при дыхании и защиты продукции от тепла окружающей среды. Согласно установленному графику один раз в неделю проводят фумигацию, сжигая по 0,5–1,5 г серы на 1м<sup>3</sup> помещения, и обзор продукции для определения ее качества. Во время фумигации баллон кладут на пол, поднимая дно на подставку высотой 25–30 см. Это обеспечивает подачу сернистого газа за счет собственного давления.

В последние годы особое внимание уделяют вопросу хранению винограда в регулируемой газовой среде (РГС), это позволяет продлить период хранения на 1,5–2 месяца, в 2–4 раза снизить затраты, сохранить качество продукции. Применение РГС даже искусственным способом, позволяет продлить срок хранения кистей некоторым сортам столового винограда в среднем до 186 дней вместо 147 дней в обычном холодильнике. Следует отметить, что лучшим для хранения практически всех исследуемых сортов является состав атмосферы 5 % CO<sub>2</sub>, 5 % O<sub>2</sub> и 90 % N<sub>2</sub>, в этих условиях потери продукции уменьшаются в 3–4 раза. Сорт Италия хорошо сохраняется при составе атмосферы: 8 % CO<sub>2</sub> и 3 % O<sub>2</sub> (таблица 1). Преимущество хранения гроздьев столового винограда в РГС еще и в том, что регулируемый состав среды позволяет лучше сохранить продукцию в неблагоприятные по метеорологическим условиям погоды. Доказано, что перспективными для хранения в РГС оказались также сорта Мускат и Италия. Закладка винограда в РГС способствует сохранению товарных качеств кистей столового винограда и продлевает срок их хранения в холодильнике. Экономические расчеты показали, что при применении РГС оптимального состава дополнительную прибыль в расчете на 1 т винограда растёт в зависимости от сорта. Итак, как было установлено и исследовано, что одним из преимуществ хранения винограда в ГРС является то, что для каждого сорта винограда выбирают отдельное соотношение газов, позволяет как можно дольше сохранить виноград, не меняя его потребительских свойств.

Если говорить о перспективе применения РГС у нас в Казахстане, следует отметить что во многих Южных регионах этот метод уже используется. Хранение плодов в РГС связано с дополнительными капитальными вложениями, в основном на герметизацию и газовое оборудование, и с текущими эксплуатационными затратами, что сдерживает широкое внедрение в производство таких хранилищ у нас в Казахстане.

Но со временем этот метод получит широкое распространение поскольку многолетние исследования показали, что хранение плодов в хранилищах с РГС, несмотря на дополнительные капитальные вложения, эффективно.

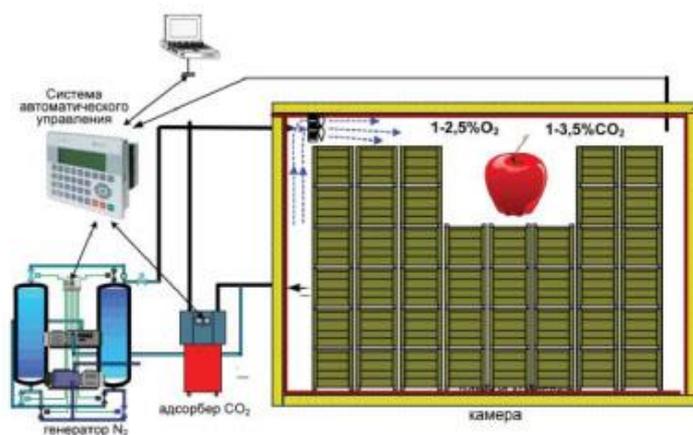


Рисунок 1 – Схема реализации технологии хранения в регулируемой атмосфере

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудковский В.А. Прогрессивные методы хранения плодов, овощей и зерна. // Материалы международной научно-практической конференции, 27-28 апреля 2004 г. – Воронеж: Кварта, 2004.
2. Калинин Ю. Журнальный вариант доклада в рамках второй международной конференции «Овощи и фрукты Украины-2005».
3. Трисвятский Л.А.. Хранения и переработка сельскохозяйственных продуктов. – М.: Агропромиздат, 1991.
4. Волкинд Л.И.. Промышленная технология хранения картофеля, овощей и плодов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
5. Широков Е. П. Технология хранения и переработки плодов плодов и овощей. – М.: Колос, 1985.
6. Федоров М.А.. Промышленное хранение плодов. – М.: Колос, 1981. – 184 с.
7. Ю. Г. Скрипников. Хранение и переработка очищенных плодов и ягод. – М.: Агропромиздат, 1986. – 208 с.
8. Тетчер Р., Буз Н. Хранение плодов в регулируемой газовой среде. – 1985. – 102 с.
9. Кидд Ф. Промышленное хранение плодов. – 1943 г. – 163 с.

УДК 577.3

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯ

*Бошкова И.Л., д.т.н., Волгушева Н.В., к.т.н.  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Украина  
E-mail: ira\_boshkova@mail.ru, n-volgusheva@mail.ru*

Исследования влияния микроволнового электромагнитного поля на семена агрокультур доказали, что при определенных условиях микроволновой обработки наблюдается значительное усиление энергии всхожести и прорастания, повышение сопротивляемости к неблагоприятным факторам окружающей среды, и, в конечном счете, увеличению урожая [1,2]. Гипотеза возникновения эффекта биостимуляции рассмотрена в [3], согласно которой данный эффект связан с улучшением транслокации питательных веществ к зародышу вследствие повышения проницаемости растительной ткани. На основании гипотезы определяющего влияния МВ поля на транспортные свойства растительной ткани, была создана методика, позволяющая оценить допустимое время воздействия МВ поля на обрабатываемый биологический материал. Представляется следующая схема протекания процессов в семенах при их МВ обработке. Вначале протекает квазиизобарный процесс в объеме растительной клетки. В то же время в замкнутых микрообъемах, содержащих молекулы воды, стремительно растет давление, что приводит к расширению микрофибрилл, вызывая увеличение проницаемости капиллярно-пористой структуры растительной ткани. При дальнейшем подводе МВ энергии, когда клетки уже не в состоянии увеличивать свой объем, начинается нарастание давления в цитоплазме, что в конечном счете приводит к нарушению целостности

клеточных оболочек. Дальнейшее пребывание семян под действием МВ ЭМП приводит к перегреву, способного нарушить структуру белковых молекул, выносу жидкости и растворенных веществ под действием градиента температуры и давления за пределы зерна, карамелизации сахаров. Последние режимы являются недопустимыми. Целью исследований являлась оценка длительности предпосевной обработки семян в микроволновом поле для достижения эффекта биостимуляции.

Объектом исследования являются эффекты взаимодействия энергии микроволнового поля с материалами животного и растительного происхождения. В случае заражения семян насекомыми-вредителями микроволновая обработка должна приводить как к биостимуляции, так и к дезинсекции. Для оценки расчетным путем длительности экспозиции в микроволновой камере составлена методика, основанная на представлении процессов преобразования микроволновой энергии во внутреннюю и на анализе ультраструктуры растительных клеток. Естественную структуру растительной клетки можно рассматривать как замкнутый объем, а комбинация таких клеток образует более сложную систему, в которой клетки контактируют с межклеточным пространством, образующим общую систему капиллярных каналов. И клеточные стенки, и мембраны в целом радиопрозрачны. Основное содержимое клеток составляет вода и растворы веществ на ее основе. Около 5 % от массы мембран составляет вода в связанном состоянии. Клеточная стенка вместе с плазматической мембраной (плазмалеммой) образуют замкнутый полупроницаемый объем. Сама по себе клеточная стенка (как правило, композиции на основе целлюлозы) содержит в своей структуре достаточно хорошо проходимые каналы (плазмодесмы), которые сообщаются с межклеточным пространством или другими клетками. При среднем определяющем размере клетки  $4 \cdot 10^{-5}$  м толщина клеточной стенки составляет  $4 \cdot 10^{-7}$  м, диаметр каналов  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  м. Высокие прочностные свойства стенки определяются упорядоченностью молекулярных цепочек полимеров целлюлозы. Можно представить клетку как замкнутый объем, а система (ансамбль) клеток представляют собой структуру, которая объединяет множество замкнутых объемов. Основное сопротивление массопереносу из объема клетки за ее пределы (а, следовательно, и всему процессу экстракции) составляют плазматические мембраны (плазмалеммы), обладающие собственной устойчивой высокоупорядоченной структурой и функционально регулирующие массо- и энергообмен клетки с окружающей ее средой, размер (толщина) мембран растительных структур порядка 0,1 нм. Клеточная мембрана эластична, через нее осуществляется поступление питательных веществ и жидкости в клетку и вывод продуктов жизнедеятельности путем диффузии и осмоса.

В общем виде расчет предлагается проводить по следующему алгоритму.

1. Для каждой расчетной единицы определить максимально допустимый объем  $V_K$  - т.е. тот объем, который может быть достигнут при термическом расширении цитоплазмы.

2. Изменение температуры в процессе увеличения объема от  $V_0$  до  $V_K$  определяется из соотношения:  $\Delta t = \frac{V_K - V_0}{\beta V_0}$ , где  $\beta$  - коэффициент температурного расширения воды с учетом влагосодержания расчетной единицы.

3. Определяется количество теплоты, поглощенной в этом процессе:

$$Q = Mc_p \Delta t + P \Delta V, \text{ Дж} \quad (1)$$

Для дальнейших расчетов с целью повышения точности рекомендуется пользоваться зависимостью, которая позволяет определить количество теплоты, затраченное на нагрев всего объема зерна массой  $M$  до расчетной температуры:

$$Q = M \cdot c \cdot \Delta t, \text{ Дж} \quad (2)$$

4. Время, в течение которого это тепло было получено:

$$\tau = Q / (q \cdot V), \text{ с;} \quad (3)$$

где  $V$  – объем материала,  $q = 0.556 \cdot 10^{-10} \varepsilon' \cdot \text{tg} \delta \cdot E^2$ , Вт/м<sup>3</sup>.

В течение этого времени рост давления не будет представлять опасности для организма, и, если температура не достигает критического значения, семена проходят стадию биостимуляции.

Далее клеточные стенки (оболочки) не в состоянии увеличивать свой объем. Внутри объекта при дальнейшем подводе энергии МВ поля начинает резко расти давление. В целом же теплота идет на увеличение температуры тела и изменение давления согласно первому закону термодинамики:

$$Q = \Delta H - V \Delta P, \text{ Дж} \quad (4)$$

Связь температуры и давления можно задать только приближенно, т.к. уравнения состояния таких сложных смесей как цитоплазма не существует. В первом приближении расчет рекомендуется проводить, приняв свойства цитоплазмы равными свойствам воды.

Пользуясь приведенной выше методикой, были проведены расчеты, целью которых было определение температуры и давления в конце процесса обработки в зависимости от влагосодержания и времени воздействия. При расчете давления предполагалось, что оболочки тела жестко фиксированы клеточными стенками, т.е. случай, наиболее характерный для спор и склероций. Расчет носит оценочный характер, однако позволяет предсказать реакцию биологического объекта на МВ-поле.

Объем растительной клетки зародыша зерна по данным [4] ориентировочно составлял  $V_0 = 3,35 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3$ . Максимально допустимый объем клетки, оценка которого проведена по данным [4], составляет  $V_K = 3,366 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3$ . Тогда изменение температуры:  $\Delta t = \frac{V_K - V_0}{\beta \cdot \bar{V}} = \frac{0,016 \cdot 10^{-14}}{2,86 \cdot 10^{-4} \cdot 3,358 \cdot 10^{-14}} = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , и при начальной температуре  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  конечная температура составит  $t_K = 36,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Теплоемкость зерна пшеницы определяется по зависимости:

$$c = 0,01[c_0(100 - w) + c_g \cdot w] \quad (5)$$

где  $w$  - влажность зерна,  $c_0$  - теплоемкость сухого материала.

Для пшеницы с влажностью  $w = 14 \%$ :

$$c = 0,01[1470(100 - 14) + 4200 \cdot 14] = 1852 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

При массе загрузки 1 кг теплота нагрева:

$$Q = M \cdot c \cdot \Delta t = 1 \cdot 1852 \cdot 26,2 = 48522 \text{ Дж}$$

Время, в течение которого это тепло было получено (мощность источника микроволнового поля – 1 кВт, объем загрузки камеры –  $1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ):

$$\tau = Q / (q \cdot \bar{V}) = 48522 / (489587 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3}) = 86 \text{ с}$$

Аналогично рассчитываются данные для других значений. Ниже приведены результаты расчетов, полученные для описанных выше исходных данных при разных влагосодержаниях.

На рис. 1 представлены результаты расчета граничной кривой по времени обработки семян пшеницы в микроволновой камере при выходной мощности магнетрона 1 кВт в зависимости от влажности.

Начальная температура материала оказывает существенное влияние на значение допустимого времени обработки, что связано с зависимостью от температуры диэлектрических характеристик и коэффициента объемного (температурного) расширения. При расчете предполагалось, что начальная температура зерна и температура окружающей среды одинаковы.

При расчете учитывалось изменение диэлектрических характеристик в зависимости от влагосодержания. Расчеты удовлетворительно коррелируются с результатами, полученными при лабораторных и полевых испытаниях семян [5].

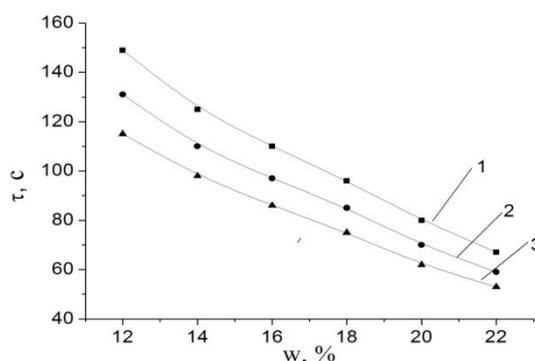


Рисунок 1 – Допустимое время микроволновой обработки семян пшеницы в зависимости от влажности: 1 – начальная температура 10 °C, 2 – начальная температура 15 °C, 3 – начальная температура 20 °C. Выходная мощность магнетрона – 1 кВт.

Часто обрабатываемые семена содержат насекомых-вредителей и фитопатогены, влияние на которых микроволнового излучения будет различно. Для расчета повышения температуры каждый из биообъектов должен рассматриваться отдельно. Особенности этих объектов, учитываемые при

проведении расчетов, приведены в табл. 1. Насекомые-вредители, влажность которых существенно выше, за время, в течение которого семена находятся в безопасной для своей жизнедеятельности области, нагреваются до недопустимо высокой температуры.

Таблица 2 – Исследуемые биологические объекты

Биологический объект		
Фитопатогены	Семена	Насекомые-вредители
Спора, окруженная жесткой оболочкой гифа	Растительная клетка, окруженная клеточной стенкой	Насекомое как целое без учета его внутренней структуры

Температура насекомых-вредителей, достигаемая за заданный промежуток времени, определяется формулой:

$$t_n = q \cdot V_n \cdot \tau / (m_n \cdot c_n) + t_0 \quad (6)$$

где  $m_n = 3,02 \cdot 10^{-6}$  кг (ориентировочный вес амбарного долгоносика). Электрофизические свойства насекомых при влажосодержании  $W = 60\%$ :  $\varepsilon' = 48$ ,  $tg\delta = 0.33$ ;  $W = 80\%$ :  $\varepsilon' = 64$ ,  $tg\delta = 0.25$ . Из-за высокого влажосодержания термические эффекты развиваются очень быстро. Так, в течение 85 с (длительность выдержки семян с влажностью 12 %), и принимая  $t_0 = 20$  °С, температура насекомых достигнет следующего значения:

$$t_n = 522600 \cdot 6,86 \cdot 10^{-9} \cdot 115 / (3,02 \cdot 10^{-6} \cdot 3200) + 20 = 63$$
 °С

Результаты расчетов конечных температур, достигаемых при обработке семенного материала при длительности нахождения в СВ поле, определенной по изложенной выше методике, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние начальной температуры зернового материала на конечную температуру амбарного долгоносика

Начальная температура, °С	Длительность обработки, с	Конечная температура, °С		
		Амбарный долгоносик <i>Sitophilus granarium</i> .	Рисовый долгоносик <i>Sitophilus oryzae</i> L.	Зерновой шашель <i>Rh. dominica</i> F.
10	149	66	72	63
15	131	65	71	62
20	115	63	69	59

Из анализа результатов видно, что, когда в зерне при влажности 12% проходят стимулирующие процессы, одновременно осуществляется дезинсекция.

Расчет, проведенный для спор, показал, что, вследствие их низкого влажосодержания, микроволновое поле в режимах биостимуляции не оказывает на них губительное действие. Поэтому обработка семян, зараженных черной головней, не приводила к одновременной дезинфекции. Склероции, влажосодержание которых значительно выше, могут получать повреждающий эффект.

Методика расчета допустимого времени выдержки семян в микроволновом поле позволяет количественно оценить длительность предпосевной обработки семян с целью их биостимуляции. Результаты расчета подтверждают предположение, что микроволновая биостимуляция сопровождается одновременной дезинсекцией зараженного зерна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nelson S.O. Use of microwave and lower frequency RF energy for improving Alfalfa seeds germination [Text] / S.O. Nelson // J. Of Microwave Power, 1976. – Vol. 11. – No. 3.– P. 271-277.
2. Калинин Л.Г. Предпосевная обработка микроволновым полем здоровых и зараженных фитопатогенами семян озимой пшеницы как фактор повышения урожайности [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Хранение и переработка зерна, 2001. – № 8. – С. 23-28.
3. Калинин Л.Г. Физическая модель отклика растительной ткани на воздействие микроволнового электромагнитного поля [Текст] / Л.Г. Калинин, И.Л. Бошкова // Биофизика, 2003. – Т. 48 – Вып. 1. – С. 122-124.
4. Атлас ультраструктуры растительных клеток / Под ред. Козубова Г.М. и Даниловой М.Ф. – Петрозаводск.: изд-во АН СССР Карельский филиал, 1972. – 296 с.
5. Калинин Л.Г. Использование микроволнового поля для повышения урожайности полевых культур и защиты семян от вредителей и болезней [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – Одесса, 2002. – Вып. 4. – С. 8-35.

## ECONOMIC EFFICIENCY OF USE ULF EJECTOR SYSTEMS FOR THE OIL INDUSTRY

*Zhikhareva N.<sup>1</sup>, candidate of technical science., Khmelniuk M.<sup>1</sup>, DcS (Engineering)., Bushmanov V.<sup>1</sup>, post-graduate student., Butovslyi I.<sup>1</sup>, post-graduate student., Kogut V.<sup>1</sup>, candidate of technical science. Institute of Refrigeration, crio-technologies, eco-energy, Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine*

In the conditions of market economy, it is necessary to approach the choice of ways of reduction of losses of oil products taking into account not only the reached positive effect (in this case - reduction of emissions of hydrocarbons in the atmosphere), but also costs of production (acquisition) and operation of this means.

Considering feature of carrying out technical and economic calculations we will consider that the comparative economic efficiency of modernization of system defining for definition efficiency assessment as from the point of view of reduction of losses, and economic efficiency of means of modernization is. [1, 2, 7].

Some authors carry out technical and economic calculations at cost value of storage of one ton of oil products, and some - at cost value of storage of oil product in 1 m<sup>3</sup> operational tank volumes. At the same time:

$$\text{И } C_H = \frac{E}{Q}, \quad C_p = \frac{E}{V} \quad (1)$$

where  $C_H$ ,  $C_p$  – cost value of storage 1t of oil products, and oil products in 1 m<sup>3</sup> operational tank volumes respectively;  $E$  – operational costs in one year;  $Q$  – turnover of the tank in a year.

As cost value of storage is equal to the work of cost value of a unit of measure on quantity of such units, irrespective of a way of its calculation pay-back period (2) can be defined how:

$$T = \frac{K}{E_1 - E_2} \quad (2)$$

where  $K$  – the capital investments on modernization caused by the estimate;  $E_1$  and  $E_2$  – annual operational costs before modernization respectively.

Positive economic effect of application of ejector means of prevention of losses of oil product is reached only if expenses on prevention of losses of 1 t of oil product there is less its generalized cost.

Then define economic indicators of the compared tank equipped with means of reduction of losses from evaporation. Calculations carry out at storage of oil product of the same brand in the tank of the same capacity, as well as basic option.

Annual losses (3) gasolines from evaporation are equal to the sum of losses from small and big" breath", and calculate them behind the developed technique for each tank separately.

$$\Pi_1 = x\Pi_6 \quad (3)$$

where  $x$  – part of losses from the tank; capital costs:

$$K_1 = \Pi_1 K_c + \Pi_{M1} + 0,35\Pi_1 \quad (4)$$

where  $K_1$  – the accompanying capital investments consisting of expenses on mounting, transportation of system, uah;  $\Pi_{M1}$  – the cost of mounting of system of reduction of losses from evaporation (4-5% of the cost of system of reduction of losses), uah;  $\Pi_1$  – the cost of system of reduction of losses from evaporation, uah;  $K_c$  – the specific accompanying capital investments, UAH; they are calculated that for receiving 1 t of gasoline it is necessary to spend 5 t of crude oil.

Cost value of storage of gasoline in the reservoir equipped with system of reduction of losses (5) is calculated by a formula:

$$C_p^n = \frac{E_1}{V_{rz}} \quad (5)$$

Term of payback:

$$T_1 = \frac{K_1}{E_6 - E_1} \quad (6)$$

In market conditions as criterion of efficiency of investment projects of reduction of losses of oil (gasoline) from evaporation the size of the net discounted income of LCC calculated by a formula (7) is used:

$$LCC = \sum_{t=0}^{t_c} \frac{P_t - 3t}{(1+E)^t} \quad (7)$$

where  $P_t$  – cost assessment of results of implementation of the project in t-m to year;

$3t$  – cost assessment of full costs of implementation of the project in t-m to year;

$E$  – discount;

$t_c$  – period of service of the project.

Implementation of the project in t-m to year the sum of cost of the saved gasoline is result, of reduction of a payment for environmental pollution, expenses in the adjacent fields of the industry, and also assignments for depreciation and running repair.

Full costs of implementation of the project in t-m consist to year of the capital investments of  $K_t$ , assignments made in it on running repair and costs of the consumed electric power:

$$Z_t = K_t + \Xi \pi_t + \Upsilon_{rp} \cdot K_{ct} \quad (8)$$

The best hardware components of reduction of losses should provide the largest size LCC.

The size of rate of discount of E is defined by the rate of inflation, and also some other factors. Now size E is, as a rule, equal to 0,1-0,15.

If when calculating for disks of reflectors, a gas binding and pontoons it is enough to know turnover coefficient, type of the reservoir and remaining period of its service, then for calculation of capital investments and operational expenses for the ULF ejector system it is necessary to know:

- number of petrol reservoirs;
- duration of its work within a year;
- N capacity consumed by the pump;
- the price 1 kW/h the consumed electric power, and the cost of 1 kW of installed capacity.

Calculation was carried out for the installation working with tanks of the big sizes (RVS-1000, RVS-2000, RVS-3000, RVS-5000 and RVS-10000) for LLC NPIK "Zirka" in the city of Zaporizhya.

Monthly on oil depot of capacity 2 times are filled and at the single gulf of loss on the squeezed-out steam (as a result of evaporation) make about 5,000 liters of high-octane gasoline.

By the carried-out calculations, capital investments in the ULF ejector system for tank farm with the existing turn make \$ (US dollars) 152 thousand. In this sum expenses on design of system, acquisition and production of the necessary non-standard equipment, and also operational costs have been considered during the installation work. Market costs of liquid nitrogen are much lower than the cost of hydrocarbons, in particular gasoline. Results of experiments have confirmed relevance of use of nitrogen and carbonic acid for cooling of a flow of mix of air with hydrocarbons in the heat exchanger the ejector, for condensation of hydrocarbons of different brands of gasolines, bioetalny and diesel fuel, and then their divisions.

When conducting pilot studies tasks of the analysis of influence of various factors on the end result, namely temperature and an expense of a gas phase, temperature of a fluid phase, separation pressure, pipeline length after the ejector were also set.

At increase in temperature of oil products, as well as in all other cases, direct dependence of size of extent of catching on the influencing factor is not observed. It is connected first of all with the fact that extent of catching is influenced by not one specific parameter, but all parameters in a complex.

At pressure increment of separation, temperature in gas space of the reservoir and reduction of temperature of working fluid (nitrogen) extent of catching in EULF increases.

By the stated above technique calculation of extent of catching of steam-gas mix with nitrogen is made under conditions of conducting pilot studies. By results of this calculation comparison of theoretically received extent of catching and extent of catching received as a result of experiments was carried out. The final result is provided in table 1.

Table 1 - Comparison of extent of catching

Number of an experiment	1	2	3	4	5
Extent of catching actual	0,98	0,575	0,931	1,000	0,968
Extent of catching rated	0,836	0,739	0,935	0,912	0,896
Number of an experiment	6	7	8	9	10
Extent of catching actual	0,765	0,121	0,559	0,947	0,784
Extent of catching rated	0,488	0,263	0,536	0,870	0,560
Number of an experiment	11	12	13	14	15
Extent of catching actual	0,314	0,434	0,876	0,690	0,257
Extent of catching rated	0,310	0,09	0,787	0,590	0,244
Number of an experiment	16	17	18	19	
Extent of catching actual	0,838	0,842	0,383	0,740	
Extent of catching rated	0,342	0,810	0,193	0,678	

In the conditions of oil depots, as a rule, use of the ULF ejector systems is more preferable, than other hardware components of reduction of losses. Comparison of experimental data with the carried-out theoretical calculations shows that the absolute error by the most problem experiences does not exceed 12.8%.

The ULF ejector system is intended for reduction of losses of gasoline, both at big, and at small "breath".

Use of systems with the ejector heat exchanger for catching of the easily boiling vapors of hydrocarbons on oil depots will allow to protect effectively a circumambient from pollution by evaporation of vapors of oil products.

Efficiency of use of the ULF ejector system out of competition, especially at connection to the ULF ejector system of several big reservoirs with gasoline, from 5 and more. Reduction of rate of discount to 0,1 and residual service life of reservoirs up to 5-10 years on oil depots by all means leads to expansion of a scope of the ULF ejector systems.

Process of a mass transfer of hydrocarbons of a gas phase in liquid takes not enough time, and at design of ejector system of catching of light fractions there is an opportunity to refuse big installations and to cut down expenses on a construction.

Use of these systems on oil depots is more preferable and it is economically reasonable, than other circuit solutions of reduction of losses. This circuit decision has indisputable advantages: compactness, a possibility of transportation to different reservoirs (mobility) that leads to essential economy of capital investments at a stage of its implementation and operation due to power saving. Also because of minimization of need for human work and increase in reliability of system, use of the majority of means of reduction of losses of gasoline from evaporation becomes economically inexpedient.

#### REFERENCES

1. Methodical recommendations about efficiency evaluation of investment projects and their selection for financing. - M.: NPKVC "TerInvest", 1994. – 87p.
2. Modeling of technology of trade preparation of oil / N. V. Usheva, A. Kravcov, O. Mojzes, E. Kuzmenko // College's news - 2005. - Vol. 308, № 4 - p. 127-130.
3. Kogut V., Khmelniuk M. Questions of safety during the transporting and storage oil products / Book of abstracts VII International scie-technical conference "Foreign problems of refrigeration technics and technology", Odessa, 2011p. c.102.
4. Arenbrister V. Technical-economic analysis of losses of oil. - M.: Chemistry. -160p.
5. Patent of Ukraine No. 92555 for the useful model "Installation for condensation of hydrocarbons in a flow».
6. Patent of Ukraine No. 92548 for the useful model "Way of Steam Condensation of Hydrocarbons".
7. Korshak A. A. Forecasting of extent of catching of vapors of gasoline when using ejector system of catching of light fractions//Transport and storage of oil and oil products: Books of scientific researches. Ufa. 2014. Vol.12, №4. p. 61-70.
8. Standard calculations at design and operation of oil depots and oil pipelines / Tugunov P., Ufa: LCC "DesignPoligraphService", 2008.- 658 p.

УДК 62-97/-98

### **ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ И ГАЗОВЫХ ТИХОХОДНЫХ ДЛИННОХОДОВЫХ БЕССМАЗОЧНЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ**

*Бусаров С.С., канд тех наук., Васильев В.К., док, тех наук., Бусаров И.С., Титов Д.С., Громов А.Ю.  
Омский государственный технический университет, Российская Федерация  
E-mail: bssi1980@mail.ru*

Традиционно основные размеры и параметры ступеней, в том числе частота вращения коленчатого вала, принимаются по известным рекомендациям. Наиболее часто используемые компрессорные станции имеют частоту вращения коленчатого вала более 12,5 об/с [3,14]. В связи со спецификой решаемой задачи (использование линейных приводов) от термина "обороты в секунду" перейдем к термину "время цикла". Тогда (12,5 об/с) – время цикла  $N=0,08$  с. В [13,16] приводятся рекомендации по параметру  $\psi = S / d$ , где  $d$  – диаметр цилиндра;  $S$  – ход поршня; обычно параметр  $\psi$  принимается в диапазоне 0,4 - 0,8.

Значение  $\psi$  для тихоходных длинноходовых компрессоров может составлять 10...1000 [6]. В данной работе на примере тихоходного длинноходового поршневого компрессора [5,6,7] (время рабочего цикла менее 2 с и определяющий параметр  $\psi$  более 10) рассмотрена возможность сжатия различных газов до давления 2 МПа в одной ступени.

Проблема заключается в том, что сжатие газа с  $\varepsilon > 20$  в одной ступени сопровождается повышением его температуры выше допустимой величины [13]. Решение данной проблемы возможно путём впрыска жидкости в рабочую камеру цилиндра [19]. Однако существуют технологические процессы, в которых недопустимо наличие примесей в сжимаемом газе. Либо применение машин кратковременного действия, что также не всегда удовлетворяет применяемой технологии. Таким образом, для решения поставленной задачи становится актуальным применение тихоходных длинноходовых бесшмазочных ступеней поршневых компрессоров (ПК) с интенсивным внешним охлаждением. В работах [5,6,7,9,20] показана эффективность применения таких ступеней при сжатии воздуха, а также представлено экспериментальное подтверждение возможности сжатия газов до средних давлений в одной ступени.

Преимущества, которые можно получить сжимая газ в одной ступени, очевидны при сравнении тихоходных длинноходовых ступеней с многоступенчатыми мембранными и поршневыми агрегатами и анализа недостатков последних [3,4,8,10,12,17,18]. Исследуемые компрессорные ступени имеют менее напряжённый температурный режим, меньшие массогабаритные параметры, сниженные виброшумовые характеристики, более высокий ресурс работы.

Также наборы из тихоходных ступеней могут иметь различные компоновки, позволяющие рационально разместить их в зависимости от конфигурации места размещения, что не так просто выполнить для рассмотренных выше мембранных и многоступенчатых поршневых компрессоров.

В данной работе поставлена задача определить возможность применения тихоходных длинноходовых ступеней ПК для сжатия различных по своим физическим свойствам газов. Параметрический анализ выполнен по уточнённой методике расчёта рабочего процесса [5].

Параметрический анализ режимов охлаждения проводился для следующих газов: аммиак, пропано-бутановая смесь, гелий, аммиак, водород. Были рассмотрены следующие режимы работы: диаметр цилиндра - 0,02 м; ход поршня – от 0,2 до 1 м; время цикла - от 0,5 до 2 с. Тип цилиндро-поршневого уплотнения – манжетное. Давление всасывания – 0,1 МПа; температура всасывания – 293 К; давление нагнетания – 2 - 10 МПа. Внешнее охлаждение цилиндра – интенсивное, с температурой окружающей среды – 293 К.

Материал поршневых манжет - “криолон 3”. Данный материал применяется до температуры 160 °С. Принимаем запас по температуре в 20 К, таким образом температура 140 °С = 413К была выбрана в качестве определяющего параметра. Для каждого газа представлены зависимости средней температуры нагнетаемого газа от хода поршня удовлетворяющих условиям по температуре.

Таблица 1 – Свойства рабочих газов

Сжимаемый газ	k	$C_p$ , кДж/(кг·К)	$C_v$ , кДж/(кг·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> при 20 °С	$\lambda$ , Вт/м·К при 20 °С	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с при 20 °С
Аммиак	1,31	2,24	1,709	0,769	0,026	10,0
Водород	1,407	14,26	10,1	0,0899	0,18	8,8
Гелий	1,33	5,29	3,98	0,1785	0,136	19,46
Пропано-бутановая смесь	1,13	1,554	1,365	2,703	0,018	7,44

Расчётная схема объекта исследования представлена на рис. 1.

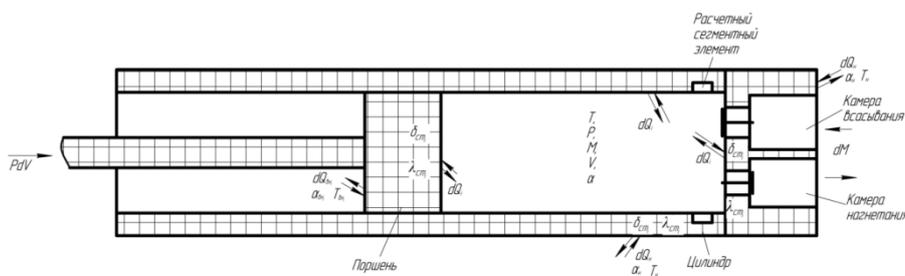


Рисунок 1 – Расчётная схема длинноходовой тихоходной ступени поршневого компрессора

Основные допущения, принятые при выполнении расчётного анализа [1,3,13]:

1. Газовая среда непрерывна и однородна.

2. Моделируемые процессы обратимы, равновесны и квазистатичны.
3. Параметры состояния рабочего газа изменяются одновременно по всему объёму рабочей камеры (ячейки).
4. Изменение потенциальной и кинетической энергии газа пренебрежимо мало.
5. Теплота трения поршневых уплотнений не подводится к газу.
6. Параметры состояния в полостях всасывания и нагнетания постоянны.
7. Течение рабочего газа через газораспределительные органы и конструктивные зазоры принимается адиабатным и квазистационарным.
8. Теплообмен между газом и стенками рабочих полостей конвективный и может быть описан формулой Ньютона – Рихмана.
9. Теплообмен на внешних поверхностях стенок деталей, формирующих рабочую камеру, определяется при постоянном по времени коэффициенте теплоотдачи, выбранном для рассматриваемого участка теплообменной поверхности.

10. В стенках рабочей камеры отсутствуют внутренние источники тепла.

Определение нестационарных граничных условий на внутренних поверхностях стенок рабочей камеры ступени производится путем расчета рабочего цикла ступени поршневого компрессора с использованием математической модели рабочих процессов этого цикла, базирующейся на общепринятой системе упрощающих допущений и основных расчётах уравнений, включающих уравнение закона сохранения энергии для тела переменной массы, уравнение массового баланса, уравнение состояния, следствие закона Джоуля для внутренней энергии газа, уравнения расхода газа через клапан и конвективного теплообмена между газом и стенками рабочей камеры. Математические модели компрессорной ступени такого типа классифицируются как модели второго уровня и широко применяются в практике исследования и проектирования компрессоров объёмного принципа действия [3].

Уравнение конвективного теплообмена между рабочим газом и стенками рабочей камеры, используемое применительно к внутренним поверхностям расчётных элементов, формирующих поверхности стенок рабочей камеры, определяет величину нестационарного циклического теплового потока между этими поверхностями и рабочим газом и, следовательно, взаимозависимые процессы теплопроводности через отдельные участки стенок рабочей камеры, параметры состояния рабочего газа и интегральные характеристики рабочего цикла.

Граничные условия на внешней поверхности стенок рабочей камеры носят слабопеременный характер, обусловленный малой амплитудой изменения температуры стенок за время рабочего цикла [13,16] и практически постоянными параметрами охлаждающей среды. Комплексным параметром, характеризующим условия внешнего теплоотвода, является приведенный коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{пр}$ , а также температура охлаждающей среды.

В общем случае анализ формирования нестационарных температурных полей в стенках рабочей камере ступени может быть проведён путём решения заданной задачи теплопроводности для системы конструктивных элементов, формирующих рабочую камеру ступени, со взаимозависимыми быстроизменяющимися граничными условиями на внутренней поверхности стенок рабочей камеры, обусловленные характером изменения параметров состояния, поверхностей и теплофизических свойств газа, и с нестабильно изменяющимися граничными условиями внешней поверхности стенок рабочей камеры [15]. Разработанная методика расчёта реализована в программном пакете PASCAL.

Входными данными являются следующие величины: температура всасывания; давление нагнетания и давление всасывания; газовая постоянная; теплоёмкость газа; коэффициент теплопроводности; диаметр цилиндра; ход поршня; величина мёртвого объёма (мм); обороты коленчатого вала; характеристики материала из которого сделаны детали, образующие рабочую камеру (плотность; теплоёмкость; коэффициент теплопроводности); толщина стенок; площадь клапана; коэффициент расхода; коэффициенты теплоотдачи на внешних поверхностях по участкам.

Выходными данными являются следующие изменяющиеся по времени параметры: температура газа; давление газа; объём газа; температура элементов стенок рабочей камеры; масса газа в рабочей камере; тепловые потоки. А также интегральные характеристики: количества тепла отданное или принятое по рабочим процессам; средняя температура нагнетания.

На рис. 2-4 представлены результаты параметрического анализа рабочих процессов безсмазочных тихоходных ступеней при сжатии различных газов.

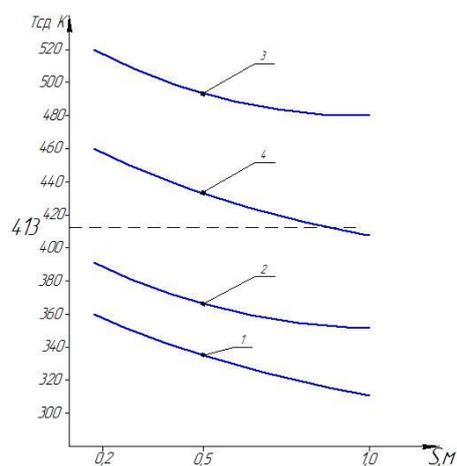


Рисунок 2 – Зависимость средней температуры газа от хода поршня при давлении нагнетания  $P_n=2$  МПа, и времени цикла  $\tau=1$  с: 1 – пропано-бутановая смесь; 2 – аммиак; 3 – гелий; 4 – водород

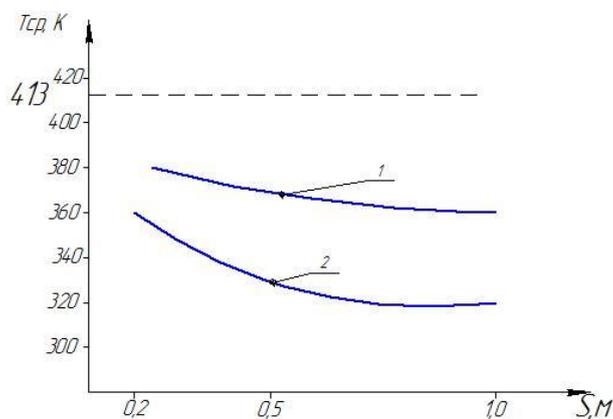


Рисунок 3 – Зависимость средней температуры газа от хода поршня при давлении нагнетания  $P_n=2$  МПа, и времени цикла  $\tau=0,5$  с: 1 – пропано-бутановая смесь; 2 – аммиак

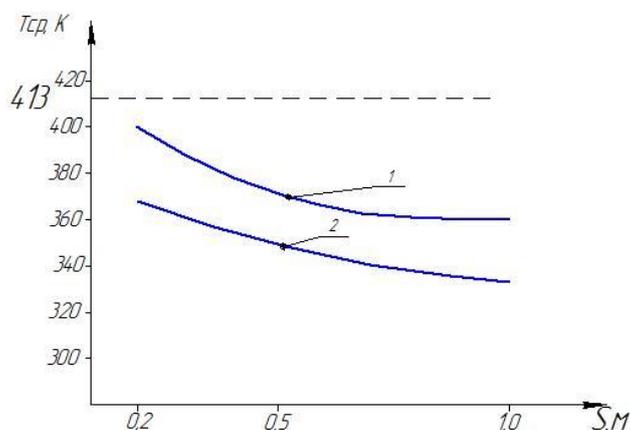


Рисунок 4 – Зависимость средней температуры газа от хода поршня при давлении нагнетания  $P_n=10$  МПа, и времени цикла  $\tau=1$  с: 1 – пропано-бутановая смесь; 2 – аммиак

Из полученных графиков видно, что для различных газов температуры нагнетания различны, что ограничивает применение некоторых газов в тихоходных ступенях для сжатия до средних давлений.

Проведённые исследования показали возможность применения в той или иной степени безсмазочной квазиизотермической ступени для сжатия всех рассматриваемых газов. Наиболее широкий диапазон по режимным параметрам в допустимом диапазоне температур из рассматриваемых газов имеет аммиак и пропан-бутановая смесь.

Таким образом для сжатия криогенных газов необходимо применять многоступенчатые компрессорные агрегаты, для сжатия же холодильных агентов можно обойтись применением одноступенчатых тихоходных агрегатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chrustalev, B. S.; Zdalinsky, V. B.; and Bulanov, V. P. A., "Mathematical Model of Reciprocating Compressor With One or Several Stages for the Real Gases" (1996). International Compressor Engineering Conference. Paper 1108. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/1108>.
2. M. M. Perevozchikov; I. B. Pirumov.; B. S. Chrustalyov.; K. S. Ignatiev; and A. Taha, , "Low Flow Displacement Compressor: Thermodynamical Process Analysis" (1992). International Compressor Engineering Conference. Paper 937. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/937>.
3. P. Plastinin, and S. Fedorenko. "Simulation of Transient Gas-Temperatures in Cylinders of Reciprocating Compressors Using Identification Techniques with a Mathematical Model" (1978). International Compressor Engineering Conference. Paper 295. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/295>
4. Perevozchikov, M. M.; Pirumov, I. B.; Chrustalyov, B. S.; Ignatiev, K. S. M.; and Taha, A., "Low Flow Displacement Compressor: Thermodynamical Process Analysis" (1992). International Compressor Engineering Conference. Paper 937. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/937>.
5. V.L. Yusha, S.S. Busarov, R.Yu. Goshlya, A.V. Nedovenchanyi, B.S. Sazhin, M.A. Chizhikov, I.S. Busarov, The experimental research of the thermal conditions in slow speed stage of air reciprocating compressor, International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE-2016. - p.297-302.
6. V.L.Yusha V.G.Dengin V.I.Karagusov, S.S. Busarov, Theoretical analysis of the working process of the superlow rotary low expense piston compressor with the increased piston stroke, 8th International Conference on Compressors and Coolants, 2013, Papiernicka, Slovakia. Book of abstracts.- p.22.
7. V.L.Yusha, V.G.Dengin, S.S. Busarov, A.V. Nedovenchanyi, A.Yu. Gromov, The estimation of thermal conditions of highly-cooled long-stroke stages in reciprocating compressors, International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE-2015. - p.264-269.
8. Алтухов, С. М. О долговечности работы мембран компрессоров / С. М. Алтухов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1965. – №5. – С. 8 – 11.
9. Бусаров, С.С., Недовенчаный А.В., Громов А.Ю., Титов Д.С., Бусаров И.С., Математическое моделирование процессов теплообмена в рабочей камере тихоходной ступени поршневого компрессора // Компрессорная техника и пневматика. – 2016. – №6. – С.6-10.
10. Грезин, А. К. Зиновьев, В. С. Микрокриогенная техника / А. К Грезин, В. С. Зиновьев. – М.: Машиностроение», 1977. – 232с.
11. Кабаков, А.Н. Рабочие процессы винтовых компрессоров с газожидкостным рабочим телом: учеб. пособие / А.Н. Кабаков, В.Л. Юша. – Омск: ОмПИ, 1988. – 80 с.
12. Михайлов, А.К., Ворошилов, В. П. Компрессорные машины / А. К.Михайлов, В. П. Ворошилов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 290 с.
13. Пластинин, П. И. Поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 1. Теория и расчёт / П. И. Пластинин– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2000. – 456 с.
14. Пластинин, П.И. Расчёт и исследование поршневых компрессоров с использованием ЭВМ. – М.: ВИНТИ, 1981.
15. Прилуцкий, И.К., Прилуцкий А.И. Расчёт и проектирование поршневых компрессоров и детандеров. – СПб.: СПбГАХИТ, 1995.
16. Фотин, Б.С. Поршневые компрессоры / [и др.]: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Холодильные и компрессорные машины и установки". – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 372 с.

УДК 536.2

#### **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯ**

*Волгушева Н.В.<sup>1</sup>, к.т.н., Бошкова И.Л.<sup>1</sup>, д.т.н., Жарикова Л.А.<sup>2</sup>, д.ф.-м.н*

*Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина*

*Институт физико-математических наук и информационных технологий Балтийского федерального университета им. И. Канта Россия*

*E-mail: n-volgusheva@mail.ru, ira\_boshkova@mail.ru, l\_zharikova@mail.ru*

Метод нагрева материалов в микроволновом электромагнитном поле зарекомендовал себя как высокоэффективный в отношении скорости, энергозатрат и качества конечной продукции в процессах нагрева и сушки, о чем свидетельствуют результаты анализа экспериментальных данных [1-4]. Дальнейшее изучение процесса микроволнового нагрева целесообразно дополнить аналитическими исследованиями, среди которых наиболее важны данные по температуре материала,

являющиеся базовыми для оценки эффективности действия микроволнового поля и влияния входных характеристик на технологический процесс. Составление математических моделей, адекватно отражающих физическую сущность протекающих явлений под действием микроволнового поля, сопряжено с определенными трудностями, связанными с многофакторностью взаимодействия электромагнитного поля с полярными диэлектриками и необходимостью при переходе к тепловой схеме исключения вторичных элементов. Анализ подходов к составлению моделей взаимодействия микроволнового поля с материалом показал, что корректные математические модели теплопроводности для рассматриваемой области исследований можно получить, основываясь на моделях А.В. Лыкова, приведенных в [5], в основе которых лежит уравнение теплопроводности с учетом внутренних источников теплоты, которые могут быть как положительными, так и отрицательными. Объемный характер нагрева материала в микроволновом поле позволяет рассматривать материал как среду, в которой действуют внутренние положительные источники теплоты. Следует отметить, что решения, приведенные в [5], справедливы для условия, когда температура окружающей среды (при граничном условии III рода) или температура поверхности (при граничном условии I рода) больше температуры материала:  $t_c > t_0$ . Предварительно проведенный переход к безразмерным избыточным температурам путем замены переменной с целью приведения к форме, соответствующей задаче охлаждения при условии  $t_c < t_0$ , не привел к получению данных, адекватно отражающих процесс нагрева от действия внутренних источников, при котором температура окружающей среды не превышает температуру материала. В то же время именно такие условия реализуются при нагреве материала в микроволновом поле.

Целью работы является определение условий применимости математических моделей теплопроводности при нагреве в микроволновом поле материалов, обладающих свойствами полярных диэлектриков.

Объектом исследования является нестационарная теплопроводность в теле при наличии внутренних источников теплоты, возникающих при взаимодействии материала с микроволновым электромагнитным полем. Для проверки соответствия решения физической модели нагрева в микроволновом поле проведены вычисления по зависимости (1), полученной для средней температуры шара в условиях, соответствующих режимам микроволнового нагрева в реальных объектах:

$$\bar{\Theta} = \frac{t(\tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 + \frac{1}{15} Po \left( 1 + \frac{5}{Bi} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 + \frac{Po}{\mu_n^2} \right) B_n \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (1)$$

где:  $Po = \frac{q_{v1} R^2}{\lambda(t_c - t_0)}$  - критерий Померанцева,  $q_{v1}$  - удельная мощность внутренних источников

теплоты, Вт/м<sup>3</sup>,  $t_0$  - начальная температура материала,  $t_c$  - температура окружающей среды. Решение (1) получено при ГУ III рода. Результаты расчетов свидетельствуют, что верные данные получаются при выполнении условия  $t_c > t_0$ . Для аналитического исследования температурного поля в условиях микроволнового нагрева и изменений температуры материала при условии  $t_c < t_0$  необходимы соответствующие математические модели. Для полуограниченного массива с учетом действия положительного (микроволновое поле) и отрицательного (определяемого потоком испарившейся влаги) получена зависимость при ГУ I рода [6]:

$$t(x, \tau) = \left( 1 - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) t_0 + \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \cdot t_{нов} - \frac{q_{v10}}{cra\gamma^2} \left[ e^{-\gamma x} - \frac{1}{2} e^{\gamma^2 a\tau - \gamma x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \gamma\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\gamma^2 a\tau + \gamma x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \gamma\sqrt{a\tau} \right) - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right] - \frac{q_{v20}}{cra\beta^2} \left[ e^{-\beta x} - \frac{1}{2} e^{\beta^2 a\tau - \beta x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \beta\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\beta^2 a\tau + \beta x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \beta\sqrt{a\tau} \right) - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \quad (2)$$

где:  $a$  - коэффициент температуропроводности,  $\gamma$  - коэффициент поглощения (электромагнитной энергии),  $\beta$  - коэффициент затухания отрицательного внутреннего источника, обусловленного испарением влаги, нижний индекс 0 при удельный мощностях показывает, что величина относится к максимальному значению.

Нахождение решений прямых задач нестационарной теплопроводности, основываясь на информации о начальном тепловом состоянии, которое определяется температурным полем исследуемого объекта; определение влияния характеристик теплообменного процесса в теле: граничные условия и их параметры, начальные условия, теплофизические свойства, внутренние источники тепла и проводимости, а также геометрические характеристики тела или системы необходимы для определения оптимальных параметров настроек теплового режима и для получения данных о температурном поле материала в процессе нестационарной теплопроводности.

Для проведения расчетов были выбраны два вида материалов: зерно пшеницы и вода. Этот выбор объясняется производственной необходимостью оценки режимных параметров термообработки в ряде технологий, к примеру, при сушке зерновых в СВ поле или при биостимуляции семян. Полученные результаты исследования аналитических моделей предполагается использовать при изучении нестационарной теплопроводности других возможных видов диэлектрических материалов.

Для оценки применимости точных аналитических решений к моделированию развития температуры при действии внутренних источников возникла необходимость проверки соответствия расчетных значений температур физическим явлениям, наблюдаемым при изменении направления теплового потока. Необходимость проверки соответствия вызвана тем, что для всех решений [1], описывающих температурное поле при действии внутренних источников теплоты, отмечалось условие  $t_c > t_0$ . Расчетные кривые, отражающие изменение температуры материала, приведены на рис.1.

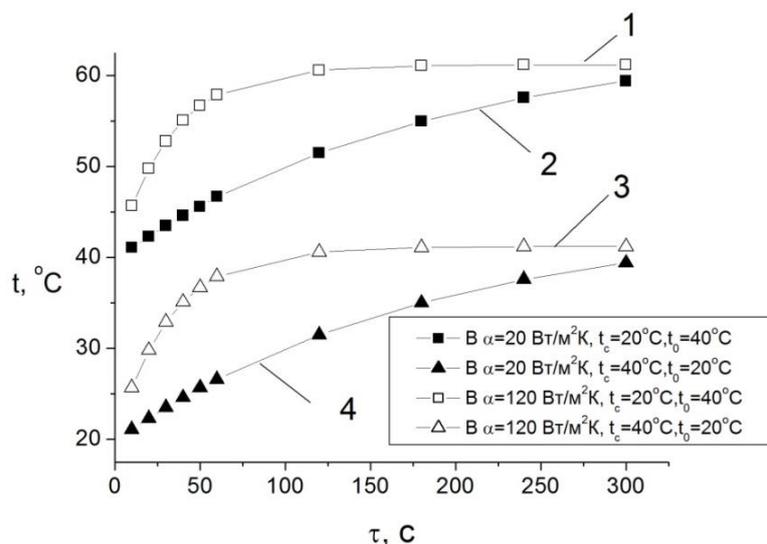


Рисунок 1 – Температура материала (вода) при нагреве в микроволновом поле.  $q_{v1} = 1,5 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>3</sup>,  $R = 0,0025$  м. Кривые 1,3 –  $\alpha = 120$  Вт/(м<sup>2</sup>К), кривые 2,4 –  $\alpha = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>К)

Кривые 1 и 2 получены для условия  $t_c < t_0$ :  $t_c = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 40^\circ\text{C}$ . Расчеты проведены для двух значений коэффициентов теплоотдачи:  $\alpha = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>К) и  $\alpha = 120$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Увеличение  $\alpha$  приводит к увеличению температуры воды на одинаковых отрезках времени, что не соответствует реальному процессу. Кривые 3 и 4 получены для условия  $t_c > t_0$ : в этом случае увеличение коэффициента теплоотдачи, соответственно, увеличение теплового потока от окружающей среды к материалу, приводит к увеличению температуры, что правильно отражает физическую картину зависимости температуры от направлений теплового потока. Следует отметить, что при получении расчетных данных для случая теплоотдачи от материала в окружающую среду (кривые 1,2), что характерно для нагрева в СВ поле, безразмерные избыточные температуры путем замены переменной были приведены к форме, соответствующей задаче охлаждения. Полученные результаты позволяют заключить, что нагрев от внутренних источников с одновременным стоком теплоты в окружающую среду не может быть рассчитан по имеющимся зависимостям [5]. Таким образом, для

аналитического исследования температурного поля и изменений средней температуры материала при условии  $t_c < t_0$  необходимы соответствующие математические модели.

На рис. 2 приведены кривые, полученные по результатам расчетов температуры с помощью зависимости (2) при  $q_{v20} = 0$  (период прогрева). Материал – зерно пшеницы и вода. Исходные данные для расчета следующие: начальные температуры материала и среды равны:  $t_c = t_0 = 20^\circ\text{C}$ , коэффициент поглощения воды  $\gamma_w = 125 \text{ м}^{-1}$ , коэффициент поглощения зерна  $\gamma_z = 30 \text{ м}^{-1}$ . Расчет для воды и зерна при одинаковой эффективности преобразования микроволновой энергии во внутреннюю энергию тела ( $\eta \equiv A = 1$ ) показал, что температурные кривые для воды располагаются ниже кривых для зерна. Это несоответствие физическим явлениям объясняется тем, что для корректного сопоставления температур следует учитывать значение диэлектрических характеристик материала (так, для воды при  $20^\circ\text{C}$   $\epsilon'' = 82$ , для зерна  $\epsilon'' = 2,6$ ). С этой целью целесообразно использовать данные по КПД микроволновой камеры  $\eta$ . Экспериментальные зависимости, полученные для определения КПД камеры при ее загрузке зерном, приведены в [6]. Расчет температур зерна, проведенный при  $\eta \equiv B = 0,47 \text{ Вт/м}^3$ , привел к верному распределению температурных кривых. В этом случае температура зерна ниже, чем температура воды, и их значения удовлетворительно коррелируются с экспериментальными.

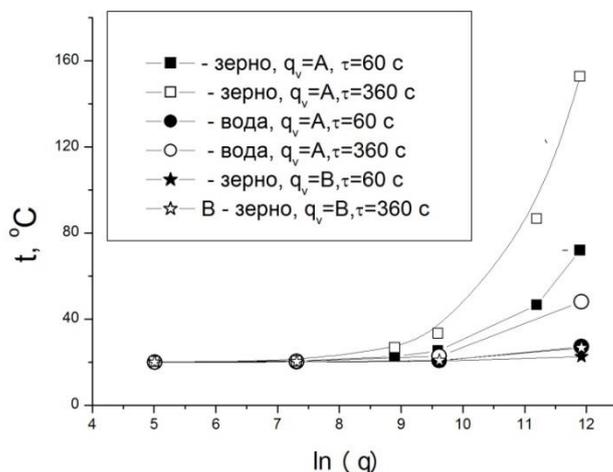


Рисунок 2 – Изменение температуры материала в зависимости от удельной мощности внутренних источников и вида материала

Расчет изменения температуры по глубине массива также показал соответствие аналитической модели реальному физическому процессу, что доказывает возможность описания нагрева материалов в микроволновом поле точными аналитическими методами. На рис. 3 приведены результаты расчета температуры материала в зависимости от координаты, отсчитываемой от поверхности массива, выполненные по зависимости (2). Материал – вода и зерно пшеницы, начальная температура равна начальной температуре материала:  $t_c = t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Линии 1,2 получены для  $\tau = 60 \text{ с}$ , линии 3,4 – для  $\tau = 360 \text{ с}$ , линии 5,6 – для  $\tau = 600 \text{ с}$ . Вследствие низких значений диэлектрических характеристик зерна в сравнении с водой, скорость нагрева воды выше. На начальном этапе нагрева из-за большого коэффициента поглощения температура изменяется не на всех координатных точках, а на определенном расстоянии от начала координат, за пределами которого температура остается постоянной. При увеличении экспозиции изменение температурного поля охватывает последующие слои, что связано с переносом теплоты теплопроводностью.

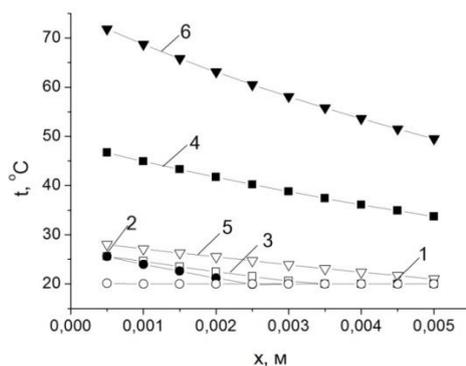


Рисунок 3 – Температура массива в зависимости от координаты при различной экспозиции в СВ поле. Линии 1,3,5 – зерно; 2,4,6 – вода.

Для граничных условий III рода в настоящее время существуют аналитические решения, позволяющие рассчитать локальные температуры при наличии одного положительного источника теплоты [7] и при наличии двух источников теплоты [8], положительного и отрицательного.

1. Для получения достоверных данных по температурам материала по аналитическим зависимостям, полученным для безразмерной избыточной температуры, требуется выполнение условия  $t_c > t_0$  (температура среды выше температуры материала).

2. Расчет локальных и средних температур по разработанным математическим моделям с учетом двух внутренних источников теплоты, положительном и отрицательном, позволяет получать удовлетворительные данные также при условии  $t_c = t_0$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянчук, Б. А. Принципы и применения микроволнового нагрева [Текст] / Б.А. Демьянчук. – О.: Черноморье, 2004. – 520 с.
2. Campanone, L.A. Mathematical analysis of microwave heating process [Text] / L.A. Campanone, N.E. Zaritzky // Journal of Food Engineering, 2005. – No. 69. – P. 359- 368.
3. Thostenson, E.T. Microwave processing: fundamentals and applications [Text] / E.T. Thostenson, T.W. Chou // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1999. – Vol. 30, № 9. – P. 1055-1071.
4. Nelson, S. O. Dielectric Properties of Agricultural Products and Some Applications [Text] / S.O. Nelson // J. of Res. Agr. ENG, 2008. – Vol. 54, №2. – P. 102-112.
5. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: 1967. – 559 с.
6. Волгушева, Н. В. Кинетика сушки плотного слоя дисперсного материала (на примере гречихи) при различных способах подвода теплоты : дисс... канд. техн. наук : 05.14.05 / Н.В. Волгушева. – О.: 2005. – 225 с.
7. N. Kolesnychenko, N. Volgusheva, I. Boshkova. Analytical study of the processes of thermal conductivity at high intensity heating [Text] // EAST-EUROPEAN JOURNAL OF ENTERPRISE TECHNOLOGY: Energy-saving technologies and equipment. VOL 5, NO. 8 (83) (2016). – P. 26-31.
8. Дементьева, Т.Ю. Интенсификация процессов тепловлагопереноса при сушке зернового материала с применением микроволнового электромагнитного поля.: дис. канд. техн. наук : 05.14.05 / Т.Ю. Дементьева. – 2013. – 137 с.

УДК 536.423:536.71

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ХЛАДАГЕНТОВ

*Волчок В.А., к.т.н.*

*Одесская национальная Академия пищевых технологий Украина*

*E-mail: recvic@te.net.ua*

По теплофизическим свойствам чистых хладагентов накоплен достаточно большой материал. Существуют банки данных о свойствах веществ, на основе которых можно рассчитать равновесные и

переносные свойства хладагентов, построить диаграммы и рассчитать параметры цикла холодильной машины.

#### I. Анализ возможностей методов расчета термодинамических свойств хладагентов.

Анализ существующих методов определения термодинамических свойств (ТДС) веществ смесей показывает, что ни один из них не обладает прогнозирующими возможностями, достаточными для получения надежных результатов в широком диапазоне параметров состояния. Поэтому на практике используют те или иные модельные подходы к описанию термодинамического поведения смесей, уточняемые на основе опытных данных [1].

К их числу относятся единые уравнения состояния (ЕУС), представляющие собой одноструктурные формы, позволяющие воспроизводить ТДС с заданной малой погрешностью, как жидких, так и газообразных смесей, которые связывают давление  $P$  с объемом  $v$  и температурой  $T$ , согласовывать экспериментальные данные на границах двухфазной области жидкость-пар в интервале от  $T_{тр}$  до  $T_{кр}$ , а для многокомпонентных систем - также с составом (молярными долями компонентов). Составление ЕУС, охватывающих широкий интервал изменения  $\rho$ ,  $T$  или  $P$ ,  $T$  независимых переменных и в настоящее время является актуальной задачей [2].

Известно, что пользуясь уравнениями состояния (УС), можно раскрыть зависимость термодинамических функций от  $v$  и  $P$ , проинтегрировать дифференциальные термодинамические соотношения, рассчитать летучести (фугитивности) компонентов системы, через которые обычно записывают условия фазового равновесия. Кроме того, можно установить связь между уравнениями состояния и любым из термодинамических потенциалов системы, выраженным в виде функции своих естественных переменных. Например, если известна энергия Гельмгольца  $p = -(\partial F/\partial V)_T$  (свободная энергия  $F$  как функция от  $T$  и  $V$ ), то УС не может быть получено с помощью одних только законов термодинамики, оно определяется из опыта или выводится методами статистической физики.

Для чистого вещества УС одновременно описывает свойства паровой и жидкой фаз на линии насыщения. Для многокомпонентной системы УС представляет собой термодинамическую модель равновесных паровой и жидкой фаз в отдельности.

#### II. Поиск оптимальной формы уравнения состояния.

Одной из важных задач является поиск оптимальной формы УС, способной с точностью эксперимента описывать термические, калорические и акустические опытные данные как в газовой, так и в жидкой фазах. За подобным макроскопическим описанием скрывается сложный механизм межчастичного взаимодействия, характер которого в жидкости и газе имеет существенные отличия. При высоких температурах и умеренных давлениях преобладают парные и тройные взаимодействия и поведение такой системы может быть описано УС, содержащим два-три вириальных коэффициента.

Многокоэффициентные УС представляют собой записанные в вириальной форме УС. Входящие в уравнение вириальные коэффициенты учитывают различные взаимодействия частиц вещества (парные, тройные, четвертные и т.д.). УС в вириальной форме теоретически достаточно обоснованы для газов малой плотности. Использование же этих уравнений для описания состояния вещества при больших плотностях связано со сложностью определения вириальных коэффициентов более высокого порядка. В связи с этим в последнее время создаются эмпирические уравнения состояния, в которых давление представлено в виде полинома от плотности с коэффициентами, зависящими от температуры. Эти уравнения содержат также экспоненциальный член, введенный для компенсации членов более высокого порядка вириального уравнения.

#### III. Возможности различных форм УС.

Для проведения сравнительного анализа различных форм УС, с целью выявления их возможностей при описании термодинамической поверхности бинарных зеотропных смесей хладагентов, были выбраны три широко применяемые УС и сопоставлены результаты расчета ТДС по оригинальной версии УС Пенга-Робинсона (ПР), модифицированному УС Ли-Кеслера (ЛК) и УС свободной энергии Гельмгольца (СЭГ) с оптимальными перекрестными параметрами.

Принципиальная невозможность одновременного точного описания параметров критической точки индивидуальных веществ и смесей на их основе не позволила точно воспроизвести экспериментальные данные кубическим УС ПР. В целом УС ПР по сравнению с многоконстантными УС показало достаточно приемлемую точность для инженерных расчетов.

Сравнительный анализ различных форм УС был проведен на основе использования экспериментальных данных о давлении кипения бинарных зеотропных смесей хладагентов полученные в рамках настоящей работы. В то же время, для нахождения перекрестных

коэффициентов УС ЛК и СЭГ учитывался весь массив экспериментальных данных полученных как в настоящей работе, так и данные других авторов с учетом погрешностей измеряемых величин.

В таблице 1 показан сравнительный анализ среднеквадратичных отклонений рассмотренных УС от экспериментальных данных по давлению кипения хладагента R401A.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных значений давления кипения хладагента R401A с расчетами по различным уравнениям состояния

Эксперимент		Расчет					
		уравнение ПР		уравнение ЛК		уравнение СЭГ	
T, К	P, МПа	P, МПа	$\delta P$ , %	P, МПа	$\delta P$ , %	P, МПа	$\delta P$ , %
289.17	0.5881	0.6113	3.95	0.5942	1.04	0.5952	1.20
298.90	0.7860	0.8054	2.47	0.7831	-0.37	0.7851	-0.11
302.03	0.8494	0.8766	3.21	0.8524	0.36	0.8548	0.64
312.47	1.1229	1.1483	2.27	1.1169	-0.54	1.1207	-0.20
322.78	1.4461	1.4733	1.88	1.4332	-0.89	1.4385	-0.53
330.53	1.7306	1.7587	1.63	1.7114	-1.11	1.7175	-0.76

Проведенное сравнение показало, что опытные значения давления кипения бинарных зеотропных смесей хладагентов, полученные в настоящей работе, вполне адекватно согласуются с данными, опубликованными рядом авторов [3]. Это позволило в дальнейшем с уверенностью опираться на эти результаты.

Детальное сравнение трех форм УС при описании давления кипения тройной смеси – хладагента R401A показало, что кубическое УС ПР при использовании ограниченной информации и без учета взаимодействия компонентов смеси ( $\theta_{ij} = 1$ ) достаточно удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными, полученными в рамках настоящей работы.

Многоконстантное УС ЛК в отдельных случаях превосходит по точности УС СЭГ для бинарных смесей хладагентов, но в целом уступает ему при описании термодинамической поверхности многокомпонентной смеси - хладагента R401A. Отклонения экспериментальных данных по давлению кипения хладагента R401A соизмеримы с погрешностью измеренных данных.

1. Модель описания ТДС веществ многокомпонентных смесей хладагентов, основанная на УС СЭГ, даёт возможность расчета ТДС смесей хладагентов на основе правил комбинирования констант УС.

2. Использование скорректированных параметров УС СЭГ позволяет более реалистично описывать имеющиеся экспериментальные данные, по сравнению с другими методиками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митропов, В.В. Способы включения опытных данных в программу построения взаимосогласованных уравнений состояния [Текст] / В.В. Митропов, А.В. Клецкий // Известия СПбГУНИПТ. – 2006. - № 2. – С. 13-15.
2. Захаров, Н.Д. Многокомпонентные рабочие тела дроссельных микрокриогенных систем [Текст] / Н.Д. Захаров. – Одесса: Полиграф, 2008. – 81 с.: ил.
3. Lemmon, E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, version 8.0. [Text] / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. – 2007.

УДК 574

### ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ – ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ!

*Галкин Д.М., студент  
МГТУ им. Н.Э. Баумана Россия, г. Москва  
E-mail: G.D.2012@yandex.ru*

5 января 2016 года Президент РФ Владимир Путин подписал Указ за №7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии» в 2017 году. Его реализация намечена в целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития России, сохранения биологического

разнообразия и обеспечения экологической безопасности. Существенное влияние на экологию оказывает и промышленное холодильное оборудование.

Снижение объёмов заправляемых хладагентов, в большинстве случаев имеющих высокий потенциал глобального потепления и озонового разрушения, достигается в современных холодильных системах применением вторичного контура, рабочими веществами в которых являются промежуточные хладоносители, ответственные за эффективную передачу теплоты от потребителя холода к хладагенту. В настоящее время системы холодоснабжения с вторичным контуром широко распространены в сегментах: системы вентиляции, ледовые поля, промышленные холодильные системы.

Дешёвым и распространённым хладоносителем является водный раствор моноэтиленгликоля (МЭГ). Однако этиленгликоль является одним из серьезных антагонистов экологической безопасности в отношении человека и окружающей среды.

Этиленгликоль – моноэтиленгликоль или МЭГ (*гликоль; 1,2-диоксиэтан; этандиол-1,2*),  $\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$  — двухатомный спирт, простейший представитель полиолов – многоатомных спиртов. В очищенном виде представляет собой прозрачную бесцветную жидкость слегка маслянистой консистенции. Не имеет запаха и обладает сладковатым вкусом. Токсичен - относится к веществам 3-го класса опасности, ПДК в воздухе рабочей зоны для МЭГ составляет  $5 \text{ мг/м}^3$ . Он пагубно действует на центральную нервную систему и почки как сильный сосудистый и протоплазматический яд, вызывающий отек и некроз сосудов. Попадание этиленгликоля или его растворов в организм человека может привести к необратимым изменениям в организме и к летальному исходу [1].

Этиленгликоль впервые был получен в 1859 году французским химиком Шарлем Вюрцем из диацетата этиленгликоля. В промышленном масштабе его производство было организовано в США в 1925 году и с 1929 года использовалось всеми производителями для изготовления динамита. Этиленгликоль находит широкое применение в технике в качестве компонента автомобильных антифризов (тосолов) и тормозных жидкостей, что составляет 60% его потребления; в системах тепло- и хладоснабжения зданий, сооружений и объектов хладопотребления. Общемировое потребление МЭГ составляет более 8 млн.т в год при доле производства МЭГ в России – около 0,6 млн. т в год.

Основными производителями этиленгликоля в РФ по данным статистики являются: АК «Сибур» - 240 тыс. т; ОАО «Нижнекамскнефтехим» - 170 тыс. т; ОАО «Петрокам» - 85 тыс. т; ОАО «Казаньоргсинтез» - 45 тыс. т. Остальной объем выпуска приходится на менее мощные предприятия-производители.

В таблице систематизированы по температурным интервалам наиболее распространённые виды хладоносителей и их основные вещества.

Таблица 1 – Наиболее распространенные хладоносители

Основа водного раствора	Товарная марка			Основной компонент	Температурный диапазон эксплуатации, °С	Коррозионная активность на алюминий Al-9 (ГОСТ 4784-97) не более, г/м <sup>2</sup> ·сут	Динамическая вязкость при минус 40°С, мПа·с	Токсичность основного вещества
	Россия	Присадки	Импорт					
Этиленгликоль	Антифриз		Cool Stream, Hot Blood, Antifrogen N, Tifocor, Zitrec MC, Dowterm, Dowcal 10, Ucartherm, Glikosol N	Этиленгликоль до 70 мас. %	от минус 65 до +118	0,04	100	4700
	Тосол	G11						
	Нордвей	Карбоксилат						
	ОЖ	G11						
	Spektr ogen	Гибрид						
Spektr ogenG R-LV	Гибрид	аналог отсутствует			0,04	78		

Пропиленгликоль	ХНТ, Spektr ogen, Hot Blood Eco	Гибрид Гибрид G12	Antifrogen L, Zitrec LC, Zitrec FC, Tifocor L, Pecasol L	Пропиленгликоль до 60 мас. %	от минус 60 до +118	0,05	950	20000
	Нордвэй Про	G12				0,06	1902	
	ХНТ-НВ, Spektr ogen S-LV	Гибрид Гибрид	аналог отсутствует			0,12	40	
	ХНТ-СНВ	Гибрид	аналог отсутствует					
Этанол	Экофрост	Нет данных	нет данных	Этанол (спирт этиловый)	от минус 115 до +70	Нет данных	82	7060
Глицерин	Ольга	Нет данных	нет данных	Глицерин	от минус 40 до +270	0,05	1150	12600

1– ЛД50 (полулетальная доза, DL50) – среднесмертельная доза, вызывающая гибель 50% подопытных животных при определённом способе введения (внутрь, на кожу и т.д., кроме ингаляции) в течение 2-х недель последующего наблюдения, г/кг.

2 – Вязкость приведена при температуре -35°C хладоносителя, имеющего температуру начала кристаллизации минус 40°C.

Из таблицы видно, что наиболее токсичным основным веществом хладоносителя является этиленгликоль. Все качественные хладоносители на основе спиртов менее коррозионно активны к конструкционным материалам холодильных систем в сравнении с солевыми. При наличии гибридного комплекса ингибиторов коррозии и периодического контроля состава и свойств хладоносителя срок службы оборудования и хладоносителя достигает 25-30 лет.

Важно отметить, что применяемый в автомобильных антифризах силикатный пакет присадок (G11) до конца 20 века обеспечивал эффективную работу антифризов до 3 лет. Сменивший его на рубеже веков карбоксилатный пакет (G12) позволяет сегодня эксплуатировать антифризы до 5 лет.

Хладоносители на основе этиленгликоля в пищевой промышленности практически не применяются из-за высокой токсичности. Они экологически опасны при применении в системах охлаждения ледовых площадок и полей спортивных сооружений, в т.ч. шаговой доступности. Например, только в Москве ежегодно за сезон эксплуатации быстровозводимых ледовых катков от заправки до слива на хранение «утекает» в биосферу до 10% объема хладоносителя на основе этиленгликоля, что составляет более 70 т ядовитой и весьма опасной для населения жидкости [3]. На порядок больший объем токсичных антифризов вытекает на дороги из систем охлаждения двигателей автомобилей и автобусов. Экологически опасные жидкости на основе этиленгликоля запрещены или сильно ограничены к эксплуатации в странах Западной Европы и Скандинавии.

Альтернативой в большом количестве случаев для хладоносителей является пропиленгликоль и глицерин. Пропиленгликоль (1,2-пропандиол, 1,2-диоксипропан)  $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$  (ПГ) - бесцветная вязкотекучая жидкость со слабым характерным запахом, сладковатым вкусом, обладающая гигроскопическими свойствами. Его вязкость выше, чем у МЭГ и одноатомных спиртов, в особенности при низких температурах. Он является экологически безопасной жидкостью и разрешен для использования в медицине, а также в пищевой промышленности в виде добавки E1520 как влагоудерживающий, смягчающий и диспергирующий ингредиент. В промышленности ПГ получают путем гидратации окиси пропилена при температуре от 160 до 200 °С и давлении около 1,6 МПа. Среди ведущих предприятий России по производству пропиленгликоля следует отметить ОАО «Нижекамскнефтехим» и Кемеровский ООО ПО «Химпром».

Водные растворы ПГ с ингибирующими и понижающими вязкость добавками широко применяют в виде тепло и хладоносителей в системах отопления, вентиляции и кондиционирования в ЖКХ, в пищевой промышленности, на объектах зимних видов спорта и др. Среди ведущих предприятий РФ по производству хладоносителей следует отметить ООО «Спектропласт».

Ниже приведены примеры основных экологичных, низковязких и энергосберегающих теплоносителей на основе пропиленгликоля, разработанных и производимых в России в промышленных масштабах.

1. Хладоносители марки ХНТ-НВ (ТУ2422-011-11490846-07) обладают:

- низкой вязкостью (более чем в 2 раза по сравнению с ПГ растворами) при температурах до минус 60° С (верхний температурный предел +118°С.);

- низкой коррозионной активностью. Синтезируемый на современном химическом заводе в России гибридный пакет ингибиторов коррозии КПП-ПК (ТУ2422-014-11490846-07) обеспечивает его низкую коррозионную активность хладоносителей серии ХНТ и гарантирует срок эксплуатации 15 лет;

- высокой энергоэффективностью. В состав хладоносителей ХНТ-НВ и ХНТ-СНВ входят поверхностно-активные вещества (ПАВ), снижающие вязкость, что позволяет обеспечить экономию энергии до 20% при эксплуатации оборудования в условиях низких отрицательных температур;

- экологичностью (обеспечивается низкой токсичностью пропиленгликоля и ПАВа)[2,4].

2. Хладоносители ХНТ-СНВ (ТУ 2422-018-11490846-10) предназначены для эксплуатации в открытых и закрытых контурах теплообменных систем (систем охлаждения, рекуперации, отопления и др.), работающих в интервале температур от – 60°С до + 60°С.

Они применяются в различных отраслях промышленности, в том числе:

- в системах охлаждения пищевых и других экологичных производств;

- в системах погружного замораживания пищевой продукции (ягод, мяса, рыбы, овощей и др.);

- в системах кондиционирования и отопления жилых домов, общественных зданий и сооружений, а также для охлаждения искусственных ледовых полей и иных спортивных сооружений.

3. Антифриз SpektrogenS-LV (ТУ 2422-026-11490846-12) для систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания легковых и грузовых автомобилей, строительной техники и других транспортных средств.

Хладоносители серии ХНТ-НВ, ХНТ-СНВ и SpektrogenS-LV экологически безопасны. Их применение открывает новые перспективы в создании эффективных экологически безопасных охлаждающих установок.

4. Хладоносители серии Spektrogen MS (ТУ 2637-035-1149084-14) с диапазоном температур от -80°С до +200°С.

Все упомянутые выше хладоносители имеют полный пакет разрешительной документации для применения в системах холодоснабжения, в том числе пищевых и фармацевтических производств.

Высокий технический уровень и мировая новизна хладоносителей ХНТ-НВ (ТУ2422-011-11490846-07), ХНТ-СНВ (ТУ 2422-018-11490846-10), SpektrogenS-LV (ТУ 2422-026-11490846-12), приведенных в настоящей статье, подтверждена патентами [6,7], результатами сравнительного анализа конкурентоспособности по показателям цена/качество и техническим преимуществам по сравнению с зарубежными аналогами [5], а главное повышенным спросом предприятий – потребителей холода и холодильных технологий.

Растворы этанола, приведённые в таблице, являются основой специфического хладоносителя на основе этилового спирта: пожароопасны, летучи и подакцизны.

Как видно из таблицы при большом количестве наименований и марок хладоносителей зарубежного производства российские предприятия выпускают конкурентоспособные по цене и техническим характеристикам отечественные хладоносители способные полностью заместить импорт.

Анализ приведённой информации показал, что хорошей альтернативой по экологичности токсичному этиленгликолю является пропиленгликоль. После введения в пропиленгликолевый раствор ингибиторов коррозии и компонентов, снижающих вязкость, он становится почти идеальным тепло-хладоносителем для ЖКХ и потребителей холода, а также и антифризом для транспорта. [8,9]

Повысить энергоэффективность систем холодоснабжения возможно и за счёт процесса аккумуляции космического холода. В работах А.П. Цой рассматриваются технические решения по использованию и аккумуляции холода космоса и использования его в часы пиковой нагрузки на холодильные машины, а также ведущее к уменьшению влияния холодильных систем на экологию окружающей среды. [10,11]

Резюмируя вышеуказанное, можно сделать следующие выводы.

Повысить энергоэффективность и экологичность холодильной системы можно, применив одновременно:

1. промежуточные низковязкие и низкотоксичные хладоносители с целью понижения объёмов заправки хладагента;

2. систему аккумуляции холода космоса в ночной и в холодный период года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев А.К. и др. Показатели опасности веществ и материалов (5 томов). – М.: Фонд им. И.Д. Сытина, 1999.
2. Рукавишников А.М., Дубровин Ю.Н., Галкин М.Л. Импортзамещение по хладагентам и хладоносителям в России// Холодильный бизнес. – №2. – 2015.
3. Галкин М.Л., Рукавишников А.М. Быстрозводимые катки-российские особенности и проблемы экологии //Холодильная техника. – №1. – 2014.
4. Галкин М.Л., Рукавишников А.М., Генель Л.С.//Термостабилизация вечномёрзлых грунтов // Холодильная техника. – №10. – 2013.
5. Рукавишников А.М., Никульшин А.В., Пивоваров К.А. Революционные теплоносители — импортные или российские? // Холодильный бизнес. – № 2. – 2016.
6. Теплопередающая жидкость пат. 2296790 РФ заявл. 31.08.05; опубл. 10.04.07, Бюл. №10.
7. Хладоноситель для термостабилизации вечномёрзлого грунта. Пат. 2577056 РФ. – заявл 16.09.2014; – опубл. 10.03.2016; – бюл. №7.
8. Галкин М.Л, Жердев А.А., Марков В.А.//Новые антифризы для автотракторных двигателей. //Автомобильная промышленность. – №1. – 2016.
9. Галкин М.Л, Жердев А.А., Марков В.А. Охлаждающие жидкости для двигателей спецтехники // Грузовик. – №12. – 2015.
10. Цой А.П., Грановский А.С. Расчет величины эффективной холодопроизводительности холодильной системы, использующей охлаждающий эффект небосвода // Вестник МАХ.- № 3.- 2014.
11. Ховалыг Д.М., Синицина К.М., Бараненко А.В., Цой А.П. Энергоэффективность и экологическая безопасность техники низких температур. // Холодильная техника и кондиционирование. – № 1. – 2014.

УДК 536.244

## ДЕСТРАТИФИКАЦИЯ, КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Григорьев А.Ю., д.т.н., Григорьев К.А., к.т.н., Медведева К.А., Гриневич Б.С.  
Университет ИТМО. Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: augrig@bk.ru, kagrig@bk.ru*

Формирование государственной политики в вопросах энергосберегающих технологий началось с принятием в 1992 году постановления Правительства Российской Федерации «О неотложных мерах по энергосбережению в области добычи, производства, транспортировки и использования нефти, газа и нефтепродуктов» (№ 371 от 01.06.92 г.). Тогда же Правительством РФ была одобрена «Концепция энергетической политики России», а в 1996 году вступил в силу Федеральный закон № 28–ФЗ «Об энергосбережении».

В 2007 г. в целях модернизации и технологического развития российской экономики и повышения ее конкурентоспособности был принят Указ Президента РФ о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники в РФ, куда включены энергоэффективность и энергосбережение [1]. В 2009 г. принят закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», разработанной с учетом современных технологий, мировых требований в сфере энергетики и экологии. Целью принятия этого закона было создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности [2]. Принятие нового закона создало правовую основу для комплексной работы в области энергоэффективности.

Выделяется три основных направления энергосбережения: полезное использование (утилизация) энергетических потерь, модернизация оборудования с целью уменьшения потерь энергии, интенсивное энергосбережение. Одним из направлений выступает введение новых требований по энергоэффективности зданий [3].

Поскольку экономика РФ характеризуется высокой энергоёмкостью, то обеспечить экономию энергии можно путем ликвидации технологической отсталости промышленности, оснащением предприятий новым энергосберегающим оборудованием, внедрением энергосберегающих технологий, привлечением в энергосбережение инвестиций и т.п. Предполагается снижение энергоёмкости российской экономики примерно на 40 процентов. Поэтому рассмотрение вопросов

обоснования экономической целесообразности применения энергоэффективных технологий, несомненно, является актуальной.

Внедрением энергосберегающих технологий озабочены все страны, что выражается в научных исследованиях и реальном внедрении полученных результатов. В России в связи с большим разнообразием климатических зон начали решаться задачи, связанные с внедрением энергоэффективных технологий. Одной из форм реализации энергетической политики является стимулирование использования энергоэффективных технологий. Оно выражается в льготном налогообложении инвестиций в основной капитал и новые исследования и технологии. Государственные программы поддержки такой политики финансируются из бюджета страны. Так, в Государственной программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» планировалось снизить энергоёмкость ВВП на 13,5 %. Планировалось выводить из эксплуатации старые неэффективные мощности, оборудование, установки, внедрять инновационные технологии и прогрессивное оборудование. Программу предполагалось реализовывать в 2 этапа: 2011-2015 и 2016-2020 гг. На первом планировалось перейти на энергоэффективный путь развития экономики, на втором - обеспечить ее движение по нему [4].

Эта государственная программа в 2011 г. заменена и вступила в действие другая – «Энергоэффективность и развитие энергетики», которая также утратила силу в 2013 г. Она рассчитана на 2013-2020 гг. Цель госпрограммы - надёжное обеспечение страны топливно-энергетическими ресурсами, повышение эффективности их использования, снижение антропогенного воздействия ТЭК на окружающую среду. В связи с этим требовалось: обеспечить развитие энергосбережения, повысить энергоэффективность, усовершенствовать технологии добычи и транспортировки углеводородного сырья и увеличить глубину его переработки. Развить использование возобновляемых источников энергии и повысить экологическую эффективность энергетики. Содействовать инновационному развитию ТЭК.

Госпрограмма включает в себя 7 подпрограмм. Среди них «Развитие и модернизация электроэнергетики»; «Развитие нефтяной отрасли»; «Развитие газовой отрасли» и др. Как указано на сайте Правительства РФ, ее реализация к 2020 г. позволит, в частности, снизить энергоёмкость ВВП на 13,5% (по сравнению с 2007 г.); увеличить среднюю глубину переработки нефти на уровне не ниже 85,0%; снизить выбросы парниковых газов на 393 млн. т. экв. CO<sub>2</sub> [5]. Этап системных преобразований (2011 – 2020 гг.), направленный на реализацию принятых федеральных целевых программ (ФЦП) регионального развития Российской Федерации, предполагает ежегодное финансирование из федерального бюджета в объеме до 80 млрд. рублей и увеличение доли внебюджетных источников в общем объеме финансирования до 90%. [4]. Эти ФЦП регионального развития основаны на следующих принципах: взаимосвязи и преемственности программ, ресурсосбережения, инфраструктурного обеспечения. Государственное вмешательство в виде поддержки развития экономики различных регионов выступает координирующим институтом. Частное предпринимательство, как правило, не решает вопросы регионального развития и в ограниченном аспекте социально-экономические условия жизни населения региона [5].

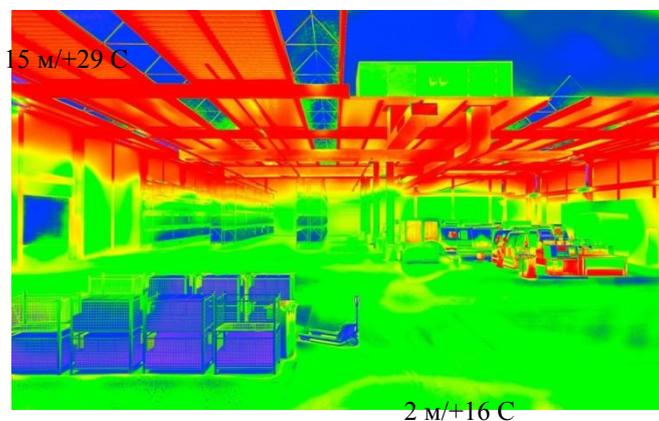


Рисунок 1 – Тепловая диаграмма стратификации температуры по высоте здания

В настоящее время существует много различного оборудования, применяемого в системах жизнеобеспечения, установленного в помещениях различного назначения, моделирование работы

которого достаточно точно описывает процессы тепло- и массообмена [6, 7, 8]. В помещениях большой высоты в силу физических особенностей более нагретый воздух всегда стремится вверх, этот процесс вызывает появление такого явления как стратификация – рост температуры воздуха по мере увеличения высоты внутри помещения. Обычно градиент такой стратификации составляет порядка 1 °С/м. Что говорит нам о следующем, если мы имеем однообъемное помещение высотой 15 метров, то перепад температур между рабочей зоной (отметка +2 м) и кровлей (отметка +15 м) может достигать 13 °С (рис.1), если не применяются способы по борьбе со стратификацией.

Для потребителя данный перепад означает следующее, на каждый метр высоты здания он имеет дополнительные теплопотери за счет роста температуры внутреннего воздуха. Конечно, можно понижать температуру внутри помещения, но вместе с этим понизится температура в рабочей зоне, что недопустимо по требованиям СП 60.13330.2012 [9]. Поэтому нужно бороться с этим явлением другими способами, например, установкой отдельных дестратификаторов, что удобно для уже построенных зданий, или использования совмещенной с системой дестратификации вентиляции, что является более экономично для вновь проектируемых зданий и сооружений.

Так что же даст применение данных систем для конечного пользователя? За счет применения специализированного оборудования можно добиться сокращения градиента с 1 °С/м до 0,2-0,3 °С/м. Если до начала работы данного оборудования тепловая диаграмма помещения выглядела рис. 2. В рабочей зоне от +14 до +16 градусов, под потолком до +30 °С.

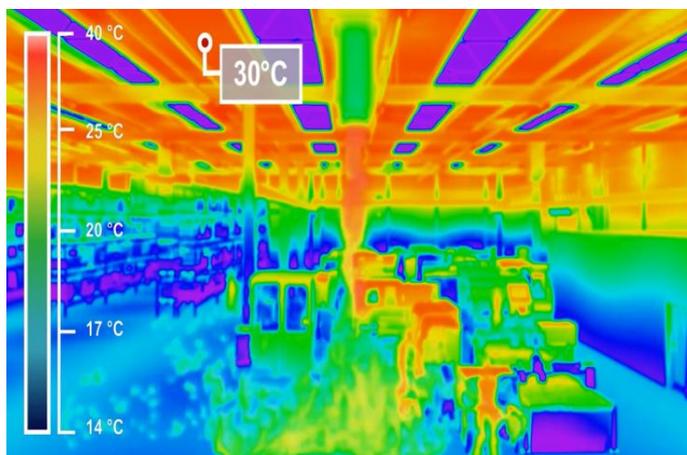


Рисунок 2 – Тепловая диаграмма до момента включения оборудования для дестратификации температуры воздуха в высотном объекте

На рис. 3 показана тепловая диаграмма помещения после включения оборудования для дестратификации. Можно заметить, что в рабочей зоне температура поддерживается на комфортном уровне и даже немного увеличилась, но в пределах допустимых отклонений, а под потолком температура резко уменьшилась до +23 градусов, что значительно снижает теплопотери через ограждающие конструкции. Рассмотрим чему же равен эффект от применения данных технологий и в каких регионах РФ есть смысл их применять.

Для расчёта возьмем склад хранения продукции со следующими параметрами. Длина, L – 100 м. Ширина, S– 85 м. Высота, H – 15 м. Поддерживаемая температура в рабочей зоне Тр.з. – 16 °С. Приведенное термическое сопротивление стен, Rст – 2,5 м²К/Вт. Термическое сопротивление кровли Rкр – 3 м²К/Вт. Параметры термического сопротивления взяты для производственных зданий с сухим и нормальным режимом работы согласно СП 50.13330.2012 [10]. Города постройки сооружения выбраны следующие: Москва, Санкт-Петербург, Астрахань, Кемерово. Имея эти вводные, получаем следующие производные величины: площадь ограждающих конструкций стен – 5550 м², площадь кровли 8500 м².

Температура воздуха под кровлей определяется по формуле:

$$T_{кр} = T_{р.з.} + grad \cdot H. \quad (1)$$

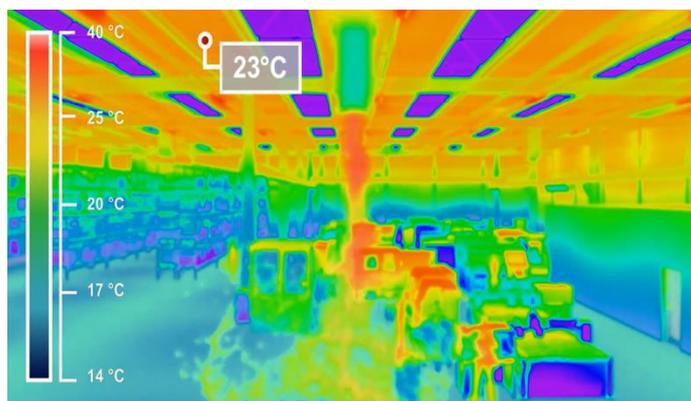


Рисунок 3 - Тепловая диаграмма при работающем оборудовании для дестратификации температуры воздуха в высотном объекте

Средняя температура воздуха в помещении определяется выражением:

$$T_{cp} = (T_{p.z.} + T_{кр}) / 2. \quad (2)$$

Теплопотери через стены определяются по формуле:

$$Q_{ст} = (L + S) \cdot 2 \cdot H \cdot (T_{cp} - T_{oc}) \cdot N_{oc} / R_{ст}. \quad (3)$$

Теплопотери через кровлю определяются по формуле:

$$Q_{кр} = L \cdot S \cdot (T_{кр} - T_{oc}) \cdot N_{oc} / R_{кр}. \quad (4)$$

Проведя все необходимые расчёты, мы получаем для разных городов [11] все данные, которые сведём в таблицу 1.

Таблица 1.

Город постройки	Дней отоп. сезона	Сред. темп. отоп. сезона, °С	Потери через кровлю кВт	Потери через кровлю с дест., кВт	Потери через стены, кВт	Потери через стены с дест., кВт	Итого потери, кВт	Итого потери с дест., кВт	Экономия, %
Москва	214	-3,1	496 223	350 703	303 291	246 281	799 514	596 985	25,3%
Санкт-Петербург	220	-1,8	490 688	341 088	296 556	237948	787 244	579 036	26,4%
Астрахань	167	-1,2	365 663	252 103	219 775	175 286	585 438	427 389	27,0%
Кемерово	231	-8,3	617 324	460 244	391 384	329 846	1 008 709	790 090	21,7%

1. Однообъёмные высотные помещения зданий подвержены явлению стратификации.
2. Стратификация значительно влияет на величину теплопотерь в зданиях и сооружениях.
3. Чем выше помещение, тем более значительный вклад в теплопотери вносит явление стратификации.
4. Чем продолжительнее отопительный сезон, тем экономия за счет дестратификации в абсолютном выражении больше.
5. Чем продолжительнее отопительный сезон, тем экономия от дестратификации в относительном выражении ниже.
6. Применение дестратификационного оборудования позволяет экономить свыше 20% тепловой энергии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899.
2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ от 23 ноября 2009г.

3. <http://www.ritsu.ru/sn29-energoberegayuschie-tehnologii.html>
4. Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Распоряжение Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р. (Утратила силу).
5. Усик Н.И. Современное развитие экономики регионов России//Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. № 1(14), 2014.
6. Григорьев А.Ю., Рубцов И.А., Баваян Х.С., Воронов Д.А., Савенко Н.А., Райков А.А. Термодинамические особенности в проемах при пуске воздушно-тепловых завес. Научный журнал НИУ ИТМО Серия «Холодильная техника и кондиционирование», 2015, №1 –с. 8-12.
7. Григорьев А.Ю., Рубцов И.А., Баваян Х.С., Воронов Д.А., Савенко Н.А., Райков А.А. Экспериментальные и расчетные исследования пусковых режимов работы воздушно-тепловой завесы. Вестник МАХ. 2015г., №2, -с. 40-45.
8. Григорьев А.Ю., Тухарь Е.В., Савельев Е.А., Минин А.А. «О моделировании задачи тепломассобмена в проемах, оснащенных холодильными воздушными завесами», ТРИБОЛОГИЯ. Международная энциклопедия том XI. «Нестор-История», С-Пб, 2016г., ISBN 978-5-4469-0819-6 -с. 198-204;
9. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Приказ Министерства регионального развития РФ от 30.06.2012 г. № 279.
10. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Приказ Министерства регионального развития РФ от 30.06.2012 г. № 265.
11. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Приказ Министерства регионального развития РФ от 30.06.2012 г. № 275.

УДК 53.02:53.06

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА АБСОРБЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ**

*Данько В.П., к.т.н., доцент*

*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова Россия*

В условиях глобального экономического кризиса наиболее актуальными, в настоящий момент, являются вопросы энергосбережения и создания технических устройств, рабочие вещества и принцип действия которых являются экологически безопасными и энергоэффективными. Перечисленным выше требованиям соответствуют солнечные абсорбционные холодильные системы на основе тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой, в отличие от традиционных компрессионных холодильных систем [1, 2, 3]. Однако, в мировой и отечественной литературе отсутствует анализ процессов, протекающих в абсорбционных теплообменных аппаратах [4, 5, 6]. Цель данной статьи состоит в изучении физических процессов, протекающих в абсорбционных тепломассообменных аппаратах с подвижной насадкой на основании их экспериментального исследования.

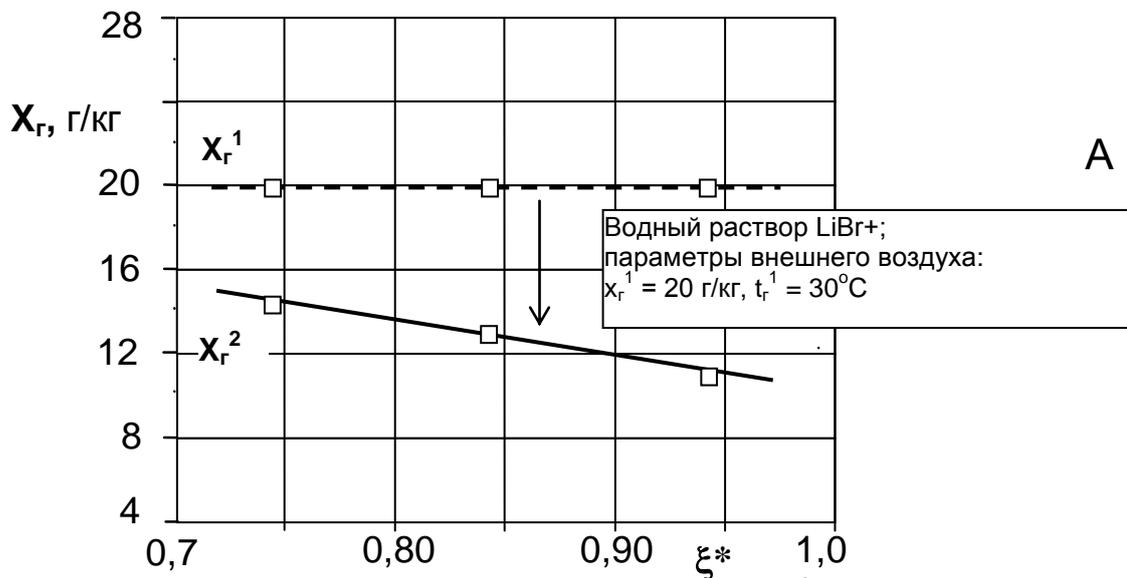
Процесс восстановления раствора абсорбента играет определяющую роль в поддержании непрерывности абсорбционного цикла. Для экспериментального изучения характеристик абсорбционного цикла был использован стенд [1, 2], который представляет собой колонну цилиндрической формы, состоящую из набора прозрачных царг диаметром  $D_k \approx 0,2$  м и высотой  $H_k = 1$  м. С учетом высоты опорно-распределительной решетки высота рабочей зоны колонны составляет 0,95 м. Внутри абсорбционной колонны размещена опорно-распределительная решетка ОРР со слоем подвижной насадки ПН и водораспределитель с варьируемым расположением по высоте колонны. Эффективная площадь опорно-распределительной решетки  $f_{орр} = 75\%$ , высота рабочей зоны  $H_{ст} = 0,5$  м. Возможности стенда: расходы теплоносителей и теплофизические параметры изменялись в диапазонах:  $w_r = 2,0...4,0$  м/с (осушаемый в абсорбере воздушный поток),  $q_{ж} = 5...35$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) (удельный расход абсорбента); температура и относительная влажность наружного воздуха:  $t_r = 30$  °С,  $x_r = 11...20$  г/кг; начальная концентрация раствора абсорбента (крепкий раствор) 64 %. В опытах использовали полые целлулоидные частично заполненные водой шары со значением  $\rho_{эн} = 400$  кг/м<sup>3</sup>.

В качестве абсорбента использовался литиево-бромистый раствор (Li-Br). Подготовка раствора Li-Br требуемой концентрации и поддержание начальной концентрации этого раствора в процессе исследований обеспечивал контур десорбции (восстановления абсорбента), который включал: колонну пленочного типа с подвижной насадкой, два бака-аккумулятора – емкости для крепкого и слабого растворов абсорбента; теплообменник (внутренняя рекуперация теплоты, путем обмена

между слабым холодным и крепким горячим растворами абсорбента); воздухонагреватель и нагреватель слабого раствора абсорбента, обеспечивающие требуемую температуру регенерации раствора абсорбента.

Полученные результаты представлены на рисунке 1 в виде зависимостей изменения влагосодержания воздуха в абсорбере АПН  $x_r^2$  для различных значений начального влагосодержания воздуха  $x_r^1$ . Приведенная концентрация раствора  $\xi^*$  здесь есть отношение рабочей концентрации к предельно возможной, соответствующей линии кристаллизации. С ростом концентрации раствора абсорбента эффективность процесса абсорбции возрастает. В рассмотренном диапазоне начальных влагосодержаний наружного воздуха  $x_r^1 = 11...20$  г/кг солнечная абсорбционная система обеспечивает достаточно эффективное снижение влагосодержания воздушного потока, позволяющее эффективно использовать испарительное охлаждение в охладительном контуре системы.

На рисунке 2А показан результат осушения воздуха в абсорбере при различных значениях исходного влагосодержания воздуха и величинах концентрации абсорбента. Применительно к разрабатываемым солнечным системам на примере задачи кондиционирования воздуха ССКВ на рисунке 2Б на Н/Х диаграмме влажного воздуха проиллюстрированы возможности такой солнечной системы при использовании ее для кондиционирования воздуха, в условиях юга России. В случае, когда исходное влагосодержание воздуха не превышает 16...17 г/кг (расчетные параметры Б и В) солнечная система обеспечивает осушение воздушного потока (процессы А-2а, Б-2б, В-2в показаны с некоторым возрастанием температуры в процессе абсорбции; приближение к изотермичности процесса осушения воздуха повышает эффективность процесса осушения но сопряжено с некоторым ростом энергозатрат на охлаждение воды в технологической ГПН, обслуживающей абсорбер) вполне достаточное для последующего получения комфортных параметров воздуха в воздухоохладителе ВПН (процессы 2а-3а, 2б-3б, 2в-3в). Когда  $x_r^1$  выше 17 г/кг, осушенный воздушный поток может быть разделен на две части, одна из которых обеспечивает получение холодной воды в градирне ГПН (процесс 7а-8а) для предварительного охлаждения осушенного воздуха в в воздухо-водяном теплообменнике (процесс 2а-4а) и последующего охлаждения в ВПН (процесс 4а-5а) с получением требуемых комфортных параметров в помещении. Отметим, что для юга России начальное влагосодержание воздуха находится в пределах до 17 г/кг.



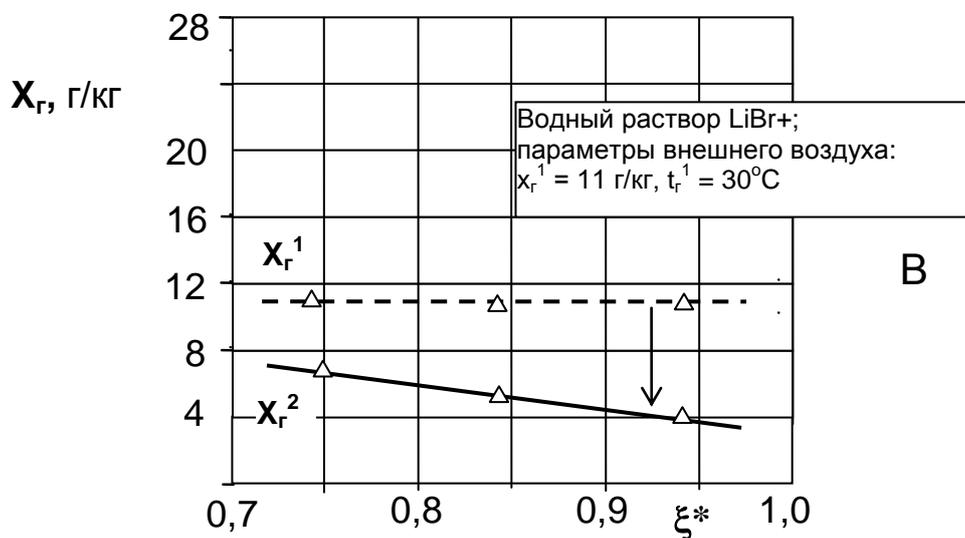
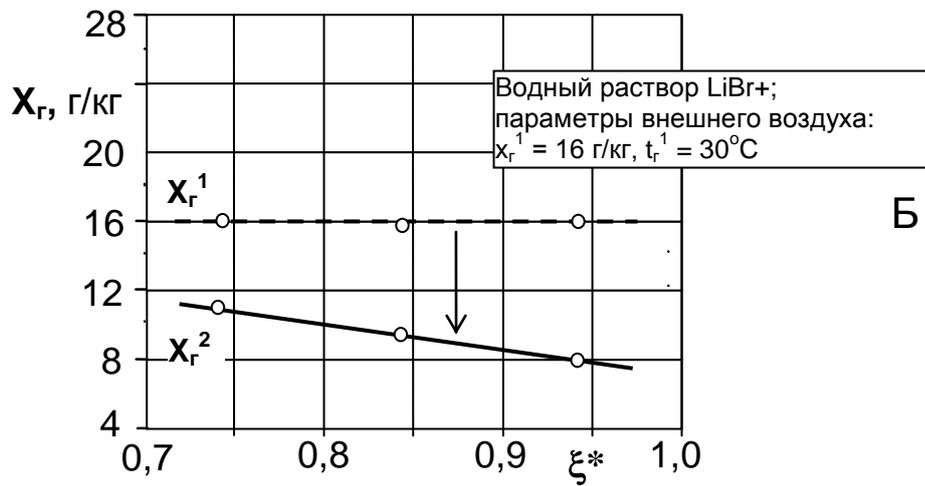
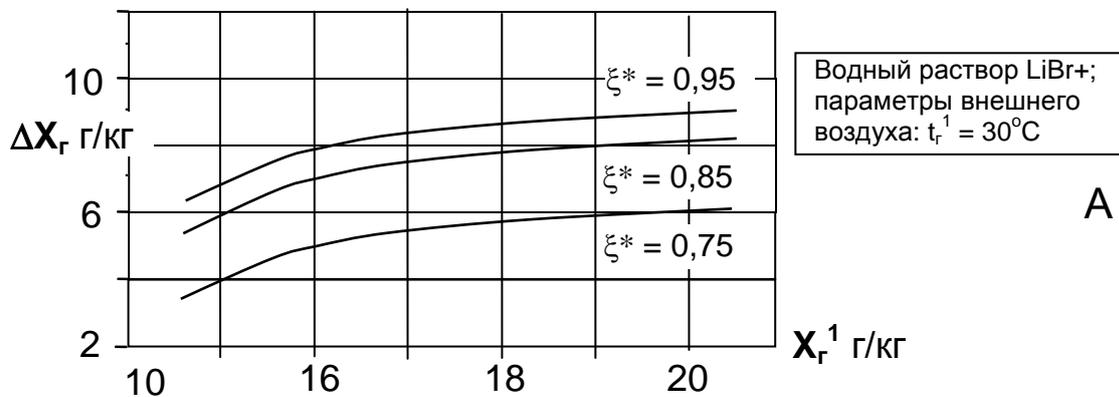


Рисунок 1 – Зависимость изменения влагосодержания воздуха в абсорбционной колонне от приведенной концентрации раствора и влагосодержания внешнего воздуха.  
Начальное влагосодержание воздуха  $x_r^1 = 11, 16$  и  $20$  г/кг.



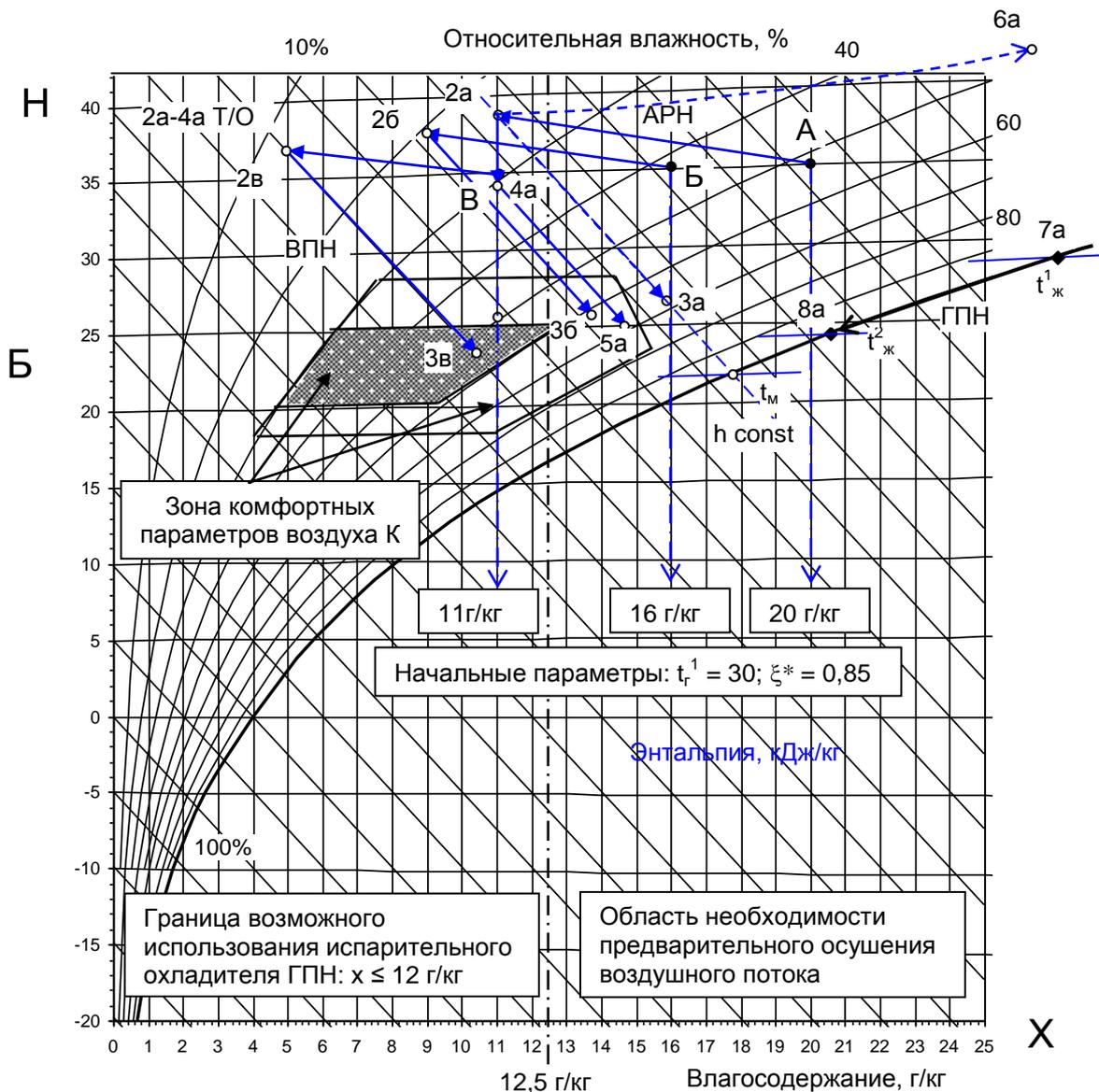


Рисунок 2 – Зависимость изменения влагосодержания воздуха в абсорбционной колонне от приведенной концентрации раствора и влагосодержания внешнего воздуха (А). Принципиальные возможности солнечных систем на основе открытого абсорбционного цикла при использовании их для кондиционирования воздуха (Б)

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Аппараты, работающие по принципу открытого абсорбционного цикла с подвижной насадкой – перспективное направление развития теплообменных аппаратов, обеспечивающее устойчивую эксплуатацию в экстремальных технологических условиях (рост нагрузок, высокую поперечную равномерность); использование этого принципа для реализации процессов теплообмена при испарительном охлаждении в системе «вода-воздух» и осушения в системе «абсорбент-воздух» особенно перспективно с учетом предотвращения возможных загрязнений и отложений на рабочих поверхностях и стенках колонн.

В работе экспериментально доказано, что использование изученных абсорбционных систем решает задачу обеспечения параметров комфортности в широком диапазоне параметров наружного воздуха ( $x_r = 13...20$  г/кг, при  $t = 25...40^\circ\text{C}$ , то есть при самых тяжелых внешних условиях) и задачу охлаждения сред на уровне  $3...8^\circ\text{C}$ ; показано, что альтернативная система, работающая по принципу открытого абсорбционного цикла приводит к меньшему истощению природных ресурсов и вносит меньший вклад в глобальное изменение климата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование влияния концентрации раствора абсорбента на охлаждающую способность теплообменных аппаратов с подвижной насадкой / Данько В.П., Карнаух В.В. / Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 3. – С. 73-77.
2. Теплообменные аппараты с подвижной насадкой для традиционных и альтернативных энергетических систем [текст]: [моногр.] / А. Н. Горин, А. В. Дорошенко, В. П. Данько // Донецк: Світ книги, 2013. – 327 с.
3. Солнечные осушительно-испарительные холодильные системы на основе теплообменных аппаратов с подвижной насадкой / В. П. Данько // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – ОНАПТ, Одесса, 2013. – с. 22.
4. Использование альтернативных источников энергии и вторичных энергоресурсов в холодильной отрасли / В. П. Данько, А. Б. Кудрин, В. Н. Радионенко // Ладапринт, 2015. – 157 с.
5. Исследование физической структуры движения потоков жидкости в аппаратах с подвижной насадкой / В. П. Данько, В. В. Карнаух // Сб. ст. по материалам XXXVIII Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии». - № 2 (31). - М., изд. «Интернаука», 2016.
6. Исследование процессов в теплообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем [Текст] / А. В. Дорошенко, С. Ю. Васютинский, В. П. Данько, М. А. Глауберман // Физика аэродисперсных систем. – О., 2012. – № 49. – С. 14-26.
7. Экспериментальное исследование процессов теплообмена в слое подвижной насадки осушительного контура солнечных систем [текст] / В. П. Данько // Оборудование и технологии пищевых производств: Темат. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНУЭТ, 2013. – Вып. 30. – С 31-37.
8. Солнечные коллекторы с металло-полимерным абсорбером для систем теплохладоснабжения / В. П. Данько // Научные труды Одесской национальной академии пищевых производств. – Одесса: 2014. – Вып. 45. – Том 1. – 124 с. – С. 88 – 94.
9. Комбинированные современные системы теплохладоснабжения и кондиционирования воздуха / А. В. Дорошенко, В. П. Данько // Оборудование и технологии пищевых производств: Темат. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНУЭТ, 2011. – Вып. 26. – С. 517–522.

УДК 621.577

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА РАЗЛИЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТАХ

*Должиков С.А.<sup>1</sup>, Ермоленко М.В.<sup>1</sup>, к.т.н.*

*Государственный университет имени Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан*

*E-mail: tehfiz@mail.ru, serega.94.kz@mail.ru*

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из актуальных проблем. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий и оборудования, использующих вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) и нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ).

Теплонасосные установки (ТНУ), используя возобновляемую низкопотенциальную энергию окружающей среды и повышая ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивают в 3–8 раз меньше первичной энергии, чем при сжигании топлива традиционными способами [1].

В настоящее время важным приоритетом Стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на период до 2024 г. является снижение удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет внедрения энергосберегающих технологий и оборудования, позволяющих использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Исходя из этого, были определены основные приоритеты научно-технической политики по разработке новых энергосберегающих технологий и оборудования, использующих вторичные энергетические ресурсы, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, в том числе энергетического потенциала существующих в природе градиентов температур [2].

Повышение эффективности ТН за счет совершенствования их рабочих циклов и схем составляет основу современных исследований в области теплонасосных технологий. В целом термодинамическое совершенство обратных циклов ТН в значительной степени определяет технико-экономическую и экологическую эффективность теплонасосных технологий [3].

Целью исследования является определение эффективности работы теплового насоса в зависимости от начальной температуры низкопотенциального теплоносителя.

Для выполнения расчетов были проведены исследования на экспериментальной установке «Тепловой насос» (рисунок 1). Эксперимент проводился при различных температурах низкопотенциального теплоносителя. Замеры температур производились с интервалом 10 минут. По полученным данным в ходе эксперимента был построен график интенсивности нагрева воды (рисунок 2). Интенсивность нагрева зависит от температуры низкопотенциального теплоносителя, чем выше температура низкопотенциального теплоносителя, тем выше интенсивность нагрева.

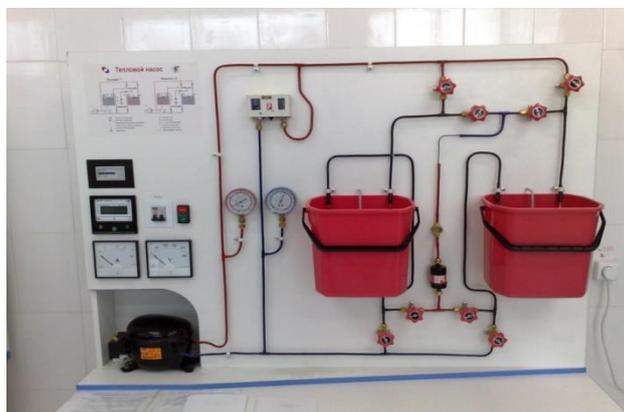


Рисунок 1 – Экспериментальная установка «Тепловой насос»

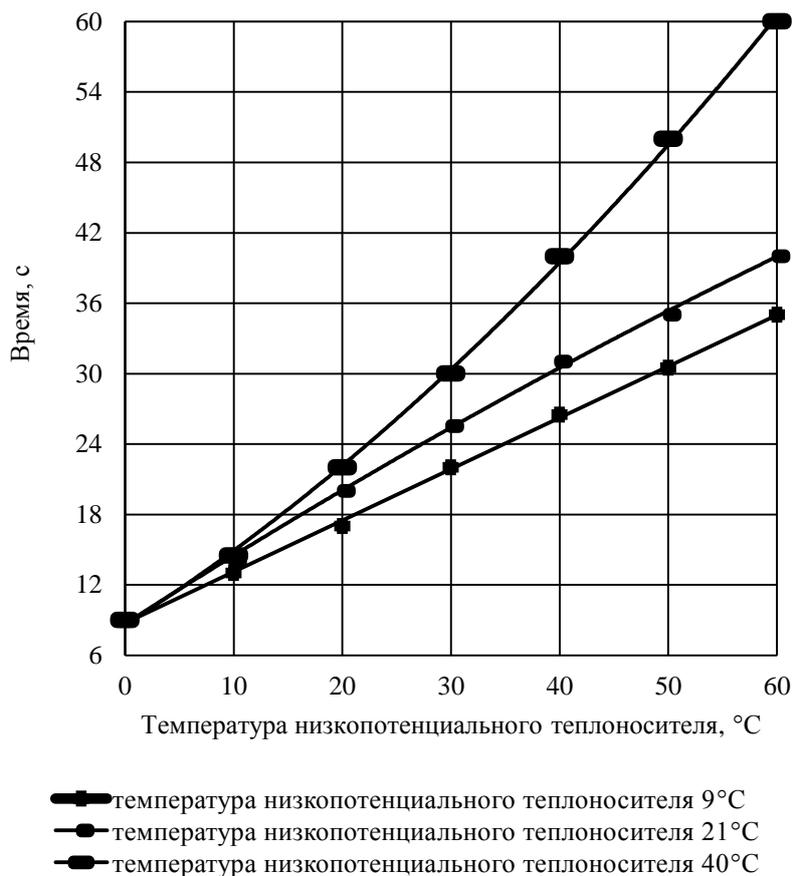


Рисунок 2 – Интенсивность нагрева воды

Исходные данными для эксергетического анализа приведены в таблице 1. На основе полученных данных был произведен эксергетический анализ работы теплового насоса согласно методики [4].

Таблица 1 – Исходные данные

Номер	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	$t_{н2}, ^\circ\text{C}$	$t_{в1}, ^\circ\text{C}$	$t_{в2}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$
1	26	22	9	50	18
2	16	12	9	50	18
3	10	6	9	50	18

По данным расчета были построены графики (рисунки 3,4 и 5).

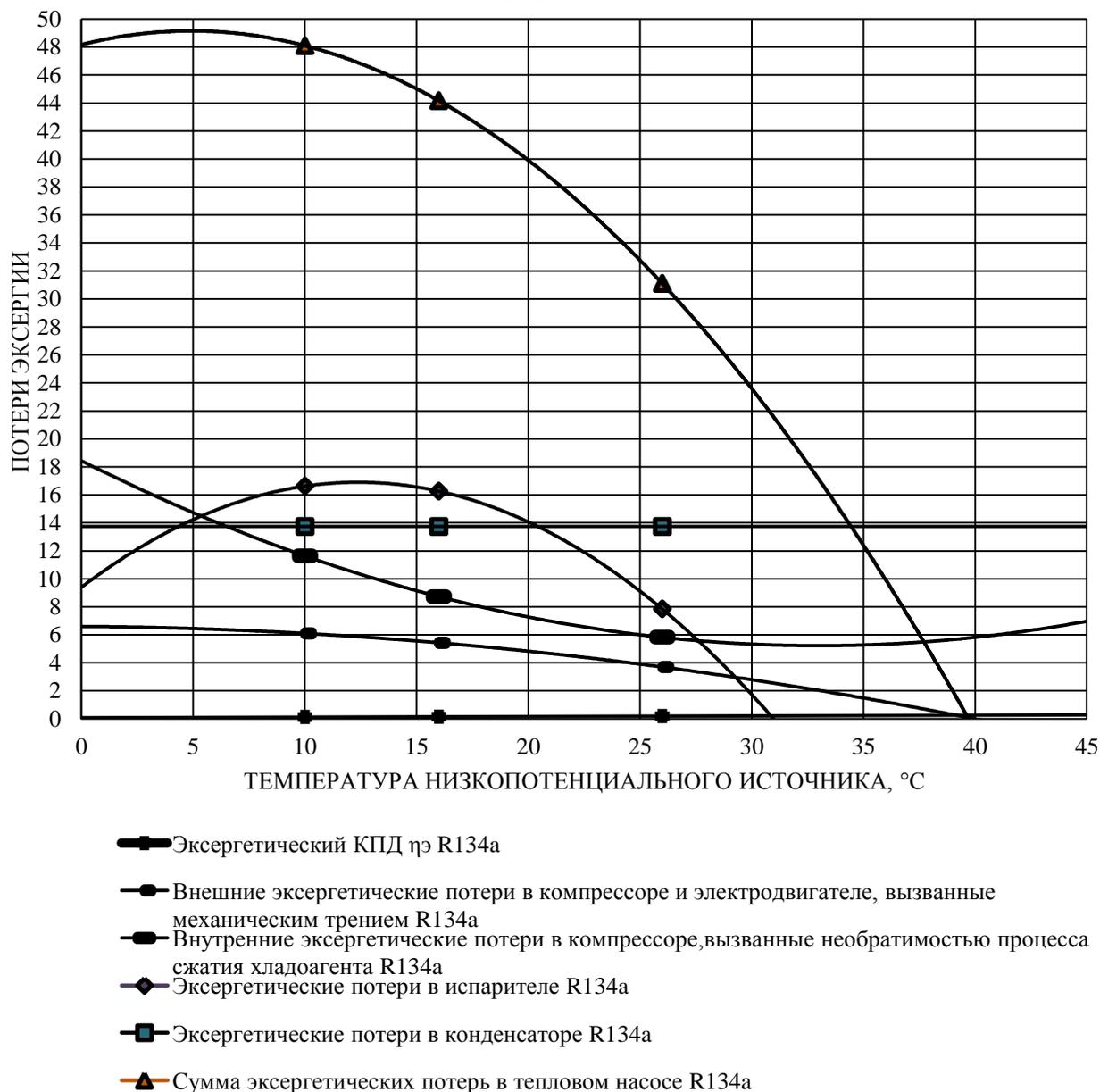


Рисунок 3 – Эксергетические потери тепловом насосе работающем на холодильном агенте R134A

Из анализа рисунка 3 видно, что при увеличении температуры низкопотенциального источника эксергетические потери, происходящие в тепловом насосе, уменьшаются. Однако для эксергетических потерь в испарителе наблюдается экстремум функции при температуре  $16^\circ\text{C}$ . До этой температуры наблюдается повышение потерь, что можно объяснить малым тепловым запасом низкопотенциального источника и особенностью фазового перехода холодильного агента R134A.

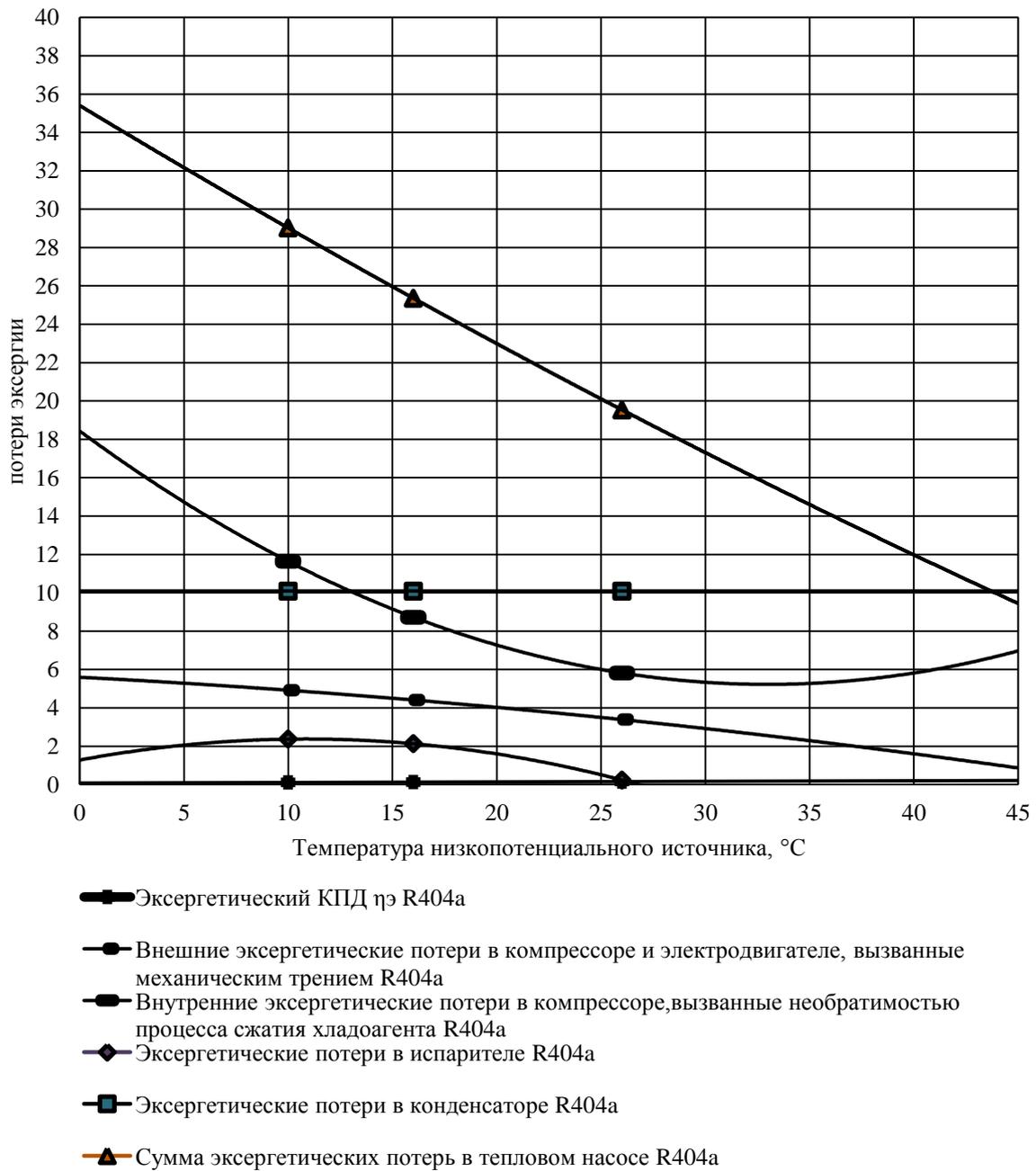


Рисунок 4 – Эксергетические потери тепловом насосе работающем на холодильном агенте R404A

Анализ полученных результатов показал, что для эксергетических потерь в испарителе наблюдается экстремум функции при температуре 16 °C. Это можно объяснить особенностью фазового перехода холодильного агента R404A, так как он является многокомпонентной смесью.

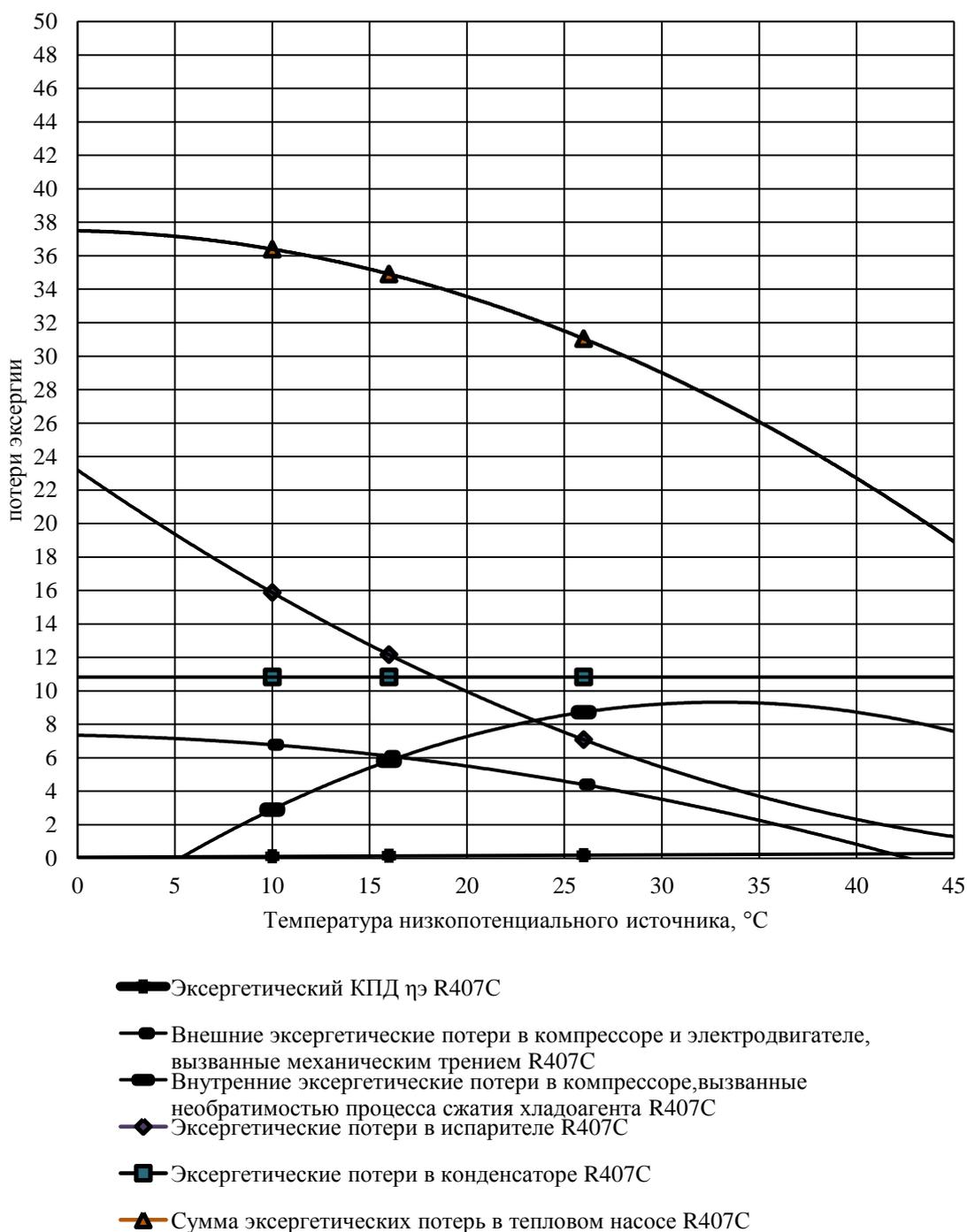


Рисунок 5 – Эксергетические потери в тепловом насосе работающем на холодильном агенте R407C

Анализ полученных результатов показал, что для эксергетических потерь в испарителе наблюдается экстремум функции при температуре 16°C. Это можно объяснить особенностью фазового перехода холодильного агента R407C.

Суммарные эксергетические потери в тепловом насосе для различных холодильных агентов приведены на рисунке 6.

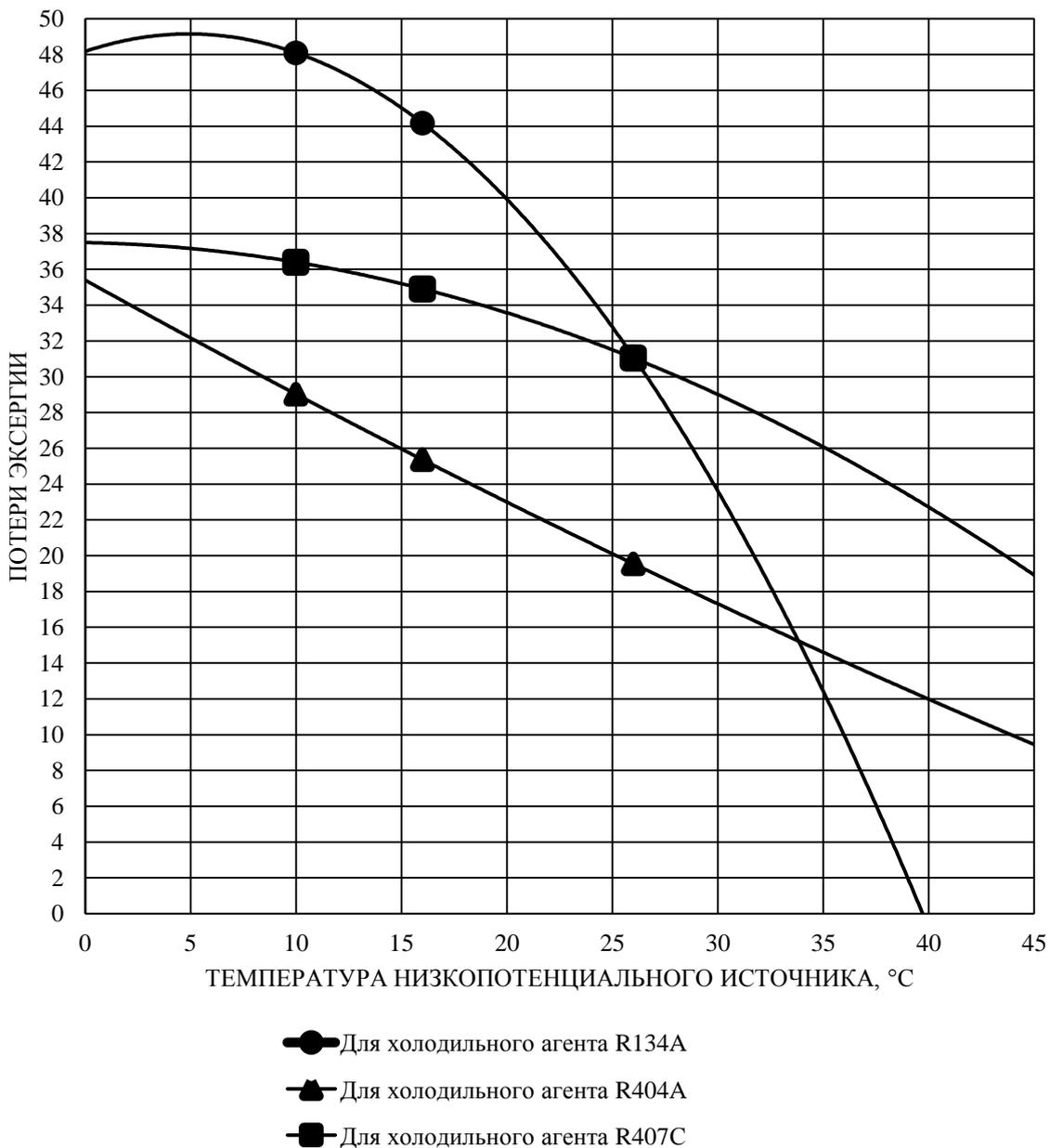


Рисунок 6 – Сумма эксергетических потерь в тепловом насосе

Анализ полученных данных показал, что для работы теплового насоса при температуре низкопотенциального источника до 24 °C целесообразно использовать холодильные агенты R404A и R407C, а для температуры низкопотенциального источника выше 24 °C – R134A.

В результате проведенных исследований было установлено:

- при повышении температуры теплоносителя эксергетические потери в тепловом насосе уменьшаются;
- для наиболее эффективной работы теплового насоса необходимо использовать более высокую температуру низкопотенциального источника теплоты;
- холодильные агенты R404A и R407C целесообразно использовать при температуре низкопотенциального источника до 24 °C, а R134A – для температуры низкопотенциального источника выше 24 °C.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубялис Э., Марцинаускас К., Шкема Р. Возможности и перспектива применения тепловых насосов в производстве низкопотенциальной теплоты // Промышленная теплотехника, 2000. – Т. 22. – №3. – С. 53–56.

2. Алимгазин А.Ш., Бахтиярова С.Г., Бергузинов А.Н. Экологические аспекты применения теплонасосных технологий для теплоснабжения различных объектов в Республике Казахстан // Вестник ПГУ. 2010. – №1. – С. 42-52.

3. Электронный журнал по энергосбережению и энергоэффективности «ЭНЕРГОСОВЕТ» <http://www.energsovet.ru/news.php?zag=1169663251>

4. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. Эксергический метод и его приложения. Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

УДК 665.348:664.3.032.1

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И УСИЛИЙ СЖАТИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

*Джингилбаев С.С., д.т.н., Медведков Е.Б., д.т.н., Кайрбаева А.Е.  
Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан  
E-mail: d.seit@mail.ru, evg\_bm@mail.ru, aika.kai@yandex.kz*

Статья выполнена в рамках выполнения темы «Разработка высокоэффективной технологии комплексной переработки дыни с получением продуктов функционального назначения» в рамках грантового финансирования по бюджетной программе МОН РК №217 «Развитие науки» согласно договору 0400/ГФ4, также в рамках диссертационной работы Кайрбаевой А.Е.

Процесс сжатия, деформации, разрушения и отжима масличного материала имеет сложный механизм, что обусловлено реологическими свойствами пресуемого материала. При моделировании процесса прессования масличного материала одной из важных характеристик является ее степень отжима, которая выражает помимо фильтрационных свойств масличного материала, также степень изменения его относительного объема внутри шнекового тракта маслопресса. Каждый масличный материал имеет свои особенности, и его поведение зависит от многих параметров, таких как влажность, температура прессования, давление и т.д. При этом большое значение имеет и способ воздействия на масличный материал рабочими органами пресса, совершенно очевидно объемное вертикальное сжатие отлично от воздействия медленно вращающего витков шнека при традиционных способах переработки масличного материала. Как было установлено нами, в процессе теоретических исследований, на процесс прессового воздействия на масличный материал существенное влияние оказывает диссипация механической энергии, способность его под воздействием механических рабочих органов маслопресса выделять тепло, при этом поведение и свойства материала отличны от поведения материала при традиционных способах его обработки.

Объектами исследований являлись семена тыквы и дыни отечественных производителей. Для исследований выбраны семена тыквы кормовой и дыни урожая 2015 года.

Линейные размеры семян замерялись штангенциркулем из расчета 100 семян и получали среднеарифметические данные.

Вес семян измеряли на аналитических весах фирмы Shimadzu AUW-320

Массовую долю жира определяли стандартным методом по ГОСТ 1085764

Массовую долю влаги определяли согласно ГОСТ 10856-96

Экспериментально изучены основные физико-механические свойства семян бахчевых культур тыквы и дыни отечественного производителя урожай 2015 года.

В таблицах 1-2 представлены основные физико-механические свойства семян тыквы «Кормовая», дыни сорта «Торпеда», выращенных в РК, Алматинская область, Илийский район, а также для сравнения тыквы сортов «Мускатная» и «Кормовая», дыни сорта «Азиатская овальная», выращенных в Таджикистане, а также дыни «С. Edulis», «Egusi», «Sarakhi», выращенных в странах Африки и Азии.

Таблица 1 – Линейные размеры семян

Сорт семян	Линейные размеры, мм		
	длина	ширина	толщина
Тыква "Кормовая" РК	18,795	11,24	5,84
Дыня сорта "Торпеда"РК	13,07	5,66	1,89

тыква «Мускатная»[1]	16.1-26.6	10.0-16.10	4.0 - 7.7
тыква «Кормовая»[1]	12.4-19.2	7.2-12.3	1.9-3.9
дыня «Азиатская овальная»[1]	10.36-14.35	4.58-6.16	1.11-2.49
дыня «С. Edulis» [2]	12,81	7,02	2,22
дыня «Egiisi» [3]	13,20	7,92	1,85
дыня «Saraxhi» [4]	15.62-17.05	9.15-10.07	3.10-3.16

Таблица 2 – Масса семян бахчевых

Сорт семян	Масса тысячи семян, г	Масса отдельных семян, г
тыква «Мускатная»[1]	482,31	0,14-0,56
тыква «Кормовая»[1]	172,65	0,32 - 0,90
дыня «Азиатская овальная»[1]	54,14	0,03 – 0,08
Тыква «Кормовая» РК	189,5	0,35-0,81
Дыня «Торпеда» РК	97,3	0,08-0,1

В таблице 3, приведены физико-механические показатели семян дыни сорта «Торпеда», урожая 2015 года.

Таблица 3 – Физико-механические показатели семян дыни сорта «Торпеда»

Физико-химические показатели	Результаты		
	кожура	ядро	семена
Свежие, %			
массовая доля влаги	39,16	22,02	55,38
массовая доля жира	0,3	41,31	28,58
Высушенные, %			
массовая доля влаги	6,88	3,77	4,84
массовая доля жира	1,03	42,27	34,74

Массовая доля жира увеличилась на 32,05%

Результаты исследования зависимости усилия разрушения оболочки одиночных семян от их влажности представлены на рисунке 1

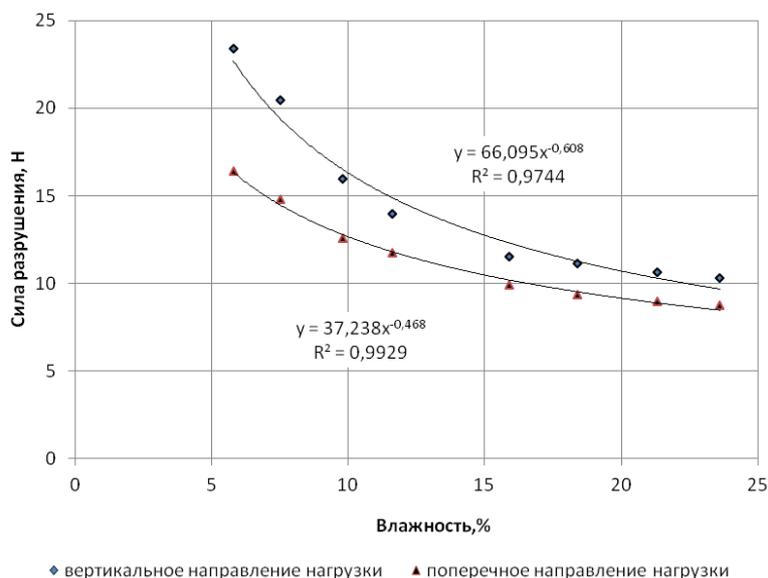


Рисунок 1 – График зависимости усилия разрушения оболочки семян от их влажности

Для изучения поведения группы маслянистого материала от технологических параметров процесса, температуры, давления, степени изменения относительного объема маслянистого материала была разработана лабораторная установка, рисунок -2.

Таблица 4 – Зависимость изменения относительного объёма масляного материала от величины приложения усилия сжатия

$P, \text{МПа}$	9,4	7	5,45	3,9	3,1	0,75	0,4
$\frac{V}{V_0}$ , тыква	0,715	0,688	0,675	0,625	0,58	0,375	0,25
$\frac{V}{V_0}$ , дыня	0,84	0,825	0,813	0,76	0,715	0,45	0,4

В исследовании использовались семена тыквы и дыни.

Прессование материала осуществлялось в толстостенном металлическом цилиндре с перфорированными отверстиями, расположенными на боковых стенках съёмного днища цилиндра. Величина перемещения поршня контролировалась с помощью мерных насечек, нанесенных на боковую грань поршня. Требуемая температура масляного материала достигалась с помощью термостатического шкафа путем нагревания его совместно с металлическим цилиндром и поршнем.

В таблице 4 и на рисунке 3 представлены данные изменения относительного объёма масляного материала (тыквы, дыни) в зависимости от величины приложения усилия сжатия, при температуре масляного сырья  $T = 100^\circ\text{C}$ .



Рисунок 2 – Прибор для определения изменения относительного объёма масляного материала от усилий сжатия семян

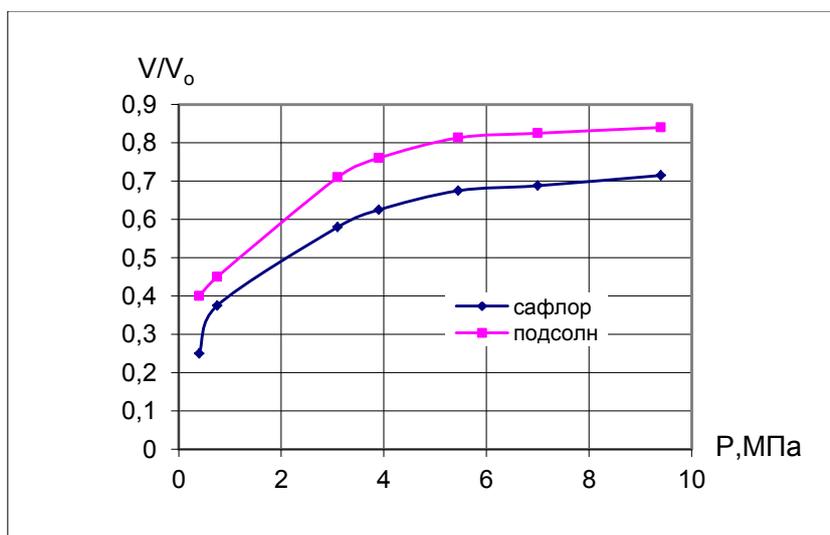


Рисунок 3 – График зависимости изменения относительного объёма масляного материала от величины приложения усилия сжатия

В таблице 5 и на рисунке 4 представлена степень изменения относительного объема масличного сырья (тыквы, дыни) в зависимости от изменения температуры масличного сырья (усилие сжатия  $P = 9.4 \text{ МПа}$ ).

Таблица 5 – Зависимость степени изменения относительного объема масличного сырья от изменения температуры масличного сырья (усилие сжатия  $P = 9.4 \text{ МПа}$ .)

$T, ^\circ\text{C}$	60	80	100	130	140	150	160
$k^v = \frac{V}{V_0}$ ; тыквы	0,7	0,58	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55
$k^v = \frac{V}{V_0}$ ; дыни	0,24	0,21	0,19	0,175	0,17	0,17	0,17

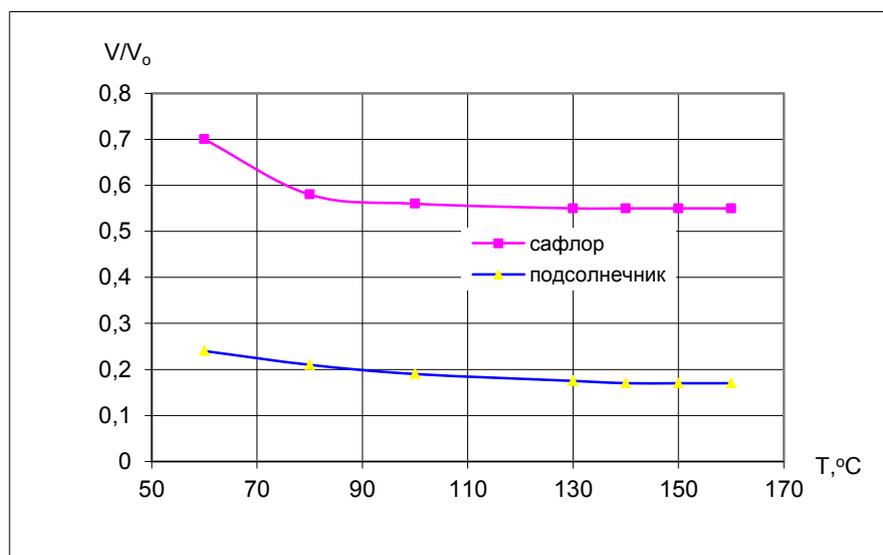


Рисунок 4 – График зависимости степени изменения относительного объема масличного сырья  $k_v = \frac{V}{V_0}$  от изменения температуры масличного сырья (усилие сжатия  $P = 9.4 \text{ МПа}$ )

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением температуры масличного сырья изменение относительного объема вначале резко возрастает, а при температуре  $100 \dots 120 \text{ } ^\circ\text{C}$  ее рост замедляется и устанавливается на уровне 0.55 для тыквы и 0.17 для, дыни. Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными Атыхановым А.К. для кормосмесей, он установил, что при температуре материала  $120 \text{ } ^\circ\text{C}$  и более, изменение относительного объема кормосмеси составило 0.55, и связал это с реологическими особенностями исследуемых материалов.

При изучении процесса прессования растительных материалов многие авторы считают его гидромеханическим процессом. При определении основных параметров прессующего механизма, таких как мощность, производительность и так далее, используют уравнения гидродинамики и рассматривают маслопресс как насос для вязкой жидкости, либо считают масличный материал «идеальной» ньютоновской жидкостью, что на наш взгляд не совсем адекватно для такого технологического процесса и установки. Масличные семена перед переходом их в вязкое пластичное состояние подвергаются ряду таких операций, как измельчение, уплотнение, деформация, под действием витков шнека. Поэтому для описания математическими уравнениями поведения реальных материалов под давлением используем комбинации определенных свойств материала, то есть, используем комбинации реологических уравнений. Поведение реального материала под давлением внутри маслоотжимного пресса будет комбинацией течения «идеальной» жидкости, вязкопластичного течения, сдвига, упругого разрушения твердого тела, деформации и так далее. Наряду с гидродинамическими уравнениями для вязко – пластичных материалов используем

реологические уравнения, выведенные для твердых растительных материалов подвергнутых сдвигу, сжатию, удару и измельчению, что не делали предыдущие исследователи.

Для построения реологических моделей пользуются механическими аналогами идеальных реологических моделей. Общая модель тела и реологическое уравнение обобщенного линейного тела процесса экструзии растительного материала состоит из ряда простых упругих тел Гука, вязкого тела Ньютона и пластичного тела Сен-Венана. Такую модель можно использовать и при рассмотрении взаимодействия рабочих органов маслоотжимного пресса и масличного материала, то есть при рассмотрении использовать законы механики сплошной среды (тела).

Для определения деформации масличных семян в зависимости от приложенного давления использована гиперболическая зависимость, предложенная Соколовым А.Я. и Кучкинсом З.М. для растительных материалов:

$$P = C P_q \exp k_v c_H \rho_0 \frac{L}{L_0 - L}, \quad (1)$$

где:  $P_\delta$  - давление, развиваемое одним витком шнека, МПа;  $c_H$  - коэффициент представляющий приращение начальной плотности материала,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $\rho_0$  - насыпная плотность масличных семян,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $L_0$  - общая длина закрытой камеры, в которой осуществляется сжатие масличного материала, равна длине зерновой камеры, м;  $L$  - длина хода штока (витка шнека) при уплотнении масличных семян, м;  $C$  - коэффициент отражающий приращения плотности масличного материала:

$$C = k_\eta k_v, \quad (2)$$

где:  $k_\eta$  - коэффициент, отражающий приращение плотности материала. Согласно Кучинскому З.М., физический смысл данного коэффициента отражает приращение плотности массы, при котором увеличивается объемный модуль вязкого сопротивления  $\eta$ , который в свою очередь зависит от сдвига или частоты вращения шнекового вала, а также прилагаемого к масличному материалу давлению (Па. с), значение коэффициента определяется эмпирически;  $k_v$  - приращение плотности

масличного материала, при котором увеличивается объемная деформация,  $k_v = \frac{V}{V_0}$ , определяется

экспериментально и зависит, прежде всего от прилагаемого давления и температуры масличного сырья и особенности физика - механических свойств обрабатываемого материала, численные значения коэффициента представлены в таблице 5.

Мощность  $N_{СЖ}$  (кВт), необходимая для уплотнения, деформации и разрушения группы масличных семян внутри маслоотжимного пресса, определена из известного выражения

$$N_{СЖ} = \frac{P \cdot U \cdot n}{1000}, \quad (3)$$

где  $Q = U \cdot n$  - производительность установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Имея в виду выражение (1), окончательно получено

$$N_{СЖ} = \left[ C P_q U n \exp k_v c_H \rho_0 \frac{L}{L_0 - L} \right] : 1000. \quad (4)$$

Приращение плотности «а» определено из конечных условий работы экспериментальной установки. Известно, что усилия сжатия по результатам замеров на экспериментальной установке находятся в пределах от 0...4 МПа. Усилие сжатия, приходящееся на один виток  $P_q$  в осевом направлении шнека, определено из найденного нами выражения

$$P_q = 1,57 \frac{P_\delta}{z} = 0 \dots 1,57.$$

Приращение плотности «а» определено из начальных и конечных усилий сжатия из выражения (3)

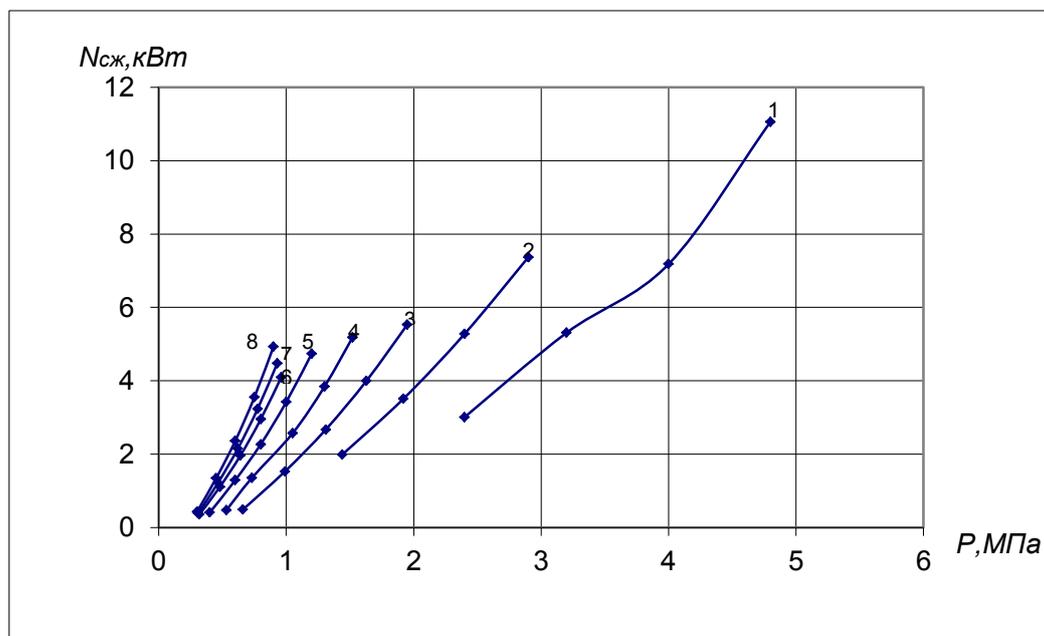
$$c_H = \frac{\ln \frac{P}{P_q}}{\rho_0 \left( \frac{L}{L_0 - L} \right)} = 0.00287 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Согласно исследованиям авторов на усилия сжатия и развиваемую мощность существенное влияние оказывает помимо физико-механических свойств уплотняемого материала также температура обрабатываемого материала. По мере роста температуры величина коэффициента уплотнения «с» и «а» уменьшаются. Анализ данных представленных в таблице 5 показывает что с увеличением температуры перерабатываемого сырья с  $60^0$  до  $80^0$  С градусов мощность процесса переработки снижается на 25 % за счет снижения мощности необходимой для сжатия масляного материала, так как идет уменьшение приращения плотности материала. Таким образом, исследования показали, что прессовая переработка масляного сырья сопровождающаяся выделением тепла, способствует переработке сырья с меньшими энергетическими показателями, по сравнению с другими видами переработки. Результаты по определению мощности, в зависимости от усилий сжатия масляных семян, а также температуры сырья представлены на рисунке 7.

Мощность на сжатие и деформация масляного материала  $N_{сж}$  маслоотжимного пресса в зависимости от развиваемого давления (усилия сжатия витков шнека)  $P$  и частоты вращения шнекового вала  $n$  ( $300, 400, 500, 600 \text{ мин}^{-1}$ ) при деформировании и измельчении масляных семян представлены на рисунке 7.

На основании проведенных исследований сформулированы следующие основные требования к выбору и разработке технологического оборудования:

- увеличение температуры переработки масляного сырья способствует снижению мощности переработки масляного сырья



1 –  $T = 60^0$  С; 2 –  $T = 80^0$  С; 3 –  $T = 100^0$  С; 4 –  $T = 110^0$  С; 5 –  $T = 130^0$  С;  
6 –  $T = 140^0$  С; 6 –  $T = 150^0$  С; 7 –  $T = 160^0$  С

Рисунок 7 – Зависимость мощности сжатия и деформации масляного материала  $N^{сж}$ , от усилий сжатия  $P$ , при различной температуре масляного сырья внутри пресса  $T$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирзоев Г.Х., Основные свойства семян бахчевых культур, важные в процессах их переработки / Мирзоев Г.Х., Деревенко В.В., Лобанов А.А.// Научные труды КубГТУ- 2015. №4.-с 1-11/  
<http://ntk.kubstu.ru/file/377>
2. Davies R.M. Engineering properties of three varieties of melon seeds as potentials for development of melon processing machines // Advance journal of food science and technology. – 2010. – Vol 2(1). – P. 63-66.
3. Determination of selected physical properties of Egusi melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds / Bande Y.M., Adam N.M., Azmi Y., Jamarei O. // Journal of basic & applied sciences. – 2012. – Vol. 8. – P. 257-265.
4. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety/ Koocheki A., Razavi S.M.A., Milani E., Moghadan T.M., Abedini M, Alamatyian S, Izadikhah S // Int. Agrophysics. – 2007. – Vol. 21. – P. 349-359.

## ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

*Дорошенко А.В., доктор тех наук, Жук К.Б., инженер  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: kbzhuk@yahoo.com*

Значительный интерес в мировой науке и практике к возможностям испарительного охлаждения продиктован их высокими энергетическими показателями и экологической эффективностью. Если к этому добавить чрезвычайно широкую область практического использования (традиционная и альтернативная энергетика, холодильная техника, системы обеспечения комфорта), то становится очевидным возрастающий интерес к подобным системам.

Постановка задачи .

Широкое распространение тепломассобменных аппаратов для испарительного охлаждения в последние годы получили аппараты пленочного типа с использованием полимерных многоканальных структур.

Серьезной проблемой являются проблема смачиваемости поверхности и ее решение возможно двумя путями:

1. Формирование каналов сложного лабиринтного сечения и волнообразные поверхности ивого сечения.
2. Дополнительная обработка плоской поверхности теплообмена для увеличения площади контакта водяной пленки.

Авторами были использованы следующие решения: наклеивание на поверхность контакта водяной пленки текстильных тканей натурального и искусственного происхождения (флизелин), а также нанесение регулярной шероховатости механическим путем (шлифование абразивными материалами). Насадки изготавливались из поликарбонатного ячеистого профиля толщиной 10 мм, с двумя поверхностями теплообмена имевших толщину стенок 0,5 мм.

По результатам экспериментов с различным качеством шероховатости и методами её создания, было принято решение перехода на капиллярно-пористые материалы.

Для создания модулей с капиллярно-пористой поверхностью использовались керамические трубы диаметром 28 мм, толщиной стенки 3 мм и микропорами размером  $1,9 \div 2,06$  мкм.

Для режима градирни жидкость циркулировала в трубах, а воздушный поток в межтрубном пространстве. При этом практически отсутствует срыв капель воздушным потоком, а проницаемость материала обеспечивает 100% использование поверхности теплообмена.

Экспериментальное оборудование и задачи исследования.

Экспериментальный стенд для исследования косвенно-испарительного охладителя (НИО) и испарительного охладителя (ПИО) (Рис.1) представляет собой систему воздухопроводов, замкнутую по схеме «воздушно-паровая петля» с контрольно-измерительным оборудованием и оборудованием для создания заданных параметров эксперимента.

Модуль ПИО (НИО) включает в себя головную камеру и системы подготовки потоков. Головная часть стенда – рабочая и водораспределительная, она включает в себя водосборную камеру и три диффузора (входа потока наружного воздуха, выхода основного и вспомогательного воздушного потока). В накопительно-рециркуляционной емкости (3) происходит замер температуры при помощи лабораторных термометров ТЛ-4 с ценой деления 0,1 °С. На выходе из емкости определяется расход воды при помощи ротаметра. Из емкости вода подаётся в водораспределители при помощи электроприводного насоса, расход воды регулируется плавным изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель и вентилем (8). Расход жидкости измеряется при помощи ротаметра типа РС-5 или РС-7. Применяются водораспределители (9) трубчатого (распылительного) типа. Подача потока наружного воздуха осуществляется центробежным вентилятором (2) марки ЦС (12 ЦС 24; 24 ЦС 24). Непосредственно перед вентилятором воздух подогревается калорифером (1), что позволяет регулировать относительную влажность воздуха, входящего в аппарат. На входе потока воздуха в ПИО (НИО), а также на выходах основного и вспомогательного потоков стоят датчики отбора давления, ртутные термометры и термометры сопротивления для измерения параметров воздуха, замеры производятся в диффузорах. Для регулирования расхода основного и вспомогательного воздушных потоков используются регулировочные шиберы (7, 10, 11).

Схема движения потоков воздуха в модуле ПИО (НИО) представлена на Рисунке 2. Схемы подключения модулей ПИО (НИО) показаны на Рисунке 3.

Аэродинамическое сопротивление испытуемых модулей определялось по разности статических давлений, измеренных на входе и выходе ПИО (НИО). Датчики отбора давлений устанавливаются в диффузорах перпендикулярно направлению потоков. Разность статических давлений измерялась микроманометром ММ-250. Для измерения температур используются термометры ТЛ-4 с ценой деления 0,1°C. В период испытаний в лаборатории находились барометр-анероид с ценой деления 1 мм. рт. ст. и лабораторный термометр ТЛ-4 с ценой деления 0,1°C.

Эффективность процесса испарительного охлаждения. Определение величин коэффициентов обмена зачастую не может быть признано удовлетворительным из-за наличия трудностей, связанных с правильным усреднением движущих сил по высоте аппарата. Определение действительной поверхности обмена является задачей чрезвычайно сложной, особенно применительно к аппаратам пленочного типа с высокой плотностью насадочного слоя. Это привело к развитию эмпирических методов, основанных на использовании коэффициентов эффективности процесса. Они позволяют провести анализ и представить опытные данные в виде простом и удобной для проектирования испарительных охладителей. В качестве естественного предела охлаждения воды в градирне принято рассматривать температуру воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат  $t_m^1$ . На выходе из аппарата, в качестве предельного рассматривают состояние насыщенного воздуха, имеющего температуру поступающей на охлаждение воды  $t_{ж}^1$  (воздух с энтальпией  $h_r^{2*}$ ). Эффективность охлаждения воды в градирне и эффективность изменения состояния воздуха можно характеризовать величинами:

$$E_{жс} = \frac{Wc_{жс}(t_{жс}^1 - t_{жс}^2)}{Wc_{жс}(t_{жс}^1 - t_m^1)} = \frac{(t_{жс}^1 - t_{жс}^2)}{(t_{жс}^1 - t_m^1)}, E_г = \frac{G_г(h_г^2 - h_г^1)}{G_г(h_г^{2*} - h_г^1)} = \frac{(h_г^2 - h_г^1)}{(h_г^{2*} - h_г^1)} \quad (1)$$

Величина  $E_{жс}$  равна отношению фактически отведенного от воды тепла к предельному количеству, определяемому равенством ( $t_{жс}^2 = t_m^1$ ). Величина  $E_{жс}$  характеризует только одну сторону процесса в аппарате. Величина  $E_г$  равна отношению тепла, вынесенного из аппарата потоком воздуха к предельному его количеству, определяемому равенством  $h_г^2 = h_г^{2*}$ . Очевидно, чем выше, при данном  $E_{жс}$ , степень использования воздуха, тем ниже расход энергии на привод вентилятора водоохладителя и ниже удельные энергозатраты. Следует предположить наличие зависимостей:

$$E_{жс} = f(l = G_г / G_{жс}, t_{жс}^1, t_m^1) \text{ и } E_г = f(l = G_г / G_{жс}, t_{жс}^1, t_m^1) \quad (2)$$

Реальные значения пределов охлаждения воды и нагревания воздуха определяются, помимо значений  $t_m^1$  и  $t_{жс}^1$ , соотношением потоков  $l = G_г / G_{жс}$ . В зависимости от величины  $l = G_г / G_{жс}$  состояние равновесия может иметь место на верхнем либо нижнем концах охладителя [1-2]. Одновременно на обоих концах равновесие не наступает, что объясняется кривизной линии насыщения. В общем случае новые значения пределов процесса при испарительном охлаждении определяются:

$$t_m^0 = f(t_{жс}^1, t_m^1, l = G_г / G_{жс}); \quad h_г^0 = f(t_{жс}^1, t_m^1, l = G_г / G_{жс}) \quad (3)$$

Анализ полученных результатов

Характер протекания процесса изменения состояния воздушного потока по высоте аппарата показан на рис. 2 для градирни ГРД. Результаты изучения процесса испарительного охлаждения воды приведены в виде зависимости эффективности процесса (степени охлаждения воды в градирне) от характеристического числа  $\Lambda = l / l_{ид}$ , где  $l = G_г / G_{жс}$ . Величина соотношения потоков  $l = G_г / G_{жс} \approx 1,0$ , при этом плотность орошения составляла  $q_{жс} = 5-18 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ . Можно видеть, что, сравнительно с ранее полученными результатами в работе [2] на насадках из алюминиевой фольги, и РН из многоканальных поликарбонатных плит [1] эффективность процесса существенно возрастает. Полученные результаты применительно к процессу испарительного охлаждения воды могут быть описаны уравнениями [1-2]:

$$E_{жс} = c(1 - e^{-1.1\Lambda}), \quad E_г = c(1 - e^{-1.1\Lambda})\Lambda^{-1} \quad (4)$$

Значение постоянной величины «с» в этих уравнениях, в среднем, составляет:  $c = 0.88-0.9$ . Для ГРД с насадкой из алюминиевой фольги  $c = 0.82-0.84$  [2]; для насадок из полимерных материалов  $c = 0.86-0.87$  [1]. Увеличение показателя для ТМА из КПМ обеспечивает реальный рост поверхности переноса в единице объема слоя насадки за счет задержки жидкости.

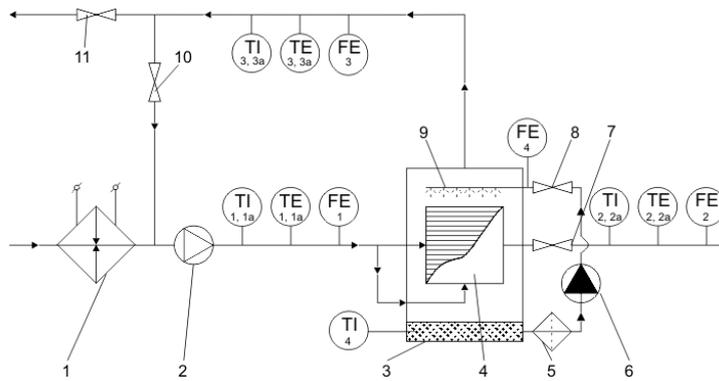


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда.

На схеме цифрами указаны: 1 – электро-калорифер, 2 – вентилятор, 3 – центральная часть стенда с емкостью для циркулирующей воды, 4 – испытываемый модуль, 5 – водяной фильтр, 6 – водяной насос, 7, 10, 11 – воздушные шиберы, 8 – регулирующий вентиль, 9 – ороситель.

Условные обозначения: TE – ртутные термометры с указанием точки замера, номер точки без индекса по сухому термометру, с индексом «а» – по влажному термометру; TI – термопары с указанием точки замера, номер точки без индекса по сухому термометру, с индексом «а» – по влажному термометру; FE – расходомеры измеряемой среды. Точки замера 1 – полный поток, 2 – основной поток, 3 – вспомогательный поток, 4 – рециркулирующая вода.

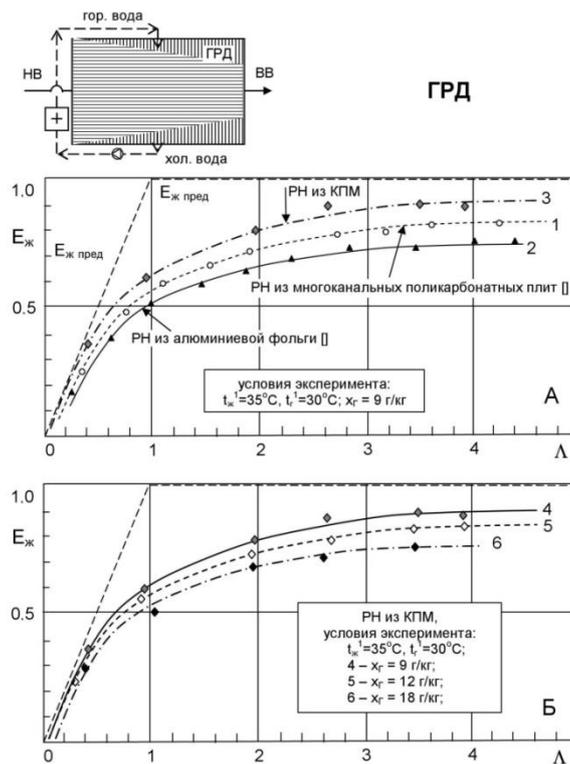


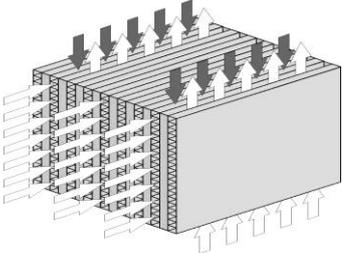
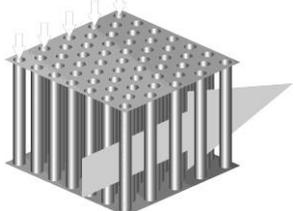
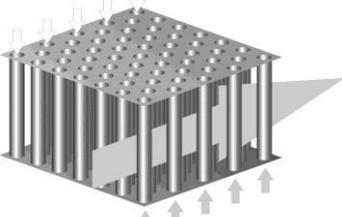
Рисунок 2 - Эффективность процесса охлаждения воды в градирне ГРД, как функция характеристического числа  $\Lambda$ . Экспериментальные данные на насадках из алюминиевой фольги, полимерных многоканальных плит и микропористых керамических пластин (КПМ) при поперечноточной схеме контактирования воды и воздуха.

1 – на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит ПМ с параметрами слоя:  $d_3 = 15\text{мм}$ ,  $L_{\text{РН}} = 400\text{мм}$ ;

2 – по данным работы [1] на насадке из алюминиевой гофрированной фольги Al с параметрами насадочного слоя:  $d_3 = 12\text{мм}$ ;  $L_{\text{РН}} = 400\text{мм}$ ;

3 – на насадке из микропористых керамических пластин КПМ с параметрами слоя насадки:  $d_3 = 18\text{мм}$ ;  $L_{\text{РН}} = 450\text{мм}$ .

Таблица 1. Характеристики и схемы потоков для различных испытываемых насадок.

Эскизы насадок и схемы потоков	Краткое описание и прочие характеристики
	<p>Для режимов непрямого испарительного охлаждения воздуха. Материал: поликарбонат.  Поверхности: гладкая, обклейка синтетическим пористым материалом, покрытие натуральной тканью, механическая шероховатость.  Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,37×0,37×0,34.  Площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>: 5,2.  Живое сечение основного потока, м<sup>2</sup>: 0,0062  Живое сечение вспомогательного потока, м<sup>2</sup>: 0,0067</p>
	<p>Для режима прямого испарительного охлаждения воды или воздуха. Материал: керамическая трубка.  Шахматный пучок по ходу воздушного потока.  Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,2×0,162×0,216.  Площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>: 1,758.  Живое сечение по воздуху, м<sup>2</sup>: 0,0038.  Живое сечение по воде, м<sup>2</sup>: 0,0156.</p>
	<p>Для режима непрямого испарительного охлаждения воздуха. Материал: керамическая трубка.  Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,2×0,162×0,216.  Площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>: 1,758.  Гигроустойчивые со стороны основного потока поверхности, живое сечение, м<sup>2</sup>: 0,0038.  Микропористая поверхность со стороны вспомогательного потока, живое сечение, м<sup>2</sup>: 0,0156.</p>

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. – Одесса: ОНУ, 2012. – 446 с
2. Дорошенко А. Компактная тепломассообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика). Докторская диссертация, Одесский институт низкотемпературной техники и энергетике. Одесса. – 1992. – т. 1. – 350 с., т. 2. – 260 с.
3. Chen, G.M., Zheng, J., Doroshenko, A., Shestopalov, K., 2014a. Design and modeling of a collector-regenerator for solar liquid desiccant cooling system, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
4. Chen, G.M., Doroshenko, A.V., Shestopalov, K.O., Khliyeva, O.Y., 2014b. Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Hangzhou.
5. Doroshenko, A., Shestopalov, K., Khliyeva, O., 2014. Development of new schematic solutions and heat and mass transfer equipment for alternative solar liquid desiccant cooling systems, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.

УДК 536.248.2 : 532.529.5

### РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОДООХЛАДИТЕЛЕЙ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА И АНАЛИЗ ИХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

*Дорошенко А.В., д.т.н., Цапушел А.Н, аспирант  
Одесская государственная академия холода Украина  
E-mail: andrei.tsapushel@yandex.ua*

Применение испарительных охладителей сред (ИО) ограничено климатическими условиями региона, в первую очередь относительной влажностью наружного воздуха, определяющей естественный предел испарительного охлаждения. Применительно к автономным испарительным охладителям (ИО) газов и жидкостей задача состоит в их совершенствовании и расширении области практического применения методов ИО, путем снижения естественного предела испарительного охлаждения, совершенствовании тепломассообменной аппаратуры ИО пленочного типа, основанной

на использовании многоканальных насадочных структур из полимерных или пористых керамических материалов.

#### 1. Идеология развития испарительных воздухо- и водоохладителей

Испарительное охлаждение газов и жидкостей, широко применяясь в традиционной и альтернативной энергетике, в холодильных и криогенных системах и системах кондиционирования воздуха, основано на природной неравновесности окружающей среды (психрометрической разности температур). Охладители прямого типа реализуют процессы испарительного охлаждения при непосредственном взаимодействии сред (воды и воздуха), это водоохладители-градирни (ГРД, СТВ) и воздухоохладители (ПНО, ДЕС). Оба типа охладителей широко используются в современных энергетических системах (на ТЭЦ и ядерных станциях), в холодильной технике и криогенике, а также в системах кондиционирования воздуха. В охладителях непрямого типа взаимодействуют, как правило, три потока, например, в воздухоохладителе НИОг (IESg) это основной воздушный поток «О», охлаждаемый в «сухих» каналах насадки при неизменном влагосодержании, и вспомогательный воздушный поток «В», вступающий в непосредственный контакт с рециркулирующей через аппарат водой (ж), стекающей по стенкам «мокрых» каналов в виде жидкостной пленки. «Сухие» и «мокрые» каналы чередуются в структуре насадки теплообменного аппарата. В водоохладителе непрямого типа НИОж (IESw) (рис. 1А и 2Б) в каналах теплообменника охлаждается «продуктовая» вода, поступающая потребителю (контур ж1-ж2). Воздушный поток непосредственно контактирует с рециркулирующей через «мокрые» каналы аппарата жидкостью (ж) в виде пленки, стекающей по стенкам канала, в центре которого движется воздушный поток. Здесь «продуктовая» вода охлаждается без контакта с воздухом, что принципиально важно, поскольку воздух, поступающий из окружающей среды, запылен и может содержать газовые включения. Такие водоохладители иногда называют «двухконтурными градирнями». К основным принципам построения НИО обоих типов можно отнести как раздельную, так и совмещенную схемы. Это касается теплообменника, вынесенного из испарительного охладителя в одном случае, или размещенного непосредственно в объеме насадочного слоя, в другом.

В сегодняшней мировой практике используют насадочные испарительные охладители ИО (ЕС) сред при противото- и поперечноточных схемах взаимодействия контактирующих потоков газа и жидкости. Это, в каждом случае, имеет свои достоинства и недостатки, но при совместной компоновке ряда аппаратов в единой системе, поперечноточная схема контакта предпочтительна, поскольку позволяет сократить число поворотов воздушных потоков, снижая неравномерность распределения воздушных потоков и энергозатраты на привод вентиляторов. Кроме того она позволяет повысить предельную нагрузку по газу и жидкости (проблема «захлебывания» в насадках высокой плотности при противоточном контактировании сред) [1-2]. В качестве насадки сегодня широко используют моноблочные многоканальные структуры из тонкостенных металлических или полимерных композиций, или пористых керамических структур [1-2, 4-5].

Испарительные водо-и воздухоохладители непрямого типа, построенные по совмещенной схеме. В испарительном воздухоохладителе непрямого типа предел охлаждения определяется комплексом [1]:

$$t^0 = f(t_m^1, l = G_O / G_B, l' = G_B / G_{Ж}),$$

и одновременно характеризует возможности обоих воздушных потоков, основного «О» и вспомогательного «В». Вспомогательный поток «В» охлаждается до более низкой температуры. Особый интерес представляет решение НИО-Rг, где разделение воздушных потоков осуществляется на выходе из «сухой» зоны аппарата (внутреннего теплообменника). Поскольку вспомогательный воздушный поток здесь поступает в испарительную часть охладителя охлажденным при неизменном влагосодержании, его потенциал охлаждения существенно возрастает и предел охлаждения теоретически снижается до температуры точки росы наружного воздуха  $t_p^1$ . Интерес к возможностям решения по схеме НИО-Rг (Ch-Rг) в мировой периодике очень велик [4-5].

На рис. 1 и 2 приведены разработанные авторами решения для водоохладителей непрямого типа НИОж и НИО-Rж (Ch-Rw). Охладитель НИОж аналогичен воздухоохладителю НИОг, с тем отличием, что «основным» продуктовым потоком здесь является охлаждаемая вода. Это двухконтурная градирня, в которой «продуктовая» вода охлаждается бесконтактно, что важно для особо чистых технологий. В «мокрых» каналах процесс полностью аналогичен НИО; предел охлаждения здесь определяется комплексом:

$$t^0 = f(t_m^1, l = G_{Г} / G_{Ж \text{ пр}}, l' = G_{Г} / G_{Ж \text{ рец}}),$$

где  $G_{Ж \text{ рец}}$  – расход рециркулирующей через аппарат воды. Эта вода может быть любого качества и со временем накопления примесей обновляться. Особый интерес представляет решение

водоохладителя непрямого типа по схемам на рис. 1Б и 2В, где разделение воздушных потоков осуществляется на выходе из «сухой» зоны аппарата. Это водяной чиллер Ch-Rw, в котором предел охлаждения также теоретически снижается до температуры точки росы наружного воздуха  $t_p^1$ .

Испарительные водо-и воздухоохладители непрямого типа, построенные по раздельной схеме. Конструктивное оформление чиллеров Ch-Rw по совмещенной схеме, то есть с теплообменником («сухой» частью каналов модуля ИО) затруднительно, поскольку приводит к сложностям распределения воздушных потоков и росту неравномерности их распределения по многоканальной насадке ИО, что резко снижает возможности моделирования на основе теории подобия [1, 3]. На рис. 2 представлены решения, оформленные по раздельным схемам для водоохладителя НИОЖ (Ch-w) и водяного чиллера НИО-Рж (Ch-Rw). Для Ch-Rw предел охлаждения теоретически снижается до температуры точки росы наружного воздуха  $t_p^1$ .

II. Сравнительный анализ возможностей испарительных водоохладителей, градирня ГРД и чиллера Ch-Rw.

Изучались сравнительные возможности испарительных водоохладителей, градирни ГРД и чиллера Ch-Rw (рис. 3). В градирнях ГРД и чиллерах Ch-Rw использовались аналогичные насадочные многоканальные структуры из полимерных материалов. Анализ выполнен при условии  $l = G_r/G_{ж} = 1.0$  для обеих схем охладителей (для чиллера дополнительно принято соотношение расходов жидкости в основных контурах охлаждения, в водо-водяном и водо-воздушном теплообменниках,  $l^* = G_{ж}^1/G_{ж}^2 = 1,0$ ). В работе [1] показано, что оптимальным для градирен, с точки зрения удельных энергозатрат, является величина характеристического числа  $\Lambda = l / l_{ид} = 1,0$ . На H-X диаграмме влажного воздуха показаны процессы в ГРД 1-3 (по воздуху) и 5-6 – по охлаждаемой воде; процессы в Ch-Rw: 1-2-4 и 7-8, соответственно. Состояния воды условно показано точками на кривой насыщения. Степень приближения к пределу  $t_M^1$  составляет для градирни  $2,5^0C$  и для чиллера  $3,0$ , возрастая со снижением предела охлаждения. Видно, что степень приближения к пределу  $t_p^1$  составляет в сравниваемых случаях  $9,5$  и  $5,5^0C$ .

Анализ влияние соотношения расходов газа и жидкости  $l = G_r / G_{ж}$  на характеристики процесса испарительного охлаждения воды Ch-Rw (рис. 4) выполнен в зависимости от соотношения расходов воды в основных контурах охлаждения  $l^* = G_{ж}^1 / G_{ж}^2$  [условия сравнения:  $l = G_r / G_{ж\Sigma} = 1.0$  для всех анализируемых вариантов работы Ch-Rw ( $G_{ж\Sigma} = G_{ж}^1 + G_{ж}^2$ )]. Хорошо видно, как рост доли холодной воды, поступающей в теплообменник предварительного охлаждения воздуха ( $G_{ж}^1$ ) приводит к снижению температуры охлажденной воды  $t_{ж}^2$ , так что величина  $\Delta t^{**} = (t_{ж}^2 - t_p^1)$ , составляет  $3^0C$  для  $l^* = 0,5$ . На рис. 4 видно, как с приближением к естественному пределу испарительного охлаждения кривая изменения состояния воздушного потока вплотную приближается к равновесной кривой, практически сливаясь с ней, что неизбежно связано с опасностью «реконденсации».

1. Сравнительно с прямым испарительным охлаждением воды в градирне ГРД, охлаждение в охладителе-чиллере Ch-Rw обеспечивает возможность значительно понижения температуры; пределом охлаждения здесь является температура точки росы наружного воздуха, что существенно расширяет границы практического использования таких водоохладителей;

2. Дальнейшее приближение к пределу охлаждения в Ch-Rw обеспечивает варьирование соотношения расходов жидкости в основных контурах охлаждения  $l^* = G_{ж}^1 / G_{ж}^2$ , при этом для величины  $l^* = 0,5$  степень приближения к  $t_p^1$  составляет  $\Delta t^{**} = 3,0^0C$ , и может быть еще снижена при росте величины  $l = G_r / G_{ж\Sigma}$ ;

3. Для чиллера-водоохладителя Ch-Rw линия изменения состояния воздушного потока вплотную приближается и в дальнейшем следует линии полного насыщения  $\phi = 100\%$ , что может привести к реконденсации водяных паров и резкому снижению эффективности процесса охлаждения; этот вопрос нуждается в отдельном изучении и в настоящее время в научной литературе практически не рассмотрен;

4. Переход на «глубокое охлаждение» воды в Ch-Rw, сравнительно с градирней, неизбежно приведет к росту удельных энергозатрат; с этой точки зрения интерес представляет изучение оптимальных условий работы такого водоохладителя, в частности, изучение влияния соотношений контактирующих потоков газа и жидкости  $l = G_r / G_{ж}$  на эффективность процесса, а также влияния величины  $l^* = G_{ж}^1 / G_{ж}^2$ , расходов жидкости в основных контурах охлаждения чиллера Ch-Rw, а также выработка соответствующих рекомендаций для расчета и проектирования чиллеров нового класса Ch-Rw.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорошенко А.В., Глауберман М.А. Альтернативная энергетика. Солнечные системы теплохладоснабжения, Одесса, ОНУ им. Мечникова, 2012, 447стр.

2. Chen G.M., Doroshenko A.V., Shestopalov K.O., Khliyeva O.Y. Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives, the 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, August 31-September 2, 2014, Hangzhou.
3. Y. Jiang, X. Xie. Theoretical and performance of an innovative indirect evaporative chiller. Solar Energy 84 (2010) 2041-2055
4. Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling 21<sup>st</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C.
5. Hakan Caliskan, Arif Hepbasli, Ibrahim Dincer, Valeriy Maisotsenko Thermodynamic performance assessment of a novel air cooling cycle: Maisotsenko cycle International Journal of Refrigeration 34 ( 2011 ) 980 – 990

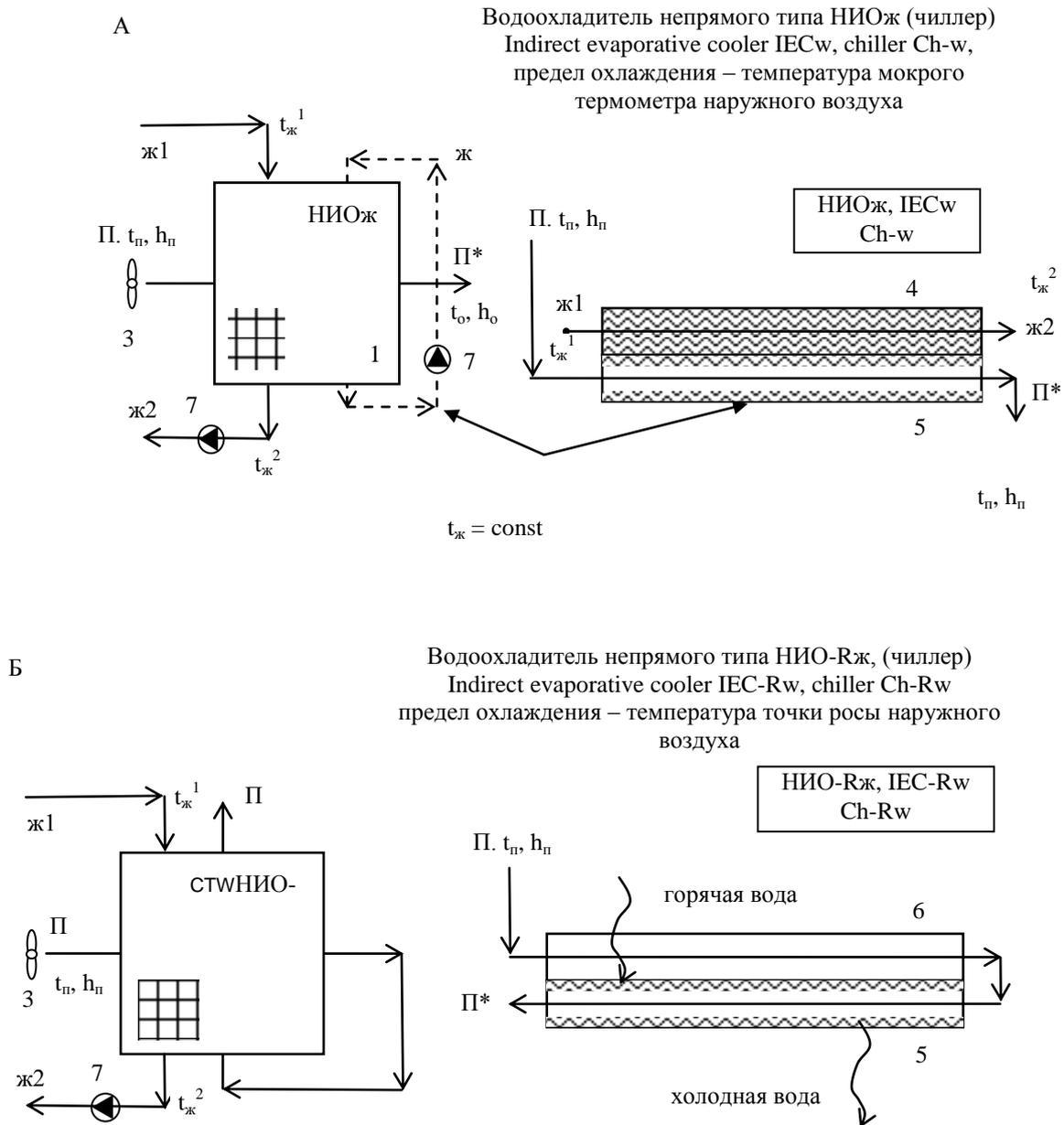


Рисунок 1-. Водоохладители непрямого типа НИОЖ – двухконтурная градирня ГРД/д (А) и чиллер НИО-РЖ (Б), построенные по совмещенной схеме  
Обозначения: 1 – НИОЖ; 2 – НИО-РЖ; 3 – вентилятор; 4 – канал-теплообменник; 5 – «мокрый» канал испарительного охладителя; 6 – «сухой» канал испарительного охладителя; 7 – насос

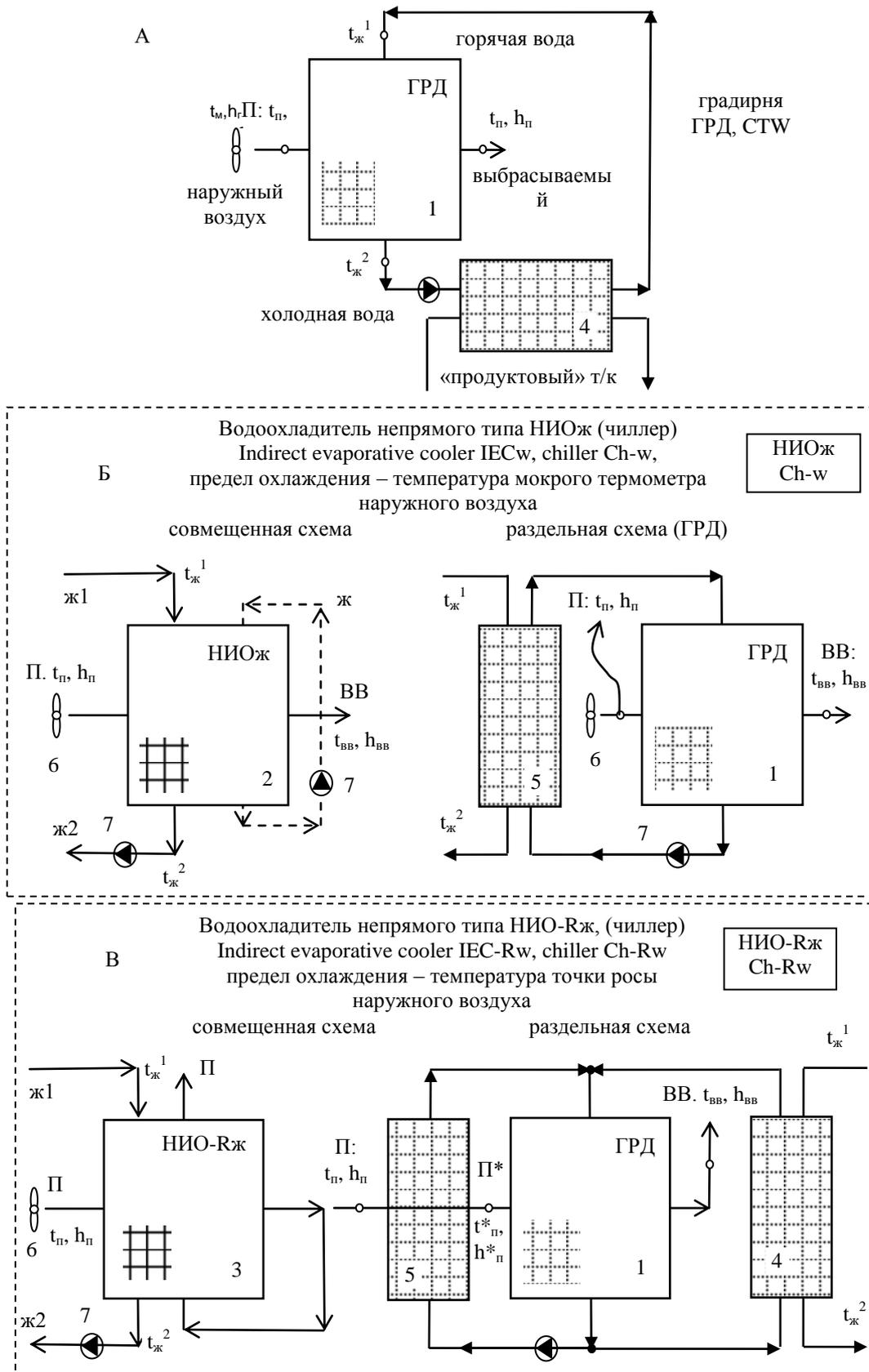


Рисунок 2-. Принципиальные схемные решения испарительных водоохладителей непрямого типа, построенные по совмещенной и раздельной схемам: НИОж (Б) и НИО-Рж (В), соответственно.

Обозначения: 1 – ГРД; 2 – НИОж; 3 – НИО-Рж; 4, 5 – теплообменники; 6 – вентилятор; 7 – водяной насос

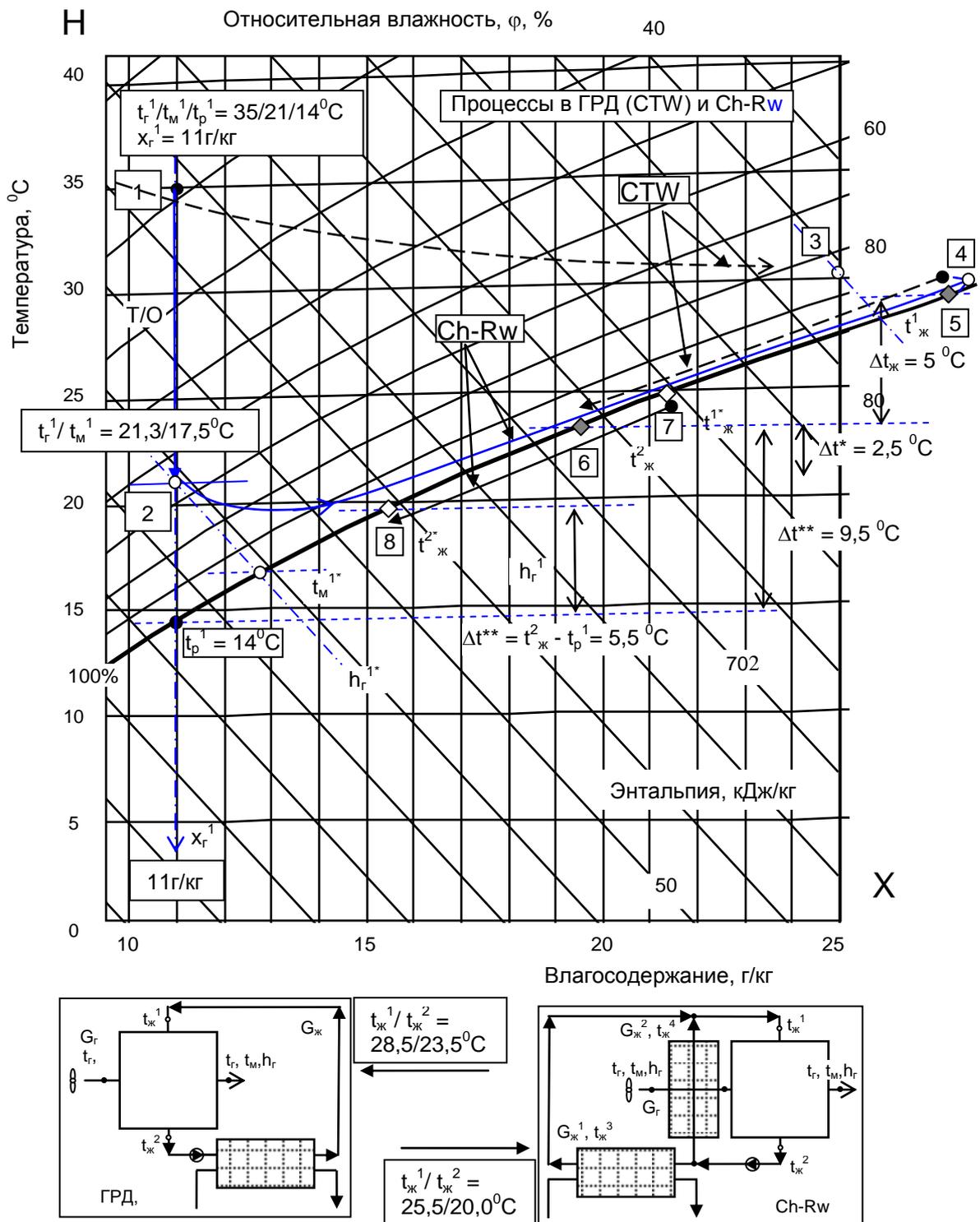
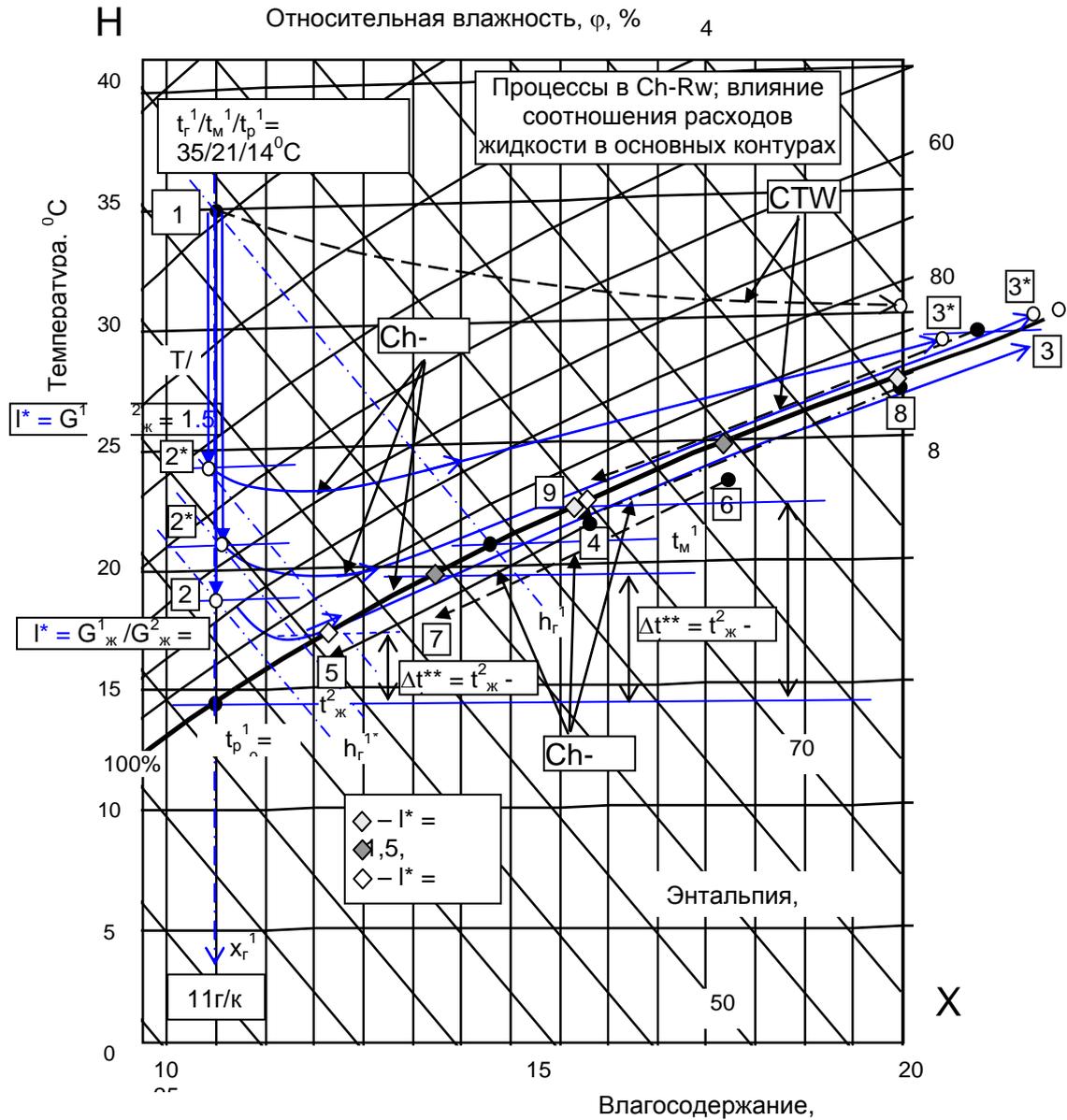


Рисунок 3 -. Сравнительный анализ возможностей испарительных водоохладителей: градирни ГРД (CTW) и водоохладителя-чиллера Ch-Rw. Условия сравнения;  $1 = G_r/G_{ж} = 1,0$  для обеих схем охладителей ( $1^* = G_{ж}^1/G_{ж}^2 = 1,0$ ). Обозначения: 1-3, 5-6 – процессы в ГРД; 1-2-4 и 7-8 процессы в Ch-Rw (изменения состояния воздуха и воды). Состояния воды показано условно точками на кривой насыщения



$t_r^1 = 35^{\circ}\text{C}$ ,  $x_r^1 = 11\text{г/кг}$ ,  
 $t_p^1 = 14^{\circ}\text{C}$  ( $l = G_r / G_{\text{ж}\Sigma} = 1.0$ )

1.  $l^* = G_{\text{ж}^1}^1 / G_{\text{ж}^2}^2 = 1,5$ :  $t_{\text{ж}^1}^1 / t_{\text{ж}^2}^2 = 27,0 / 22,3^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_r = 28,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_r = 96\%$ ;  $\Delta t^{**} = 8,3^{\circ}\text{C}$

2.  $l^* = G_{\text{ж}^1}^1 / G_{\text{ж}^2}^2 = 1,0$ :  $t_{\text{ж}^1}^1 / t_{\text{ж}^2}^2 = 25,5 / 20,0^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_r = 29,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_r = 98\%$ ;  $\Delta t^{**} = 5,5^{\circ}\text{C}$

3.  $l^* = G_{\text{ж}^1}^1 / G_{\text{ж}^2}^2 = 0,5$ :  $t_{\text{ж}^1}^1 / t_{\text{ж}^2}^2 = 23,0 / 17,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_r = 31,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_r = 100\%$ ;  $\Delta t^{**} = 3,0^{\circ}\text{C}$

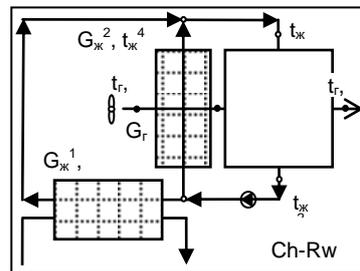


Рисунок 4 - Анализ возможностей водоохладителя-чиллера Ch-Rw в зависимости от соотношения расходов воды в основных контурах охлаждения  $l^* = G_{\text{ж}^1}^1 / G_{\text{ж}^2}^2$ . Условия сравнения:  $l = G_r / G_{\text{ж}\Sigma} = 1.0$  для всех анализируемых вариантов работы Ch-Rw ( $G_{\text{ж}\Sigma} = G_{\text{ж}^1}^1 + G_{\text{ж}^2}^2$ ). Обозначения: 1-3, 5-6 – процессы в ГРД; 1-2-4 и 7-8 процессы в Ch-Rw (изменения состояния воздуха и воды). Состояния воды показано условно точками на кривой насыщения

## СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ЗАМОРОЖЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТАХ

*Безусов А.Т., д.т.н., Доценко Н.В., к.т.н., Подорога В.И., магистр  
Одесская национальная академия пищевых технологий Украина  
E-mail: n-dotsenko@ukr.net*

Питание является одним из главных факторов, определяющих развитие организма, работоспособность и здоровье человека. Медицинские исследования последних лет доказывают, что здоровье человека в значительной степени определяется составом и характером питания. Более 70% людей питаются несбалансированно, что вызывает проблемы в работе организма из-за недостаточной обеспеченности его биологически активными веществами [1]. К ним относятся: витамины, незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, антиоксиданты, минеральные элементы.

Современной пищевой промышленности необходимо переориентироваться на производство продуктов питания с новыми качествами, улучшающими питание. Новой тенденцией в создании продуктов с заданными свойствами является нахождение связи между биохимическими структурами, которые в естественном виде встречаются в продуктах питания. Продукты нового поколения призваны обеспечить соответствие химического состава пищевых рационов физиологическим потребностям организма. [2,3]

По данным науки о питании овощи приобретают все большее значение в профилактике и лечении ряда заболеваний. Особое значение имеют так называемые зеленые овощи. На сегодняшний день одним из перспективных направлений исследований является совершенствование технологии переработки зеленых листовых овощей с целью максимального сохранения в них биологически активных веществ и функциональных составляющих, а именно – хлорофилла.

Техногенное загрязнение окружающей среды, постоянный психологический стресс и другие вредные факторы значительно влияют на организм человека, поэтому положительно изменить качество жизни можно улучшив питание, употребляя продукты специального или оздоровительного назначения. [4,5]

Оздоровительные пищевые продукты – это продукты, которые компенсируют дефицит биологически активных компонентов в организме, а также поддерживают нормальную функциональную активность органов и систем, снижают риск возникновения различных заболеваний и могут употребляться регулярно в составе обычного рациона питания. Согласно последним данным для полного удовлетворения жизненных потребностей пища человека должна содержать более 20000 различных пищевых соединений растительного, животного и микробного происхождения. [6]

Продукты с функциональными свойствами достаточно распространены во многих странах мира. В некоторых странах Европы предусмотрены государственные дотации на обогащение продуктов питания витаминами и микронутриентами. Сейчас Япония занимает первое место по продолжительности жизни, специалисты связывают это именно с продуктами питания. Доля функциональных продуктов на нашем рынке пока не превышает 3-5% всех известных пищевых продуктов. Во многих странах Европы выпуск таких продуктов достигает 20% от общего объема. [7]

Особое внимание ученых в последние годы привлекли к себе продукты на основе зеленых листовых овощей, которые содержат в своем составе функциональную составляющую – хлорофилл. Они помогают нормализовать обмен веществ, восполнить дефицит жизненно важных витаминов, макро- и микроэлементов, насытить организм кислородом, а также они обладают антибактериальным, противовоспалительным и иммуномодулирующим действием. Хлорофиллы способны образовывать комплексы с ионами металлов и связывать свободные радикалы. Они влияют на процессы метаболизма и обезвреживания чужеродных веществ, являющихся канцерогенными и мутагенными. [8,9]

Хлорофилл – зеленый пигмент, обуславливающий окраску хлоропластов растений в зеленый цвет. При его участии осуществляется процесс фотосинтеза. Хлорофилл присутствует во всех фотосинтезирующих организмах – высших растениях, сине-зеленых водорослях (цианобактериях) и бактериях. Хлорофилл распределен в клетках растений неравномерно и находится лишь в особых органеллах клетки – пластидах.

99% хлорофилла находится в составе светособирающих пигментных белковых комплексов, которые выполняют функцию антенны, то есть поглощают солнечную энергию или берут ее от

вспомогательных пигментов – каротиноидов, а затем транспортируют в реакционных центров. Менее 1% хлорофилла находится в составе реакционных центров, осуществляющих запуск цепи фотосинтетического транспорта электронов. [10]

Использование листовых овощей отечественного происхождения является доступным сырьем для продуктов с высоким содержанием биологически активных веществ, в частности хлорофилла. На сегодняшний день практически отсутствуют технологии изготовления хлорофиллсодержащих продуктов, которые бы в полной мере сохраняли бы свои натуральные свойства. Это объясняется тем, что при тепловой обработке разрушается часть активных веществ и интенсивный зеленый цвет меняется на оливковый.

Таким образом, разработка технологии, которая позволит сохранить зеленый цвет продуктов из листовых овощей и тем самым их природный состав является весьма актуальной.

Целью работы является разработка технологии замороженных продуктов с высокой биологической ценностью и стабильным зеленым цветом. Согласно поставленной цели были проведены: исследования влияние тепловой обработки листовых овощей на сохранение хлорофилла; определено влияние солей металлов на стабилизацию зеленого цвета; установлено физико-химические и органолептические свойства замороженных листовых овощей и хлорофиллсодержащих продуктов.

Зеленые листовые овощи выделяются среди другого растительного сырья высоким содержанием хлорофилла,  $\beta$ -каротина, аскорбиновой кислоты, фенольных соединений и других БАВ, которые имеют иммуномодулирующее и антиоксидантное действие.

К зеленым овощным культурам относят шпинат, салат, укроп, петрушка, щавель и другие. С учетом особенностей химической природы зеленых листовых культур в качестве сырья для разработки технологии хлорофиллсодержащих продуктов был выбран шпинат.

Шпинат содержит целый комплекс полезных и необходимых организму веществ: белки, углеводы, органические, насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, клетчатка, крахмал, сахара, витамины А, Е, С, Н, К, РР, много витаминов группы В, кальций, магний, натрий, калий, фосфор, железо, цинк, медь, марганец, селен. [11] В листьях шпината очень много белка: больше его только в бобовых – молодой фасоли и зеленом горошке. В шпинате также содержится аскорбиновая кислота и каротин.

Железо повышает уровень гемоглобина, который нужен всем без исключения, а особенно маленьким детям и беременным женщинам. Гемоглобин поставляет клеткам кислород, так как улучшается общее состояние организма, мозговая деятельность. Шпинат усваивается очень легко, поэтому полезен при проблемах с желудочно-кишечным трактом. Он ускоряет метаболизм, улучшает деятельность всех органов пищеварительной системы. Очень эффективный шпинат для восстановления функций кишечника и поджелудочной железы. Врачи рекомендуют употреблять шпинат тем, кто страдает туберкулезом, анемией, сахарным диабетом, при переутомлении. Употребление шпината очень полезно для здоровья глаз: в нем содержится лютеин и другие вещества, защищающие нервные клетки и предотвращают такое серьезное заболевание, как дистрофия сетчатки. Лютеин улучшает остроту зрения и снижает утомляемость при работе за компьютером. [12,13]

В сырье и обработанных образцах определяли массовую долю хлорофиллов. Главным параметром контроля качества при изучении стабилизации хлорофильных комплексов было выбрано количественное определение хлорофилла.

Для выделения чистой смеси хлорофиллов листьев обрабатывали 80% ацетоном, давали настояться 10-15 мин. и сливали в колбу. Экстракцию повторяли несколько раз до обесцвечивания воды. Полученный экстракт переносили в специальный сосуд, оснащенный краном. К смеси ацетона добавляли эфир и воду и через некоторое время получали распределение на две фракции: нижнюю - бесцветную водно-ацетоновая и верхнюю - зеленого цвета. Все пигменты при разведении ацетона водой переходили в петролейный эфир.

Для удаления ксантофила эфир промывали несколько раз 85% метанолом, пока нижний метаноловый слой не переставал окрашиваться в желтый цвет. Эфир, остался и содержал хлорофилл, снова промывали водой для удаления метанола. После отмывания метилового спирта эфир содержит хлорофилл. Для его определения суспензию хлорофилла переносили в капсулы и центрифугировали при 3000 об./мин. Так получали осадок хлорофилла, который по расчетам считали общим количеством хлорофилла в продукте.

Конечными продуктами хлорофильного распада являются его формы: хлорофилл *a* и *b*. Определяли эти формы с помощью спектрофотометрического метода. Суть этого метода заключается в измерении оптической плотности вытяжки пигментов на спектрофотометре при различных длинах

волн. Для хлорофилла *a* выставляли длину волн 665 нм, а для хлорофилла *b* – 645 нм, расчет концентрации зеленых пигментов проводили по соответствующим уравнениями. [9,14]

Во время фотосинтеза у здоровых растительных клетках хлорофилл защищен от разрушения каротиноидами и липидами, которые его окружают. Как только в результате старения растения, изъятие пигментов с растительной ткани или повреждении клеток в процессе обработки, эта защита теряется и хлорофиллы разрушаются. [15]

Удаление магния приводит к деструкции пигментного комплекса сырья и образования производного феофитина, имеющего бурую окраску. Ухудшение органолептических показателей приводит к понижению конкурентоспособности и потребительского спроса на продукт.

Основные усилия были направлены на установление влияния предварительной обработки на пигментный комплекс листовых овощей, поиски способов стабилизации зеленого цвета консервированных продуктов из листовых овощей и разработку технологии хлорофиллсодержащих замороженных продуктов с высокой пищевой и биологической ценностью и стабильным зеленым цветом готового продукта.

Продукты из листовой зелени является сезонной сырьем, которые необходимо хранить в зимний период с помощью различных методов консервирования. Когда сырье в процессе производства подвергается тепловой обработке, одним из нежелательных последствий этого является разрушение зеленых пигментов, которое достигает 80-90%. Поэтому бланшированные продукты существенно отличаются по цвету от натурального свежего сырья.

Значительные потери биологически активных веществ зеленых овощей происходят на стадии измельчения за счет протекания окислительных реакций, денатурации белков и частично разрушается ряд витаминов.

Исходя из того, что одним из главных органолептических показателей готовых продуктов является цвет, в исследованиях уделялось внимание изменению пигментного комплекса в процессе тепловой обработки. Красящие вещества листовых овощей представлены хлорофиллом, каротиноидами и флавоноидами. Наибольший удельный вес в формировании окраски имеют хлорофиллы. Они легко разрушаются под воздействием различных факторов: повышенной кислотности, воздействия кислород воздуха и света (фотоокисления).

Этот процесс включает распад хлоропластов и разрушение хлорофилла. Подробно механизм разрушения хлорофилла пока не изучен. Известно лишь, что на ранних стадиях его распада теряются фитол и атом магния, в результате чего образуется феофорбид [16]. Порфириновая система колец затем расщепляется с образованием бесцветных соединений, имеющих сравнительно небольшую молекулярную массу.

Стабилизация цвета зеленых листовых овощей может достигаться различными путями: за счет предупреждения процессов ферментативного окисления; введение добавок органического и минерального происхождения; создание защитных условий для хлорофиллсодержащих пигментов.

В лабораторных условиях были установлены условия активации ферментативной системы зеленых листовых овощей, принимающих участие в биосинтезе хлорофилла.

Современные способы улучшения зеленого цвета овощей в процессе переработки и выделения хлорофиллов, которые можно использовать как пищевые красители, сводятся к использованию комплексов производных хлорофилла с металлами. По химическому строению хлорофиллы – магниевые комплексы ферментов. Удаление магния приводит к деструкции пигментного комплекса сырья и образованию феофитина, что обуславливает бурую окраску. Атом магния в молекуле хлорофилла может быть заменен на  $\text{Cu}^{2+}$  или  $\text{Zn}^{2+}$  в определенных условиях. После замены атома магния хлорофилл становится более стабильным и приобретает ярко-зеленую окраску. [17,18]

Процесс модификации зеленого цвета листовых овощей основан именно на образовании новых комплексов с металлами.

Комплексы феофитин с медью промышленно выпускаются под названием «медный комплекс хлорофилла». Такие производные разрешены для использования в пищевых продуктах в большинстве стран ЕС и применяют в производстве консервов, молочных продуктов, конфет и безалкогольной продукции. При этом содержание свободной меди должна составлять не более 200 мг/кг. Медь в определенных количествах нужна для функционирования организма человека. Суточная потребность взрослого человека в меди, по данным ВОЗ, должна составлять 0,03 мг/кг массы тела, максимальное суточное поступление 0,05 мг/кг.

Потребность человека в цинке в десять раз больше, чем у меди. Суточная норма потребления цинка с пищей для взрослого человека составляет 22 мг, а токсический предел – 200 мг в сутки.

Таким образом, решено было проводить опыты с обработкой зеленых овощей в растворах меди и цинка. Выдерживали листья шпината в растворах с концентрацией от 5 до 70 мг/л и получили, что при выдержке шпината в растворе меди уже с концентрацией 10 мг/л происходила стабилизация зеленой окраски. А при обработке сырья в растворе с сульфатом цинка стабилизации цвета наблюдалась при концентрации ионов цинка от 50 мг/л.

Несмотря на то, что в реакциях с медью при меньшей концентрации металла в растворе получили быстрый эффект стабилизации цвета, было решено сконцентрировать исследования на обработке в растворах цинка. Главным в производстве пищевых продуктов должна быть безопасность людей при их потреблении. А медь, которая поступает в организм даже в критических дозах, может накапливаться в печени, что будет вызывать физиологические расстройства в организме.

Для того, чтобы исследовать влияние ионов цинка на пигментный комплекс шпината проводили выдержку листьев шпината в растворах сульфата цинка, которые обеспечивали концентрацию ионов от 5 мг до 30 мг/100 г в течение 60-90 мин.

Таблица 1 – Влияние концентрации ионов цинка на содержание хлорофиллов

Массовая концентрация цинка, мг/100 г	Хлорофилл а, мг/100 г	Хлорофилл b, мг/100 г
Контроль (без обработки)	90,5	25,5
5	100,5	30,0
10	110,0	35,5
20	140,5	60,0
30	250,5	85,0

Как видно из результатов исследований, приведенных в табл.1, зеленые овощи, которые выдерживали в растворе цинка с концентрацией 30 мг/100г дали лучшие результаты. Суммарное количество хлорофилла в контрольном образце составило 116 мг/100г. После часовой выдержки в растворе с максимальной исследовательской концентрацией цинка суммарное количество хлорофилла составило 335 мг/100г, что почти в 3 раза увеличило его содержание по сравнению с необработанным сырьем.

Из опытов видно, что выдержка в растворах сульфата цинка дает увеличение количества хлорофилла и тем самым способствует обеспечению интенсивного зеленого цвета овощей. Но для сохранения листовой зелени необходима их термическая обработка, которая и является причиной разрушения хлорофильного комплекса. Поэтому вторым этапом исследований было определение режимов бланширования с применением растворов цинка для стабилизации цвета.

Бланширование (кратковременная термическая обработка) проводилось с целью инактивации ферментов в воде, как это предусмотрено по традиционной технологии и в растворе с цинком. Продолжительность бланширования изменялась в пределах от 5 до 20мин.

Согласно рис.1 определили, что оптимальной концентрацией для стабилизации зеленого цвета в термически обработанном продукте является концентрация 30 мг/100г, при этом продолжительность обработки в течение 10 мин давала незначительное улучшение результата. Так, увеличение содержания суммарного хлорофилла составляло 5 мг/100 г продукта, если сравнивать термическую обработку в течение 5 мин и 10 мин. Поэтому нецелесообразно проводить длительную обработку в течение 10 мин в горячем растворе температурой 90<sup>0</sup>С, которая вызывает существенные деструкционные изменения питательных веществ сырья. Согласно проведенным исследованиям можно рекомендовать режим обработки при бланшировании в растворе цинка с концентрацией 30 мг/100г в течение 5 мин при температуре 90<sup>0</sup>С. Именно при таких условиях разрушаются ферменты (контроль проводили по пероксидазе) и благодаря температуре ниже 100<sup>0</sup>С лучше сохраняются природные свойства сырья и обеспечивая стабильную зеленую окраску.

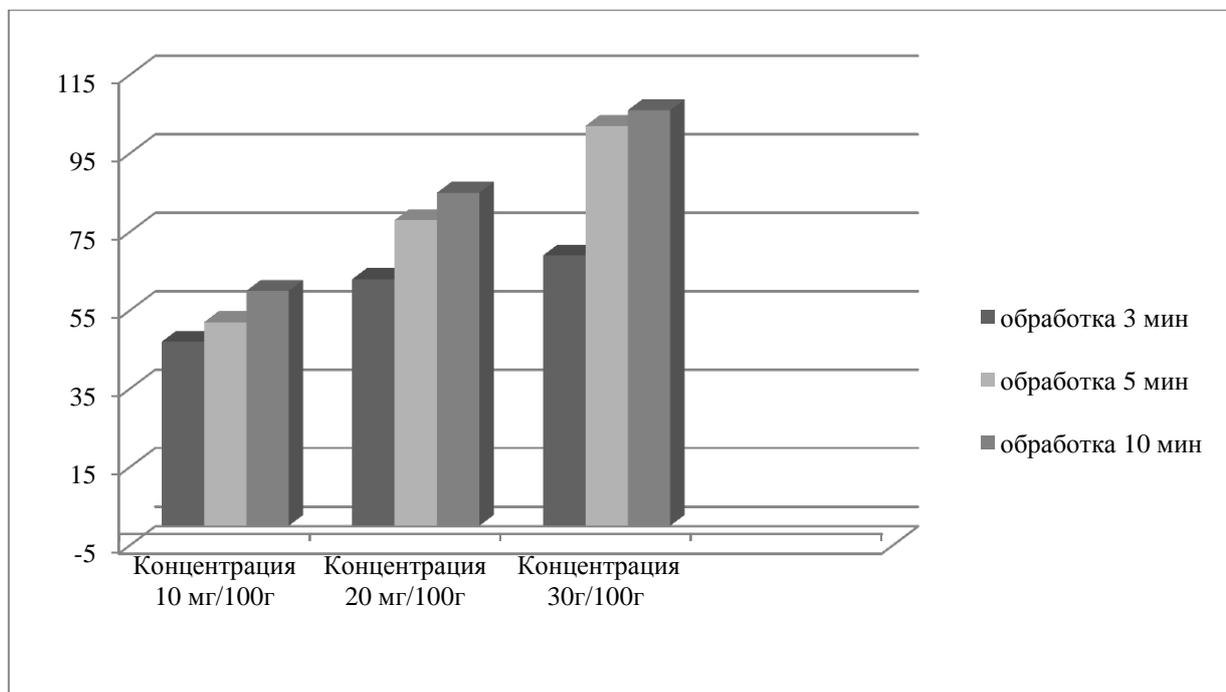


Рисунок 1 – Влияние концентрации цинка в растворах для бланширования на содержание хлорофилла и стабилизации цвета в зависимости от продолжительности обработки

Подготовленные при таких условиях образцы готовы для дальнейшего длительного хранения. Лучшим методом для длительного хранения растительного сырья является замораживание. Низкотемпературная обработка позволяет максимально сохранить химико-технологические свойства продукта.

Предложена промышленная организация производства замороженного шпината, где возможно подобрать оборудование для линии производительностью от 300кг/ч до 1 т/ч.

Шпинат, поступивший на завод, ленточным конвейером подают во вращающийся барабан диаметром 1,2м с частотой вращения около  $30 \text{ мин}^{-1}$ , где листья очищают от примесей. Далее сырье подают на сортировочный конвейер, после чего поступает на мойку с помощью душевых форсунок. Далее на предварительную обработку в растворе соли цинка при разработанных параметрах, после чего шпинат подают на бланширование горячей водой с добавлением сульфата цинка при  $90^\circ\text{C}$  5-7мин для инактивации пероксидазы. Воду в бланширователе подогревают острым паром и контролируют концентрацию цинка в ней. Непосредственно после тепловой обработки листья подают под холодный душ, где охлаждают их до  $10^\circ\text{C}$ , а затем попадает на конвейерную ленту отжима (ширина около 1,5 м, угол наклона  $30^\circ$ ), над которой смонтирована вторая лента, что прижимается к нижней с помощью пружин. Силу прижима можно регулировать с таким расчетом, чтобы содержание сухого вещества был бы не ниже 6%. Далее листья можно подавать на замораживания в целом виде, а можно, что целесообразнее, получать пюре. Для этого листья измельчают до пюреобразного состояния на специальных протирочных машинах с диаметрами отверстий в 1,2 мм.

Измельченный продукт направляют в охладитель, где охлаждается до  $2^\circ\text{C}$  и его передают в изолированный сборник, который позволяет производственный процесс сделать независимым от упаковки. Для предупреждения расслоения продукта в сборнике установлена мешалка с частотой вращения  $2 \text{ мин}^{-1}$ . Из сборника шпинатная масса засасывается насосом и подается в специальные фасовочные автоматы типа «Хассия», которые дозируют и упаковывают продукт в порционные емкости от 0,1 до 1 кг. Расфасованный продукт подается в скороморозильные аппараты с температурой охлаждающей среды  $-35 \dots -40^\circ\text{C}$ . Продолжительность замораживания зависит от массы фасовочной единицы.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что соли меди и цинка влияют на цвет хлорофиллсодержащих овощей, они стабилизируют их зеленый цвет. Соли меди сохраняют цвет значительно лучше по сравнению с солями цинка, так, опытным путем получили, что для стабилизации цвета достаточно раствор меди с концентрацией 10 мг/л. Но, так как

медь может накапливаться в печени и вызывать физиологические расстройства в организме от дальнейших опытов с этим металлом отказались.

Установлено концентрацию ионов цинка для накопления хлорофилла и его производных в зеленых овощах. Определены режимы кратковременной температурной обработки листовых овощей для инактивации ферментов без существенных изменений зеленого цвета. Режим обработки бланширования в растворе цинка с концентрацией 30 мг/100г должен происходить при температуре 90 °С в течение 8-10 мин.

Даны практические рекомендации по технологии производства замороженной листовой зелени и овощного пюре с высоким содержанием хлорофилла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшова, А.А. Пища XXI века и особенности ее создания [Текст] /А.А Кудряшова// Пищевая промышленность – 2012. - №12. – С. 48-50.
2. Дудкин, М.С. Новые продукты питания / Дудкин М.С., Щелкунов Л.Ф. – М.: МАИК «Наука», 1998.- 304с.
3. Richardson D.P. Functional Food and Health Claims [Text] // The world of Functional ingredients 2002, September. – P.12-20
4. Дадали, В.А. Биологически активные вещества лекарственных растений как фактор детоксикации организма [Текст]/ В.А. Дадали, В.Г. Макаров // Вопросы питания. - №5, 2003.-С. 49-55.
5. Токаев, Э.С. Биологически активные вещества улучшающие функциональное состояние печени [Текст]/ Э.С. Токаев, Н.П. Блохина, Е.А. Некрасов // Вопросы питания. -№ 4, 2007. – С. 4-9.
6. Тутельян, В.А. Биологически активные добавки к пище: современные подходы к обеспечению качества и безопасности [Текст] / В.А. Тутельян, Б.П. Суханов // Вопросы питания. - № 4, 2008. – С. 4-15.
7. Bellisle, F. Functional Food Science in Europe [Text]/ F. Bellisle, A.T. Diplock, G. Hornstra / British J. Nutrition.- 1998. – Vol 80. – P. 193.
8. Арсеньева, Т.П. Основные вещества для обогащения продуктов питания [Текст]/ Т.П. Арсеньева, И.В. Баранова // Пищевая промышленность. – 2007. - № 1. – С. 6-8.
9. Кретолич, В.Л. Биохимия растений / В.Л. Кретолич // М.: Высшая школа. – 1980. – 456 с.
10. Ничипорович, А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений [Текст] / А.А. Ничипорович // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 7-33.
11. Преображенский Р.П. Химия биологически активных природных соединений / Р.П. Преображенский, М.Г. Евстигнеева. – М.: «Химия», 1996. – 348с.
12. Хлорофилл жидкий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://superb-nsp.com/products>
13. Хлорофил очищае не тільки дихання. Гомеопатія [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://i-medic.com.ua>
13. Ермаков А.И. Методы биохимических исследований / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Яром – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430с.
14. Humphrey, A.M. Chlorophyll as a color and functional ingredient [Text]/ Journal of Food Science, 69, 2014. – P. 422-425.
15. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов /Г.Бриттон; Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 422с.
16. Безусов А.Т. Розробка та обґрунтування технології консервованих функціональних продуктів з заданим вмістом хлорофілу [Текст]/ А.Т.Безусов, К.Д.Кузнецова// Наукові праці ОНАХТ, вип.44, Т.2, 2013. – С.4-7.
17. Безусов А.Т. Разработка технологии хлорофиллсодержащих консервированных продуктов [Текст]/ А.Т.Безусов, К.Д.Кузнецова // Пищевая.промышленность: наука и технологии, 2014. - №2 (24). – С.26-30.

УДК 664

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ

*Ермоленко М.В.<sup>1</sup>, к.т.н., Степанова О.А.<sup>1</sup>, к.т.н.*

*Государственный университет им. Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан*

*E-mail: tehfiz@mail.ru, aug11@mail.ru*

Качественная продукция на современном потребительском рынке - залог успеха и эффективности работы любого предприятия. В настоящее время нет крупных промышленных предприятий по производству быстрозамороженной продукции, поэтому в основном население данной продукцией обеспечивают предприятия малого бизнеса [1].

Существенный прогресс в технологии пищевых продуктов напрямую зависит от технологических процессов, более полного использования сырья с одновременным повышением

качества и безопасности готовых продуктов. Это особенно актуально и требует от производителя конкурентоспособной продукции, способной максимально долго сохранять свои свойства[2].

Технология производства мясных быстрозамороженных полуфабрикатов не предусматривает использование повторно замороженного сырья, поскольку изготовленные из него продукты подвергаются различным видам порчи задолго до окончания срока реализации [3].

Для здоровья человека стала чрезвычайно важна не только полноценность питания, но и его профилактическая и детоксицирующая функции. Это в большей степени определяет современные требования к структуре рационального питания. Удовлетворить этим требованиям практически невозможно, используя традиционные продукты питания, поэтому для современного производства продуктов питания, как в нашей республике, так и за рубежом особое значение приобретает разработка нового ассортимента комбинированных продуктов высокой биологической ценности на основе сочетания мясного сырья с различными добавками растительного происхождения. Все это делает актуальным необходимость использования растительных компонентов при производстве мясной продукции, изучение изменения химических и физических процессов, протекающих в продукте при холодильном хранении и прогнозирования изменений, происходящих в продукте при длительном холодильном хранении с выбором оптимального температурно-временного режима. Это возможно при использовании кинетических и термодинамических характеристик изменения показателей качества мясных полуфабрикатов в процессе низкотемпературного хранения.

На основании выше изложенного, целью работы ставилось установление оптимальных режимов холодильной обработкипельменей с растительными добавками на основе кинетических и термодинамических характеристик изменения показателей качества.

В качестве объектов исследования были взяты образцы быстрозамороженных мясорастительныхпельменей «Лидия» [4] упакованных в полимерную пленку. Исследования по изменению органолептических показателей, влажности и КМАФАнМ мясорастительного фаршапельменей проводили для режимов хранения при температурах минус 10 °С, минус 20 °С и минус 30 °С в течении 60 суток (рисунки 1, 2, 3).

В результате анализа экспериментальных исследований было установлено, что при температуре хранения минус 30 °С наблюдаются минимальные изменения органолептических показателей, влажности и максимальное изменение микробиологических показателей мясорастительныхпельменей.

Из биохимической кинетики известно, что такие процессы как отмирание микроорганизмов, разрушение витаминов, денатурационные изменения белков, реакция Майяра и другие под действием теплоты протекают подобно реакциям первого порядка со скоростью, зависящей от температуры по закону Аррениуса [5]:

$$K_T = K_0 \exp\left(\frac{-E}{\mu RT}\right), \quad (1)$$

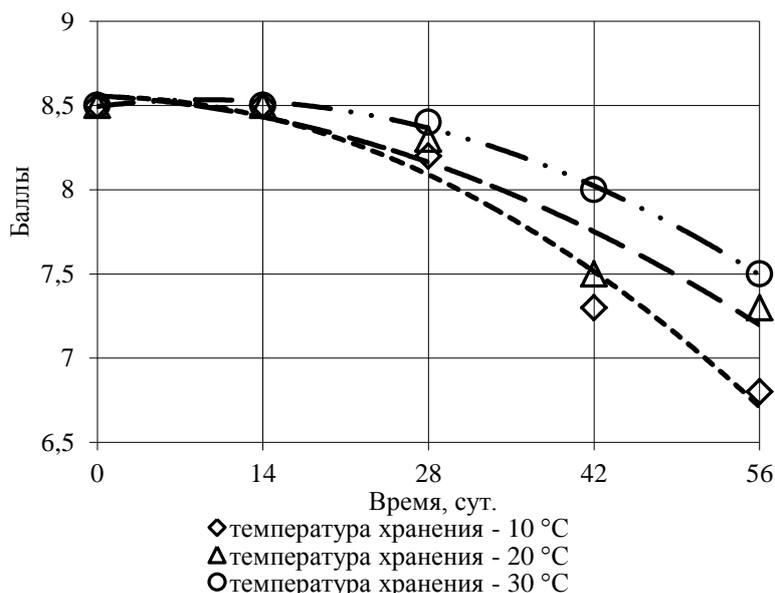


Рисунок 1 – Изменение общей оценки органолептических показателей

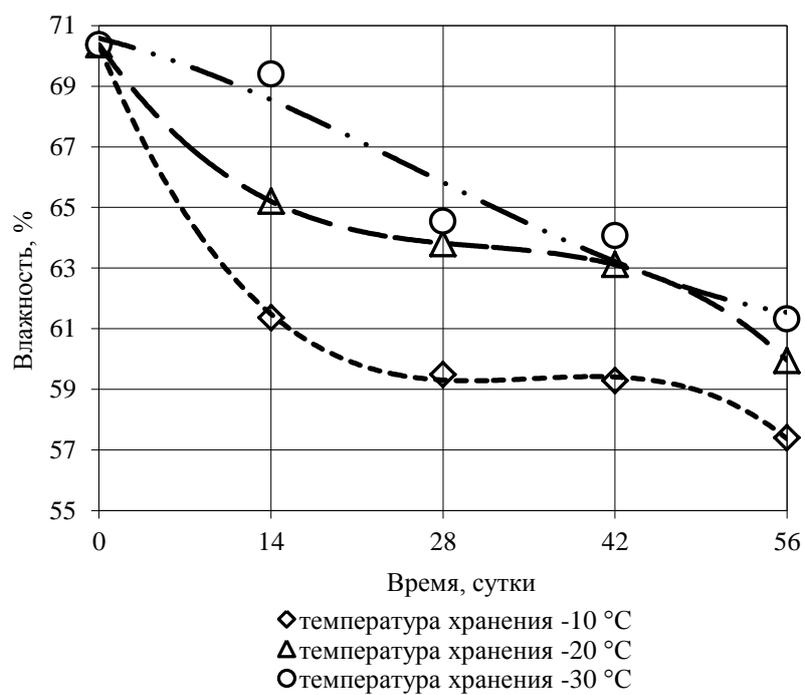


Рисунок 2 – Изменение влажности фарша пельменей

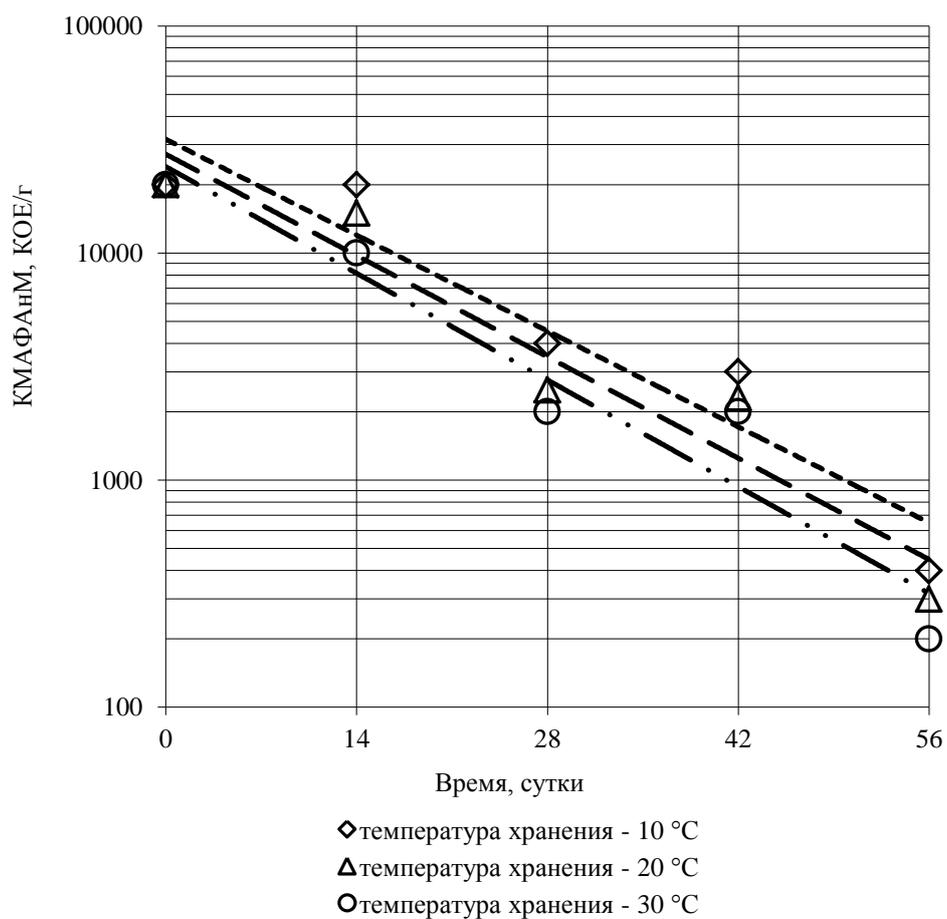


Рисунок 3 – Изменение микробиологических показателей фарша пельменей

На основании полученных экспериментальных данных согласно уравнения (1) были определены кинетические и термодинамические характеристики изменения органолептических

показателей, влажности и КМАФАнМ для образцов фарша мясорастительныхпельменей в интервале температур от минус 30 °С до минус 10 °С (таблица 1).

Таблица 1 – Кинетические и термодинамические характеристики показателей качества мясорастительныхпельменей в процессе хранения

Характеристика	Показатели		
	Органолептика	Влажность	КМАФАнМ
Температурный коэффициент $Q_{10}$	1,488	1,638	0,801
Константа скорости процесса $K_T \cdot 10^3$ , 1/с	1,005	2,197	67,250
Энергия активации $E$ , МДж/кмоль	21,130	26,25	11,78
Предэкспоненциальный множитель $K_0$ , 1/с	53,400	1557,000	$1,894 \times 10^{-4}$
Время $D_t$ , с	2292,00	1048,00	34,25
Константа термоустойчивости $Z$	57,99	46,68	104,00

Анализ связи изучаемых характеристик с химическим составом продукта, показал, что добавление овощной композиции приводит к увеличению энергии активации и, следовательно, скорость процесса в большей степени зависит от температуры, что необходимо учитывать при выборе режимов холодильной обработки.

На основании полученных кинетических и термодинамических характеристик изменения показателей качества для прогнозирования оптимальных режимов холодильной обработки по степени изменения показателей качества пельменей была использована известная математическая модель, позволяющая рассчитать изменение показателей качества на протяжении всего процесса термической обработки и провести оптимизацию по заданной степени изменения показателей качества [6].

Ввиду стационарности процесса холодильного хранения, была получена формула (2) для приближенного расчета изменения показателей качества  $\sigma$  по кинетическим характеристикам для всего периода холодильного хранения:

$$\sigma = K_T \cdot \tau . \quad (2)$$

где  $K_T$  – константа скорости процесса, 1/с;

$\tau$  – время выдержки продукта при данной температуре, с.

По заданному интервалу изменения показателей качества продукта в полулогарифмических координатах была построена номограмма для определения области оптимального температурно-временного воздействия (рисунок 4).

В результате анализа номограммы было выявлено, что, для пельменей «Лидия», при определении оптимального температурно-временного воздействия определяющими критериями являются изменение органолептических показателей, влажности и КМАФАнМ. Заштрихованная область соответствует области оптимального температурно-временного воздействия.

Прогнозирование сроков холодильного хранения мясорастительных пельменей проводили по критериям сохранения влажности продукта, его органолептических характеристик и уменьшения содержания микроорганизмов. Для сохранения качества продукта необходимо остаточное значение от первоначальной влажности – 90 %, органолептических показателей – 95 % и КМАФАнМ – 5 %. Задаваясь степенями изменения  $\sigma$  влажности, органолептических характеристик, КМАФАнМ были определены сроки хранения для разных температурных режимов (рисунок 5). При этом относительная влажность в охлаждаемом помещении составляла 85 %.

При прогнозировании предельных сроков хранения наибольшее сопоставление по различным критериям оптимизации имеет температурный режим минус 30 °С. Поэтому можно считать данный температурный режим оптимальным при длительных сроках хранения мясорастительных пельменей.

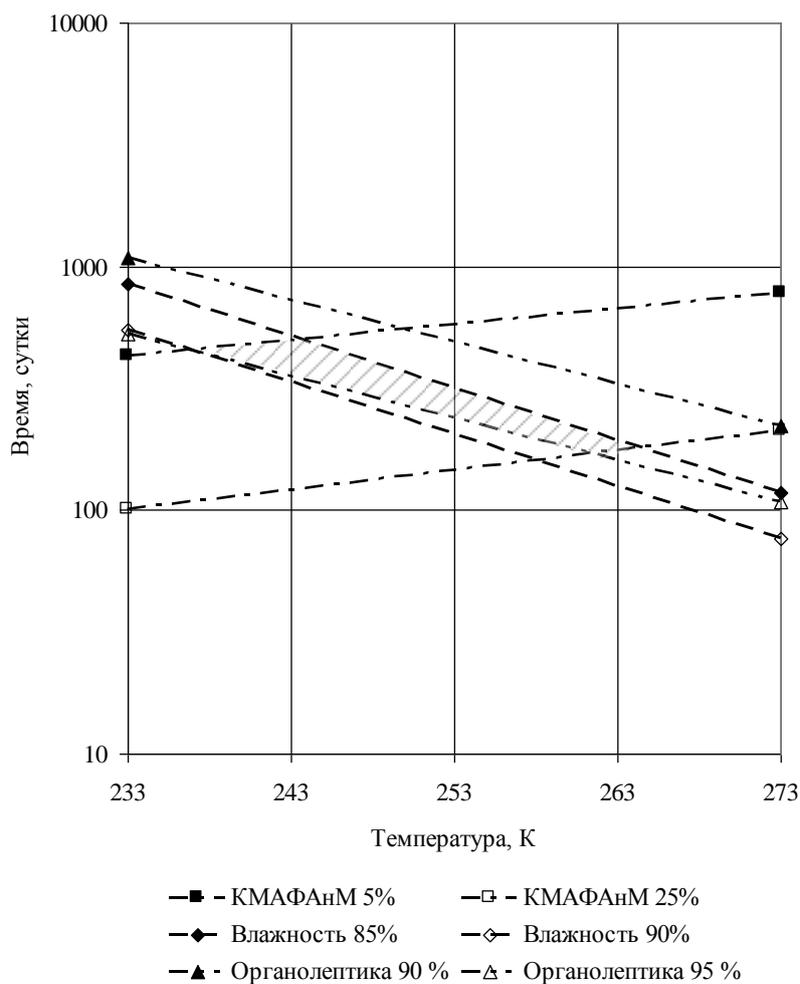


Рисунок 4 – Степень изменения показателей качествапельменей «Лидия» в зависимости от температурно-временного воздействия

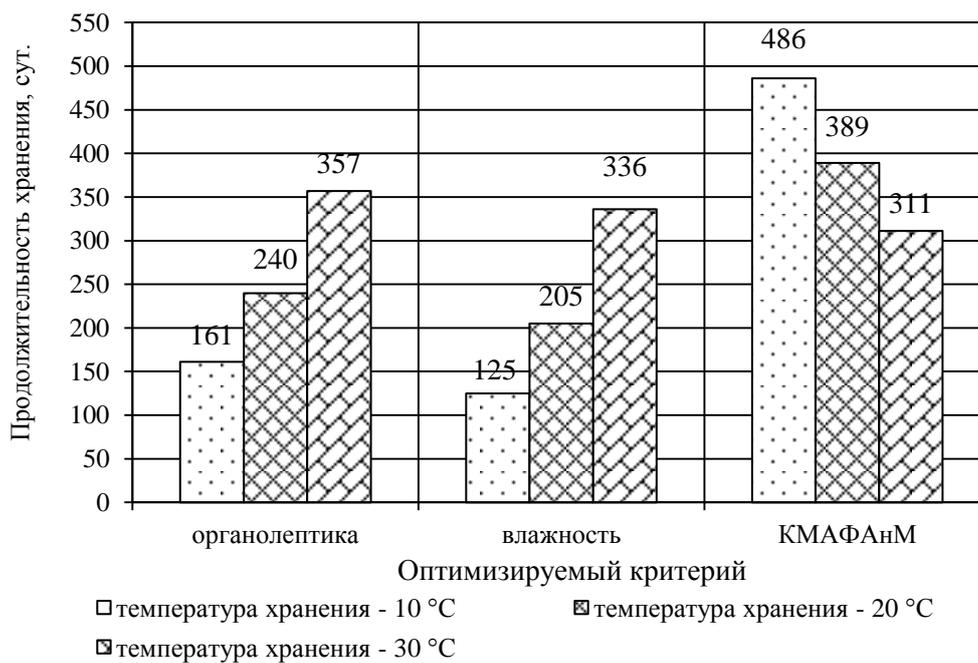


Рисунок 5 – Продолжительность храненияпельменей «Лидия»

Таким образом, в результате проведенных исследований были определены кинетические и термодинамические характеристики изменения показателей качества мясорастительных пельменей «Лидия», позволяющие прогнозировать изменение этих показателей в зависимости от температурно-временного воздействия на продукты в процессе хранения в интервале отрицательных температур. Установлены граничные степени изменения качественных показателей исследуемых пельменей и выявлена область рекомендуемого температурно-временного воздействия с установлением оптимального режима длительного хранения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблоненко Л.А., Жильцова В.В. Влияние различных температурных режимов на продолжительность процесса замораживания и качество мясного сырья. // Интернет-газета Холодильщик RU. – 2009. – № 9(57) [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_9\\_2009\\_Freeze\\_meat\\_cheese.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_9_2009_Freeze_meat_cheese.htm).
2. Коваль О.А., Гуць В.С. Математические методы оценки качества пищевых продуктов при хранении. // III Международная научно-практическая конференция «Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья», посвященная 20-летию юбилею ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии, 23-24 мая 2013 года. – Краснодар, 2013. – С. 59-62.
3. Базарнова Ю.Г., Эсаулов С.В. Потеря качества и потребительская оценка пельменей при хранении // Мясная индустрия. – 2006. – № 5. – С. 30-33.
4. Предварительный патент 14856 Республика Казахстан. Фарш для приготовления пельменей./ Ермоленко М.В., Давыдова С.Г., Степанова О.А. – № 2003/0403.1; заявл. 25.03.2003; опуб. 15.10.04, Бюл.№10. – 3 с.
5. Лонцин М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств / Пер. с англ. Под ред. Рогова И.А. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 384 с.
6. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 268 с.

УДК 628.315; 628.336

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОСАДКОВ

*Зацерклянный М.М.<sup>1</sup>, к.т.н., Столевич Т.Б.<sup>2</sup>, к.т.н., Зацерклянный А.М.<sup>3</sup>, ст.н.с.  
Одесская национальная академия пищевых технологий  
Одесский национальный политехнический университет  
Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский институт медицины  
транспорта" Украина, г. Одесса  
E-mail: doczmm@ukr.net, tbstolevich@ukr.net, doczam@mail.ru*

При механических и биологических методах очистки производственных сточных вод пищевых предприятий, в том числе и зерноперерабатывающих, образуются различные осадки.

Проведенные нами исследования показали, что влажность осадков практически всех пищевых предприятий зависит от многих факторов и изменяется в широких пределах от 75 до 99%.

Основными задачами обработки осадков являются улучшение санитарно-эпидемиологических показателей (обеззараживание) и уменьшение их объема (обезвоживание). Механическое обезвоживание позволяет преобразовать жидкую массу осадка в кек влажностью до 60 – 75 %, который может быть конечным продуктом переработки или передаваться в дальнейшем на сушку или сжигание.

Вместе с тем, большинство осадков сточных вод представляют собой трудноразделимые суспензии, для их успешного обезвоживания требуется предварительная подготовка — кондиционирование. Цель кондиционирования — улучшение водоотталкивающих свойств осадков путем изменения их структуры и форм связи воды [1,2].

От правильного выбора способа и условий подготовки осадков сточных вод зависит эффективность их обезвоживания. Затраты на подготовку осадков сточных вод составляют основную часть затрат на механическое обезвоживание. К методам подготовки осадков сточных вод относятся: уплотнение и усреднение состава осадков; реагентная обработка минеральными коагулянтами, синтетическими водорастворимыми полиэлектролитами (флокулянтами), вспомогательными фильтрующими материалами (присадками) или их сочетаниями; тепловая обработка; замораживание и оттаивание; промывка сброженного в метантенках осадка; аэробная стабилизация осадков [2,3].

Наиболее универсальным и распространенным методом подготовки осадков сточных вод является реагентная обработка, при которой в качестве минеральных коагулянтов чаще всего применяют хлорное железо в сочетании с известью. В ряде случаев отходы некоторых производственных процессов можно использовать в качестве коагулянтов, что позволяет комплексно решать задачу их утилизации и обеспечения очистных сооружений дешевыми и эффективными реагентами. К такого типа реагентам относятся железный купорос, отходы, содержащие хлористый алюминий, алюмосодержащие отходы, карбидный шлак, кислые железосодержащие сточные воды травления черных металлов. Минеральные коагулянты применяют в виде водных растворов с концентрацией активного вещества примерно 10%. Рабочие дозы минеральных реагентов в зависимости от вида и свойств осадков обычно составляют для кислых коагулянтов 2,5% массы сухого вещества обрабатываемого осадка, для щелочных — 10—15%.

Недостатками процесса подготовки осадков сточных вод с применением минеральных коагулянтов являются большие объемы реагентов, трудность дозирования агрессивных растворов кислых реагентов, дефицит молотой извести или известкового раствора. Синтетические водорастворимые полиэлектролиты, которые получают все большее распространение, применяют для подготовки осадков различных видов: с органической твердой фазой — катионные флокулянты, а с минеральной твердой фазой — анионные. В ряде случаев эффективна последовательная обработка осадка катионными и анионными флокулянтами. Флокулянты используют преимущественно перед обезвоживанием осадков на центрифугах и ленточных фильтр-прессах. Однако их применение также эффективно при уплотнении осадка, подготовке его к подсушке на иловых площадках и обезвоживании на камерных фильтр-прессах. Флокулянты применяют в виде разбавленных водных растворов с концентрацией активного вещества 0,1—0,3%. Рабочие дозы флокулянтов зависят от свойств и вида осадков, типа обезвоживающего оборудования и равны 0,4—0,8% массы сухого вещества обезвоживаемого осадка. [2,3].

Вспомогательные фильтрующие присадочные материалы применяют при подготовке осадков к обезвоживанию на камерных фильтр-прессах. Присадочные материалы снижают коэффициент сжимаемости осадков, упрочняют его структуру, улучшают условия отведения влаги из обезвоживаемого осадка. В качестве присадочных материалов используют золу от сжигания угля или осадков сточных вод. Эффективным присадочным материалом является перлит. Доза присадочного материала в зависимости от свойств осадка составляет 50—100% сухого вещества обезвоживаемого осадка. В некоторых случаях присадочные материалы целесообразно применять совместно с флокулянтами или минеральными реагентами, например, известью. Тепловую обработку (по способу Портеуса) применяют для органических осадков. Замораживание и оттаивание наиболее эффективно для гидроксидных осадков, например, осадков, образующихся при очистке природных цветных вод с использованием сульфата алюминия [2,3,4].

Реагентный и реагентно-тепловой [2,5] методы кондиционирования, несмотря на свою простоту, приносят в осадки дополнительные загрязнения, и это не всегда позволяет их полноценно использовать.

Поскольку осадки сточных вод пищевых предприятий, в том числе и зерноперерабатывающих, являются сырьем для получения кормовых дрожжей, гидролизного производства, в качестве добавок к кормам животных, то при решении проблемы их обработки большое значение приобретает применение безреагентных способов изменения их физико-химических свойств [2,3].

Наиболее эффективными методами повышения водоотдачи является обработка осадков с использованием низких и высоких температур или их сочетанием [2]. Сущность метода заключается в том, что при замораживании часть связанной влаги переходит в свободную и происходит коагуляция твердых частиц осадка. Удельное сопротивление осадка при этом снижается.

При оттаивании осадки образуют зернистую структуру, их водоотдача повышается.

Замораживание осадков сточных вод относится к безреагентным методам обработки осадков. Установлено, что полное промораживание осадков снижает их удельное сопротивление с  $(145 - 195) \cdot 10^{-10}$  до  $(5 - 15) \cdot 10^{-10}$  см/г, и это позволяет обезвоживать осадки сточных вод пищевых предприятий без предварительного коагулирования химическими реагентами. Замораживание и последующее оттаивание осадков приводит к изменению их структуры, переходу части связанной влаги в свободную, следовательно, улучшаются водоотдающие свойства осадков. Замораживание осадков в естественных условиях осуществляется на иловых площадках. При замораживании в естественных условиях происходит расслоение с концентрированием осадка в нижней части и образованием льда на поверхности. Замораживание осадков и оттаивание их на иловых площадках

очистных сооружений позволяют интенсифицировать их работу, но при этом высота слоя осадка на иловой площадке не должна превышать глубину промораживания.

Проведенные нами исследования по замораживанию искусственным холодом осадков, полученных при очистке производственных сточных вод зерноперерабатывающих предприятий на малогабаритных очистных сооружениях (аэробные погружные вращающиеся дисковые биофильтры) [6], позволили установить, что оптимальными параметрами являются: температура агента охлаждения  $t_{ox} = (-4 - 8) ^\circ\text{C}$ ; экспозиция  $\tau_{ox} = 4500 - 5700$  с. На параметры процесса замораживания и оттаивания влияют состав и природа осадков, физико-химическая структура, влажность.

Результаты искусственного замораживания и последующего оттаивания представлены в виде кривых (рисунок). Здесь кривая охлаждения и замораживания дистиллированной воды АВСвДв; размораживания и нагревания воды ДвСвВА; кривая охлаждения и замораживания осадка АВСосДос; кривая размораживания и нагревания осадка Д'осС'осВА.

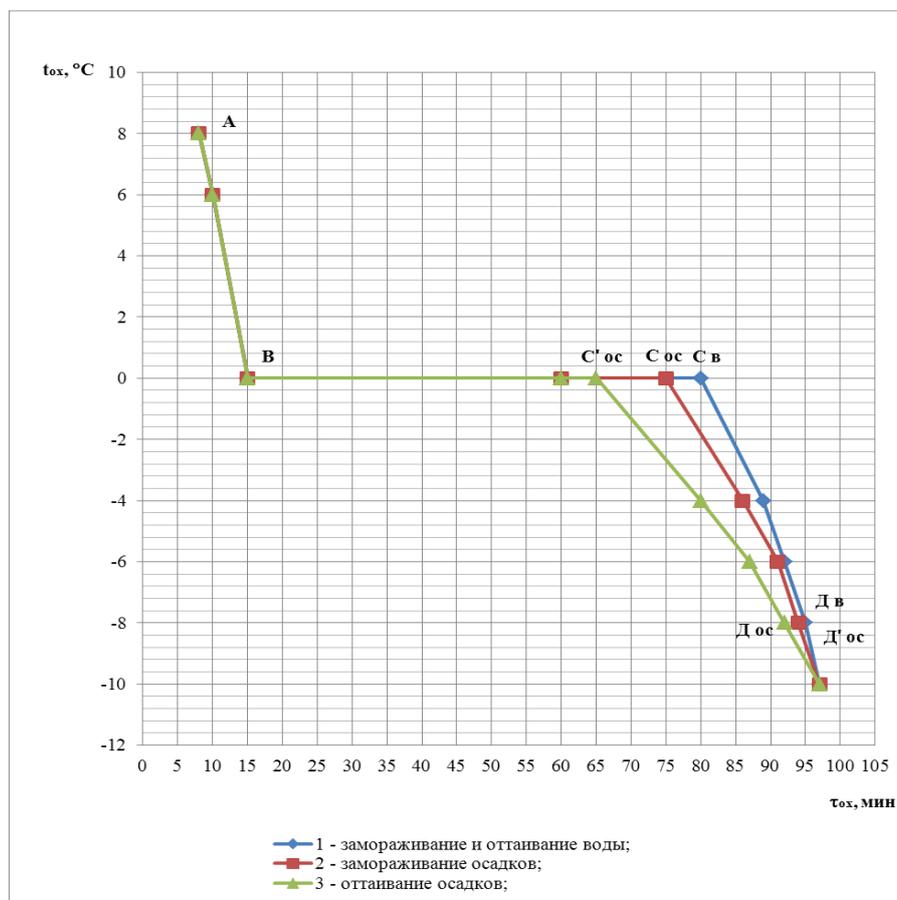


Рисунок 1 – Замораживание и оттаивание воды и осадка

Благодаря способности воды мигрировать через стенки клеток и ячеек коллоидов, составляющих основную часть осадка, в процессе замораживания происходит обезвоживание твердой фазы. Если процесс протекает достаточно медленно, то вся связанная влага, способная к диффузии при данных условиях, успевает мигрировать в межклеточное пространство, где она и замерзает. Давление, возникающее при расширении кристаллизующейся воды, способствует коагуляции и укрупнению обезвоженных частиц твердой фазы.

Кроме того имеет место обезвоживание осадка вследствие превращения льда в пар. Замораживание улучшает фильтрационные свойства осадков.

Искусственное замораживание осадков проводится в холодильных установках непосредственного контакта с использованием метода непрерывного тонкослойного замораживания на установках барабанного типа или панельных льдогенераторах. Непременным условием, обеспечивающим снижение стоимости процесса за счет уменьшения расхода электроэнергии, является рекуперация теплоты фазовых переходов, обеспечивающая оттаивание осадка за счет

теплоты, выделяемой при замораживании. Для искусственного замораживания 1 м<sup>3</sup> осадка расходуется около 50 кВт.ч электроэнергии [2].

Осадок после замораживания и оттаивания обезвоживается механическим путем без применения дополнительных реагентов [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сизых М.Р. Кондиционирование осадков сточных вод. //Вестник Бурятского государственного университета. Выпуск №3, 2013. – С. 17 – 19.
2. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
3. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 707 с.
4. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. 7 - е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.
5. Гумен С.В. Реагентно-тепловая обработка осадков сточных вод/ С.В. Гумен, Б.В. Васильев, С.В. Морозов, Г.П.Медведев //Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 4. – С. 12 - 14.
6. А.С. 1747395 СССР С02F3/06. Устройство для очистки сточных вод. /М.М. Зацерклянный, Т.Б. Столевич, Н.А. Сидоренко, В.О. Путинцев (СССР) - №4840547/26; заявл. 10.06.90; опубл. 15.07.92. – Бюл. №26.

УДК 697.91.94.97

### **ОПТИМИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КРУГЛОГОДИЧНО ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЗАДАННЫЙ МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЯ**

*Жихарева Н.В., кандидат техн наук., Хмельнюк М.Г., доктор тех наук  
Одесская национальная академия пищевых технологий Украина  
E-mail: Zhnata@mail.ru, hmel\_m@ukr.net*

В условиях ускорения научно-технического прогресса задача оптимизации систем кондиционирования имеет важное народнохозяйственное значение, поскольку ее решение, кроме повышения эффективности капитальных вложений, обеспечивает ее энергосбережение, экономию материалов, а также улучшение условий труда людей и окружающей среды

Совершенствование эффективности программы энергосбережения является одной из важнейших государственных задач. Оптимизация (минимизация) суммарной стоимости капитальных и эксплуатационных затрат на обеспечение круглогодичного микроклимата в объектах общественного назначения является частью этой программы. [1].

Чем лучше тепловая защита помещения, а это, как правило, означает более высокую стоимость ограждений, тем меньшей производительности может быть активная система обеспечения заданного микроклимата, что ведет к снижению цены и эксплуатационных затрат на ее функционирование

В настоящей работе разработана и обоснована целевая функция совместной оптимизации суммарной величины капитальных и эксплуатационных затрат на тепловую защиту помещений и климатическое энергосберегающее оборудование в течение срока их эксплуатации.

Целевая функция совместной оптимизации суммарной стоимости тепловой защиты помещений и климатического оборудования, круглогодично обеспечивающих заданный микроклимат

Перед нами классическая задача оптимизации. Ее практическое решение зависит от наличия у проектанта отработанной программы математического моделирования климатического режима объекта, позволяющей за короткий отрезок времени при небольших затратах получить значения целевой функции для вариантов комплектов имеющегося в продаже оборудования совместно с вариантами теплового сопротивления (и соответственно стоимости) ограждений за время нормативного срока эксплуатации. В результате должны быть получены сроки окупаемости вариантов энергосберегающего оборудования и величины экономии, полученной после достижения момента окупаемости до окончания нормативного срока. [2,6,8].

Необходимо отметить, что энергосбережение наиболее эффективно, если оно проводится на всех стадиях жизненного цикла объекта от выбора на этапе проектирования климатического оборудования и величины теплового сопротивления ограждений, проработки целесообразности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), объективного и высококвалифицированного энергоаудита по результатам первого года эксплуатации и энергоменеджмента

до момента капитальной модернизации объекта или его полной остановки перед утилизацией оборудования. [3,7].

В этом ключе по результатам первого года эксплуатации желательно сравнить затраты электроэнергии по счетчику с результатами расчетов, обусловивших выбор энергосберегающего оборудования и соотношения затрат на пассивные (ограждения) и активные (оборудование) средства обеспечения микроклимата объекта.

По результатам дополнительного математического моделирования, с учетом фактических затрат энергии за первый год работы, могут быть приняты рекомендации, например, по установке дополнительного энергосберегающего оборудования, усиления теплоизоляции ограждений, сокращения периода между чистками фильтра и т.д.

Учитывая выше изложенное, нами предложена и протестирована следующая целевая функция совместной оптимизации тепловой защиты объекта (теплого сопротивления ограждений помещения), в котором обеспечивается заданный микроклимат, и производительности энерго-сберегающего климатического оборудования активной системы обеспечения этого микроклимата.

С целью удобства определения предлагаемой целевой функцией она сведена к зависимости от одного универсального параметра-аргумента - суммарной экономии в денежном эквиваленте.

Приведенная ниже целевая функция является разностью начальных дополнительных инвестиций в энергосберегающее оборудование и дополнительную тепловую защиту и экономии за 7 лет эксплуатации, полученной от этого оборудования и усиления тепловой защиты.

$$Prf = \left[ \Delta Pst + Pesob - \sum_{i=1}^T \frac{\Delta Qg}{(1+d-R)^i} \right] \quad (1)$$

Целевую функцию (Ptf – target function) для совместной оптимизации предлагаем определять с учетом возможного изменения стоимости электроэнергии и коэффициента дисконтирования валюты;

$\Delta Pst$  – дополнительная стоимость утепления наружных ограждений с целью усиления тепловой защиты помещений с заданным микроклиматом (это может быть одна наружная стена или все стены наружные стены для отдельностоящего объекта);

$Pesob$  – затраты на покупку и установку в систему энергосберегающего оборудования (например: рекуператора или всего комплекта энергосберегающего оборудования объекта);

$i$  – номер года после ввода в эксплуатацию энергосберегающего оборудования;

$\Delta Qg$  – годовая экономия стоимости потребляемой электроэнергии в результате использования энергосберегающего оборудования и усиления теплозащиты объекта (рассчитывается по среднемесячным температурам наружной среды), кВт;

$d$  – годовой коэффициент дисконтирования национальной валюты;

$R$  – коэффициент годового роста стоимости кВт·часа;

$rel$  – стоимость кВт часа электроэнергии с НДС.

Целевая функция (1), определяемая для заданных вариантов с помощью программы, выполненной в вычислительной среде Mathcad, позволяет выполнить совместный оптимальный выбор варианта тепловой защиты объекта и комплекта энергосберегающего

Целевая функция (1) имеет универсальный характер и может быть выполнена для определения срока окупаемости.

Срок расчетной эксплуатации  $T=7$  лет предлагается для дальнейшего обсуждения. Принято считать, что срок окупаемости энергосберегающего оборудования, равен сроку гарантии на это оборудование 2- 4 года, а срок получения прибыли после срока окупаемости, равной начальным инвестициям в энергосберегающие мероприятия, с учетом коэффициента дисконтирования в пределах 3-5 лет. Использовать срок службы на оборудование вентиляции и кондиционирования 15-20 лет, приведенный в ДБН В.2.5-67:2013, в целевой функции (1) не рационален.

Пример оптимизации выбора рекуператора в приточно-вытяжной системе и толщины теплоизоляции наружной стены на ранней стадии проектирования

В данном примере рассматривается совместная оптимизация тепловой защиты зала и рекуператора приточно-вытяжной вентиляции на ранней стадии проектирования для помещения кафе в г. Одессе, с круглогодично поддерживаемым в зале микроклиматом. В этом примере некоторые параметры, незначительно влияющие на тепловой баланс зала кафе, приняты постоянными. В качестве варьируемой величины рассматривается тепловая защита только южной наружной стены, так как северная стена граничит с застекленной верандой, а две другие стены граничат с подсобными помещениями.

Эта оценочная методика может быть использована для совместного выбора агрегата приточно-вытяжной системы с рекуперацией, инверторного кондиционера и конструкции соответствующих

наружных ограждений на ранней стадии проектирования. При необходимости на стадии рабочего проекта может быть выполнен поверочный уточненный расчет, а по итогам первого года эксплуатации сверка уточненного расчета с расходом электроэнергии по счетчику.

Нами рассмотрена методика совместной оптимизации тепловой защиты южной наружной стены зала кафе, инверторного кондиционера (тепловой насос "воздух - воздух") ASYG 18 LF /AOYG18LF фирмы FUJITSU и рекуператора LGH-50RX5-E серии Lossnay по целевой функции (1).

Предварительно были выбраны по вышеприведенным исходным данным агрегаты с рекуперацией: VX 700E фирмы Systemair (индекс параметров в расчете - S) и LGH-50RX5-E серии Lossnay фирмы Mitsubishi Electric [2] (индекс параметров в расчете - M).

В данном примере определен срок окупаемости агрегатов с рекуперацией, выбран рекуператор, проведена совместная оптимизация капитальных и эксплуатационных затрат на рассматриваемые варианты комплектов теплозащиты и энергосберегающего оборудования по величине целевой функции (1).

Стоимость дополнительных монтажных работ при установке в приточно-вытяжную вентиляцию агрегатов с рекуперацией принята одинаковой для обоих агрегатов - 3000 грн

Мы определили величину срока окупаемости и целевой функции при использовании рекуператоров по среднемесячным температурам для г. Одессы.

Помесячно были определены значения  $^{\circ}\text{C}$

1. Мощность, необходимая для нагрева без рекуператора приточного воздуха до температуры в помещении, Вт
2. Температура приточного воздуха после пластинчатого рекуператора,  $^{\circ}\text{C}$
3. Мощность, необходимая для нагрева приточного воздуха после пластинчатого рекуператора до температуры в помещении, Вт
4. Экономия электроэнергии, расходуемой на нагрев приточного воздуха при использовании пластинчатого рекуператора.

Суммарная годовая экономия затрат на электроэнергию при использовании рекуператора, VX 700E,  $EgS=16291.59$  грн, а рекуператора LGH-50RX5-E  $EgM= 21173.55$  грн

Определили срок окупаемости по оптимизационной форме для рекуператора VX 700E 6.86, а для рекуператора LGH-50RX5-E 3.636 года.

Анализ приведенного расчета показал заказчику проекта, что из 2-х рассмотренных типов агрегатов приточно-вытяжной вентиляции предпочтительнее выбрать LGH-50RX5-E серии Lossnay. Основным агрегатом, поддерживающим в зале кафе круглогодичный микроклимат, является инверторный кондиционер (тепловой насос "воздух - воздух") ASYG18LF/AOYG18LF фирмы FUJITSU. Этот тепловой насос может работать с теплопроизводительностью от 0.9 до 6 кВт на охлаждение и от 0.9 до 9.1 кВт на обогрев. Гарантия 3 года.

Рассмотрим методику совместной оптимизации тепловой защиты южной наружной стены зала кафе, инверторного кондиционера (тепловой насос "воздух - воздух") ASYG18LF/AOYG18LF фирмы FUJITSU и рекуператора LGH-50RX5-E серии Lossnay по целевой функции (1). Получили оптимальную толщину изоляции (рис.1) [3,6].

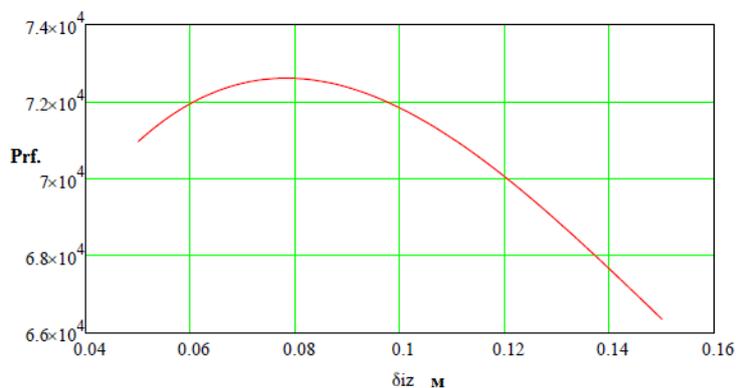


Рисунок 1 – Зависимость величины экономии за 7 лет эксплуатации от толщины теплоизоляции на стене

Оптимизация целевой функции показывает, что максимальная экономия за 7 лет эксплуатации соответствует толщине изоляции 0.08 м

Разработанная комплексная математическая модель с использованием полученной целевой функции. содержит принципиально новый подход к выбору оптимального климатического оборудования для поддержания комфортных параметров. В результате выполненных исследований решен комплекс задач по энергосбережению. направленных на разработку основных рекомендаций по подбору оборудования с минимальным сроком окупаемости. Полученная функция рассмотрена для кафе города Одессы. Подобрано оптимальное климатическое оборудование, с минимальным сроком окупаемости и найдена экономически-целесообразная толщина изоляции. На основе разработанной программы, возможно, оценить климатическое оборудование для любого региона и выбрать оптимальное.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. / Ю.А.Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС. – 2002. – 194 с
2. Перепека В.И. Расчеты систем кондиционирования и вентиляции. / В.И., Перепека, Н.В. Жихарева – Одесса: «ТЭС», 2014. – 240 с.
3. Жихарева Н.В. Особенности расчета теплопритоков в помещении при кондиционировании // Н.В.Жихарева / Холодильная техника и технология – 2015 Том.51. – № 6– С. 17–20.
4. Жихарева Н.В. Экономически-целесообразная толщина изоляции современных изоляционных материалов плодоовощехранилища // Н.В.Жихарева, М.Г. Хмельнюк, О.В. Ольшевкая/ Холодильна техника и технология 2015. – №3 Том.51– Одесса: «ТЭС», 2016. – 171 с.
5. Жихарева Н.В. Метод расчета годового потребления холода систем кондиционирования воздуха // Н.В.Жихарева/ Холодильна техника и технология 2016. –Том.52 №4. –С. 42 – 47.
6. Оносовский В.В. Моделирование и оптимизация холодильных установок. – Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1990.
7. Жихарева Н.В. Оценка энергетической эффективности системы охлаждения плодоовощехранищ // Н.В.Жихарева, Хмельнюк М.Г. / Холодильна техника . 2015. – №3 Том.51 –С. 53 – 57
8. Жихарева Н.В. Моделирование та оптимізація систем кондиціонування повітря . / Жихарева Н.В. – Одесса: «ТЭС», 2016. – 172 с.

УДК 664.8.022.3

#### ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОКАПСУЛ КАПЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

*Какимов А.К.<sup>1</sup>, д.т.н., Майоров А.А.<sup>2</sup>, д.т.н., Ибрагимов Н.К.<sup>1</sup>, к.т.н., Жумадилова Г.А.<sup>1</sup>, PhD  
ГУ им. Шакарима г. Семей, Казахстан  
ФГБНУ СибНИИ Сыроделия Россия  
E-mail: bibi.53@mail.ru, sibniis.altai@mail.ru, ibragimnk@mail.ru, zhumadilovaga@mail.ru*

Микрокапсулы – это мельчайшие частицы твердого, жидкого или газообразного вещества, покрытые оболочкой из полимерного или другого материала.

Форма микрокапсул определяется агрегатным состоянием содержимого и методом получения: жидкие и газообразные вещества принимают шарообразную форму, твердые - овальную или неправильную. Образующаяся оболочка имеет двухслойную или многослойную структуру. Толщина и механическая прочность оболочек, проницаемость для лекарственного вещества, биожидкостей и др. свойства зависят от вспомогательных веществ, образующих оболочку, назначения и технологии получения микрокапсул [1].

Для подбора адаптированного варианта метода изготовления микрокапсул в лаборатории Государственного университета имени Шакарима города Семей нами было изготовлено 2 вида капсул.

В первом случае в качестве водного раствора термотропного гелеобразователя использовали раствор желатина в водорастворимой соли кальция. Раствор получили следующим образом: в горячей воде растворили хлорид кальция, после чего добавили туда желатин. Раствор охладили до температуры 35°C и добавили в него кукурузный крахмал в качестве дополнительного гелеобразователя согласно рецептуре [2].

Альгинат натрия 1,5% использовали как формирующий раствор для получения капсул. Данный раствор был охлажден до +10°C. Разница температур между гелеобразователем и формирующим раствором ускоряет образование оболочки вокруг капсул. Как формообразователь мы использовали

медицинский шприц с доработанной иглой. Доработка иглы заключалась в отрезании остро кончика иглы, что позволило получать капли одинакового размера.

Для получения капсул раствор гелеобразователя при температуре 35°C с помощью шприца капали в формирующий раствор с температурой 10°C. Обнаружилось, что вязкость раствора альгината натрия и высокое поверхностное натяжение не дает погрузиться каплям в раствор полностью даже при интенсивном перемешивании формирующего раствора. При этом нарушается форма капсул, происходит слипание близко расположенных капель, что приводит к уменьшению производительности получения капсул.

Использование 1,5% раствора альгината натрия позволяет получить капсулы с прочной многослойной оболочкой (рис.1).

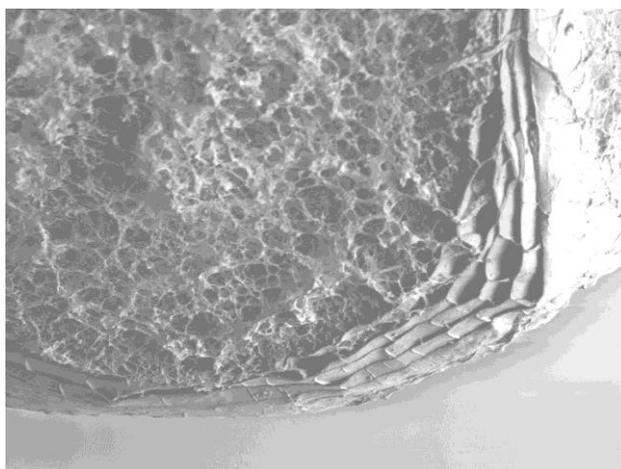


Рисунок 1 – Капсула полученная в формирующем растворе 1,5% альгината натрия.

Выяснилось, что частицы крахмала не могут быть растворены в гелеобразующем растворе, так как для этого требуется высокая температура близкая к температуре кипения воды (рис. 2). Что является нежелательным, так как приведет к разрушению пробиотиков, находящихся в капсулах.

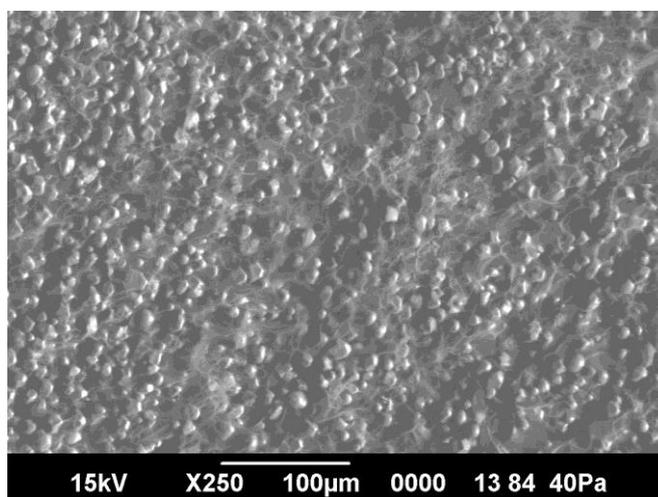


Рисунок 2 – Капсула с кукурузным крахмалом в разрезе.

Во втором случае в качестве водного раствора термотропного гелеобразователя использовали раствор желатина с добавлением альгината натрия. Раствор получили следующим образом: в горячей воде растворили желатин, после чего добавили 0,5% альгината натрия. Раствор охладили до температуры 35°C. 2% раствор хлорида кальция использовался как формирующая среда.

При формировании капсулы капля отрываясь от шприца погружалась в раствор хлорида кальция полностью, в результате мы получили стабильный размер капсул и красивую округлую форму (рис. 3).



Рисунок 3 – Капсулы полученные в формирующем растворе хлорида кальция.

При исследовании капсул под электронным микроскопом, было обнаружено, что оболочка капсул очень тоненькая. Это является нежелательным фактором, так как тоненькая оболочка будет плохо защищать внутреннюю среду капсулы (рис.4).

В качестве формирующего устройства использовали медицинский одноразовый шприц объемом 2 мл и инсулиновый шприц с доработанными иглами. При использовании одноразового шприца были получены капсулы большего размера, чем при использовании инсулинового. Это объясняется разницей в диаметре игл использованных шприцов.

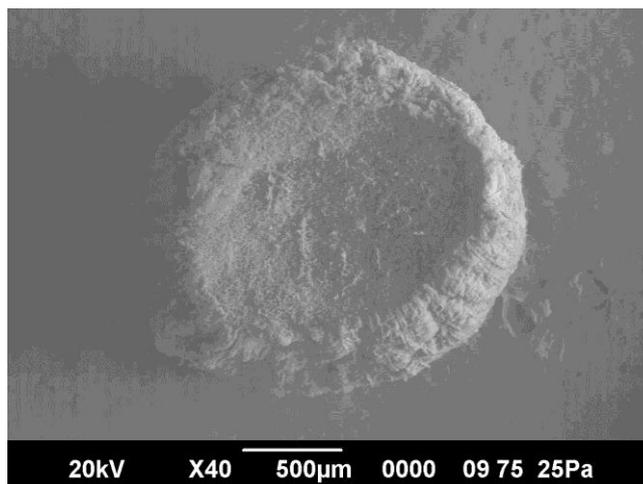


Рисунок 4 - Капсула с добавлением 0,5% альгината натрия.

Предварительный эксперимент показал, что применение второго варианта рецепта дает более стабильный и качественный результат, но при этом нужно увеличить количество альгината натрия для получения более прочной оболочки. Поменяв местами хлорид кальция и альгинат натрия, т.е. используя в гелеобразователе альгинат натрия, а в формирующей среде хлорид кальция, мы смогли получить капсулы правильной формы с более стабильным размером. Для получения капсул меньшего размера формирование капсул капельным методом является неэффективным. Одним из способов получения более мелких размеров капель, является метод распыления, который планируется использовать для дальнейшего проведения экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормативно техническая документация в производстве и упаковке фармацевтических препаратов согласно gmp. [Электр.источник] URL:<http://uchebilka.ru/pravo/189773/index.html?page=7>, (Дата обращения 10.01.2017 г.)
2. Способ получения аналога рыбьей икры [Электр.источник] URL:<http://www.findpatent.ru/patent/241/2413434.html>, (Дата обращения 10.01.2017 г.)

## СОЛНЕЧНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ТИПА

*Дорошенко А.В.<sup>1</sup>, д.т.н., Людницкий К.В.<sup>1</sup>, аспирант, Иванова Л.В.<sup>2</sup>, магистр  
Одесская национальная Академия пищевых технологий Украина  
Одесский национальный политехнический университет Украина  
E-mail: leesoul@mail.ru, kostik\_odessa@ukr.net*

Сопряженные проблемы энергетики и экологии интенсифицируют поиск альтернативных решений в области холодильных и кондиционирующих систем. [1-7]. Разработанные решения для многофункциональных солнечных систем охватывают нужды энергетики, химической и пищевой технологий и позволяют решать задачи охлаждения, не прибегая к традиционной пароконпрессионной технике. Это позволяет существенно улучшить их эко-энергетические показатели.

### I. Разработанные схемные решения для солнечных систем тепло-хладоснабжения

Основная концепция создания солнечных многофункциональных теплоиспользующих установок тепло-хладоснабжения и кондиционирования воздуха включает следующие позиции: – системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной части в составе абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор, и охлаждающей части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей прямого (водоохладитель-градирня ГРД), или непрямого (воздухоохладитель НИО) типов; – поддержание непрерывности цикла обеспечивает альтернативный возобновляемый источник энергии, при этом источником тепла для работы десорбера-регенератора является солнечная система; – в солнечной системе используются плоские солнечные жидкостные коллекторы СКж (рис. 1, позиция 8), с полимерными теплоприемниками и другими элементами конструкции (прозрачное покрытие, корпусная часть) [1-2]. Принципиальные схемы разработанных солнечных систем представлены на рис. 1-4. Схемы включают (рис. 1): – осушительный блок в составе абсорбера-осушителя (1, 3) и десорбера-регенератора (5, 6), солнечную систему, в составе солнечных коллекторов СКж (8) и бака-теплоаккумулятора БТА, а также градирню технологического назначения, обслуживающую абсорбер (7); – охлаждающий блок, в составе воздухоохладителей непрямого испарительного типа НИО (2, 4) и водоохладителя-градирни ГРД (14). Таким образом, основная формула сборки блока охлаждения представляет собой варианты: АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2 (рис. 1-3, ССКВ) и АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД (рис. 1-4, СХС). Первый вариант сориентирован на создание альтернативных систем кондиционирования воздуха ССКВ, второй на создание холодильных систем различного назначения СХС.

II. Базовая концепция создания солнечных многофункциональных систем и тепломасообменной аппаратуры осушительного и охлаждающего контуров.

Основная концепция создания тепломасообменной аппаратуры (ТМА) осушительного и охлаждающего контуров солнечных систем включает: – Используется модульная схема создания ТМА как в осушительной, так и охлаждающей частях схем на основе идентичных элементов (моноблоков), каждый из которых представляет собой автономную ступень для реализации заданного процесса; – Все ТМА (абсорберы, десорберы и испарительные охладители сред), унифицированы, и выполнены как поперечноточные аппараты пленочного типа с многоканальной насадкой регулярной структуры из полимерных материалов; – Абсорбер-осушитель может быть выполнен многоступенчатым, на основе идентичных моноблоков (рис. 2-4), каждый из которых представляет автономную ступень осушения воздушного потока; при этом схема может быть построена по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2, либо АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД и состоять из двух ступеней осушения и охлаждения потока, установленных последовательно, что обеспечивает значительную глубину охлаждения «продуктового» потока (каскадная схема на рис. 2-4); – Десорбер-регенератор выполнен также двухступенчатым на основе идентичных моноблоков (позиции 5 и 6 на рис. 2), каждый из которых представляет автономную ступень восстановления концентрации абсорбента, в двухступенчатом варианте оформления десорбера раствор абсорбента последовательно проходит каждую ступень регенерации, в которую поступает «свежий» наружный воздух; – Схема осушительной части может быть построена так, чтобы каждая ступень регенерации была замкнута на соответствующую ступень абсорбера-осушителя воздуха, при этом на вторую ступень десорбера ДБР2 поступает только часть абсорбента после первой ступени ДБР1, и направляется на вторую

ступень охлаждения, в абсорбер АБР2; – В охлаждающей части схем, в варианте ССКВ, используется модуль НИО (в двухступенчатом варианте НИО1 и НИО2, включенные в схему после соответствующих ступеней абсорбции); – Число ступеней охлаждения (моноблоков) в сборке (число каскадов в схеме солнечной системы) охладителя определяется требуемым эффектом охлаждения и расчетным долевым расходом получаемого продукта.

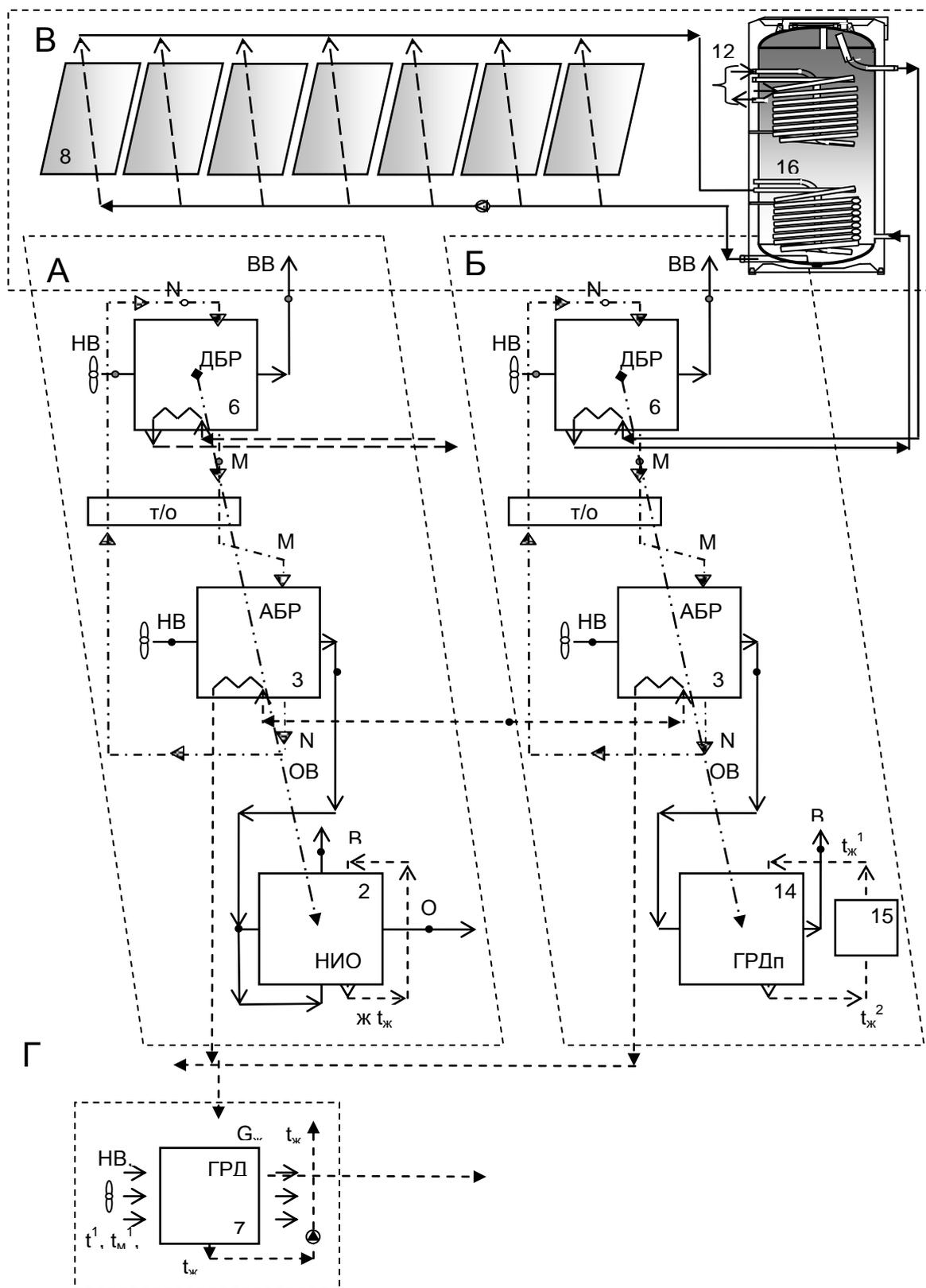


Рисунок 1 – Принцип построения основного (базового) элемента каскада многоступенчатой схемы ССКВ (А) и СХС (Б).

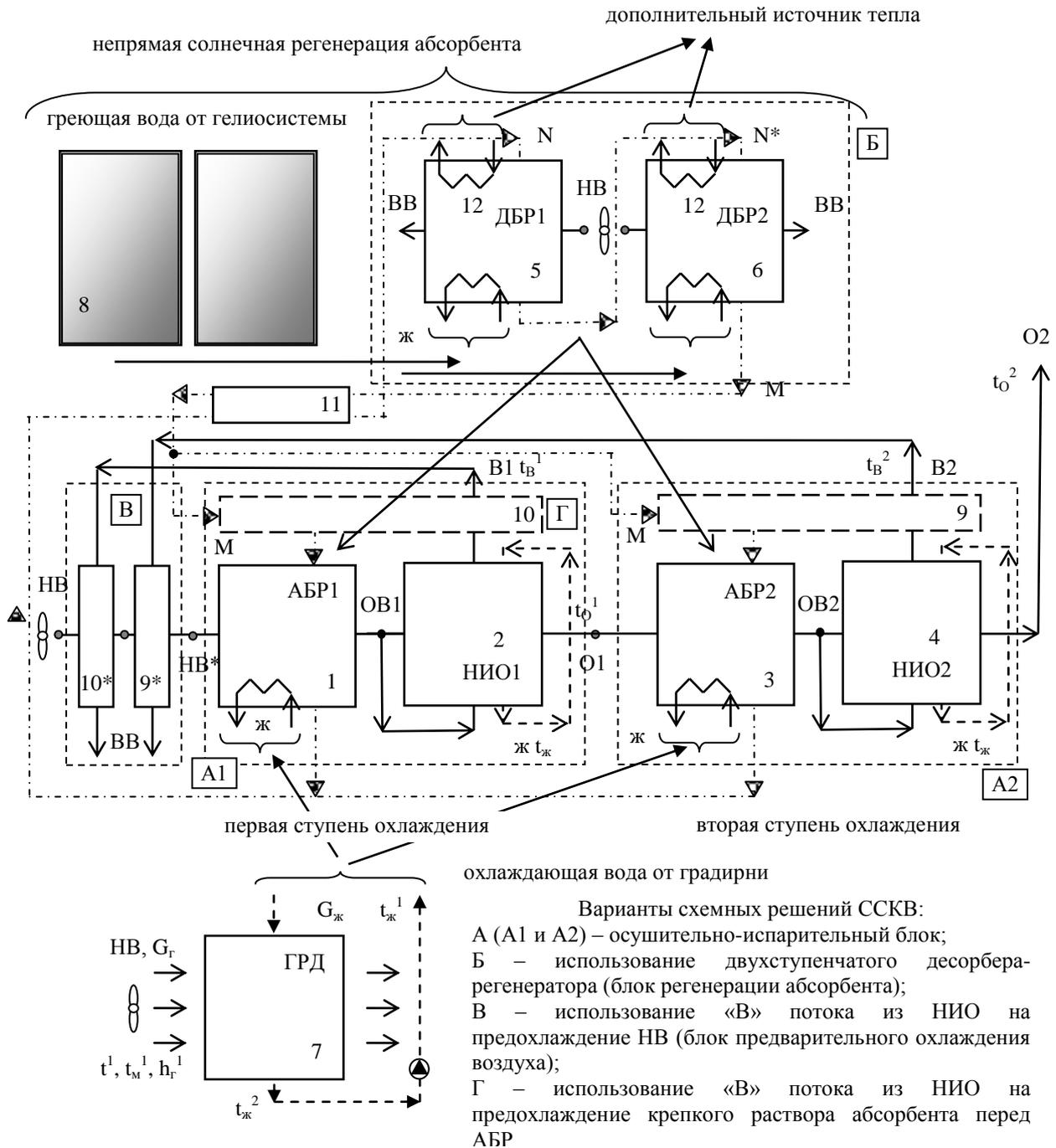


Рисунок 2 – Принципиальная схема ССКВ (формула АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2).

Обозначения: 1, 3 – абсорбер-осушитель наружного воздуха АБР; 2, 4 – испарительный воздухоохладитель НИО; 5, 6 – десорбер-регенератор; 7 – градирня технологического назначения ГРДт; 8 – солнечная система, обеспечивающая процесс регенерации абсорбента (СКж); 9, 10, 11 – теплообменники; 12 – дополнительный греющий источник. НВ (П) – наружный воздух; ОВ – осушенный воздух; О – «основной» воздушный поток; В – «вспомогательный» воздушный поток для НИО; выбрасываемый в среду воздух для ГРД; N, М – крепкий и слабый растворы абсорбента

В испарительном воздухоохладителе непрямого типа НИО, получившем наибольшее распространение в последние годы [1-2, 4-7], воздушный поток, поступающий на охлаждение, делится на две части. Вспомогательный поток воздуха («В») поступает в «мокрую» часть охладителя, где контактирует с водяной пленкой, стекающей по поверхностям канала и обеспечивает испарительное охлаждение воды, которая, в свою очередь, охлаждает бесконтактно, через разделяющую стенку, основной воздушный поток («О», соответственно после каждой ступени

охлаждения  $O_1$  и  $O_2$ ). Этот «продуктовый» поток воздуха охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает преимущества при создании на основе НИО систем кондиционирования воздуха ССКВ.

В качестве испарительного водоохладителя в схеме может использоваться «продуктовая» градирня ГРД (рис. 4-6), что обеспечивает получение «захожденной» воды и может служить основой для создания как альтернативных холодильных систем СХС, так и систем кондиционирования воздуха ССКВ, с подачей холодной воды в помещение на вентилируемые водо-воздушные теплообменники.

III. Эффективность процесса испарительного охлаждения. В качестве естественного предела охлаждения воды в испарительном охладителе (ИО) прямого типа (градирне ГРД, рис. 3А) принято рассматривать температуру воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат  $t_m^1$ . На выходе из аппарата, в качестве предельного рассматривают состояние насыщенного воздуха, имеющего температуру поступающей на охлаждение воды  $t_{ж}^1$  (воздух с энтальпией  $h_r^{2*}$ ). Эффективность охлаждения воды в градирне  $E_{ж}$  (степень охлаждения воды) и эффективность изменения состояния воздуха  $E_{г}$  (степень использования воздуха) характеризуется величинами:

$$E_{ж} = \frac{(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(t_{ж}^1 - t_m^1)}; \quad E_{г} = \frac{(h_r^2 - h_r^1)}{(h_r^{2*} - h_r^1)} \quad (1)$$

При этом можно полагать:

$$E_{ж} = f(1 = G_r/G_{ж}, t_{ж}^1, t_m^1); \quad E_{г} = f(1 = G_r/G_{ж}, t_{ж}^1, t_m^1) \quad (2)$$

В работах [1-3], при испытаниях пленочных градирен с насадкой регулярной упорядоченной структуры, подтверждено существование рассматриваемых зависимостей; при этом показано, что: рост относительного расхода воздуха  $l = G_r/G_{ж}$  приводит к увеличению  $E_{ж}$  и уменьшению  $E_{г}$ ; величины  $E_{ж}$  и  $E_{г}$  оказываются независимыми от характера изменения величины  $l = G_r/G_{ж}$  (путем изменения расход воздуха, или путем изменения расхода воды). Реальные значения пределов охлаждения воды и использования воздуха в градирне определяются, помимо значений  $t_m^1$  и  $t_{ж}^1$ , величиной соотношением потоков  $l = G_r/G_{ж}$  [1, 3]. Уравнение рабочей линии процесса определяется как равенство:

$$G_r \Delta h_r = G_{ж} c_{ж} \Delta t_{ж} \quad (3)$$

В предположении линейности равновесной линии можно получить следующие выражения для определения рассматриваемых величин, достаточно удобные для инженерной практики:

$$E_{ж} = \frac{|\Lambda - \Lambda e^{N(\Lambda-1)}|}{|1 - \Lambda e^{N(\Lambda-1)}|}, \quad E_{г} = \frac{|1 - e^{N(\Lambda-1)}|}{|1 - \Lambda e^{N(\Lambda-1)}|}, \quad N_{\Sigma} = \frac{\beta_h F}{G_r} = \int_{h_r^1}^{h_r^2} \frac{dh_r}{(h_r^* - h_r)} \quad (4)$$

где  $N$  – число единиц переноса суммарного тепла в системе, а  $\beta_h$  – коэффициент переноса суммарного тепла (в представлениях «метода энтальпийного потенциала» [3]). Полученные выражения все же затруднительны в практическом использовании. Можно получить эмпирические выражения для расчета требуемых величин эффективности процесса в ИО:

$$E_{ж} = c(1 - e^{-1.1\Lambda}); \quad E_{г} = c(1 - e^{-1.1\Lambda})\Lambda^{-1} \quad (5)$$

где  $\Lambda = l / l_{ид}$ ;  $l_{ид}$  – относительный минимальный расход воздуха. Когда  $l = l_{ид}$  и  $F = \infty$ , на обоих концах градирни устанавливаются состояния равновесия. Условия эксплуатации градирни характеризуются характеристическим числом  $\Lambda$  [1, 3]. Форма выражения (5) удобна при представлении опытных данных для нужд расчетной практики при изучении процессов в испарительных охладителях как прямого (ГРД), так и непрямого (НИО) типов.

Эффективность процесса непрямого испарительного охлаждения воздуха. Применительно к процессу в НИО в качестве естественных пределов охлаждения основного и вспомогательного воздушных потоков можно рассматривать температуру полного воздушного потока по мокрому термометру  $t_m^1$ , увеличенную на несколько градусов, в зависимости от соотношения расходов воздушных потоков в аппарате  $l = G_o/G_b$ :  $t^0 = t_m^1 + \Delta t^*$ , что связано с процессом переноса тепла в «явном» виде от основного к вспомогательному потоку через разделительную стенку и стекающую по поверхности «мокрого» канала жидкостную пленку, и соответствующим повышением температуры рециркулирующей через «мокрую» часть аппарата жидкости (воды), которая остается в цикле постоянной. Термическая эффективность НИО по основному и вспомогательному потокам:

$$E_o = (t_o^1 - t_o^2)/(t_o^1 - t^0); \quad E_b = (t_b^1 - t_b^2)/(t_b^1 - t^0) \quad (6)$$

$$E_o = f(1 = G_o/G_b t_{п} t^0); E_b(E_b^*) = f(1 = G_o/G_b t_{п} t^0) \quad (7)$$

Рабочая линия процесса в НИО связывает основные параметры основного «О» (температуру, поскольку он охлаждается при неизменном влагосодержании) и вспомогательного воздушного потока «В» (энтальпию, поскольку процесс в «мокрой» части аппарата связан с переносом тепла и массы) воздуха.

IV. Анализ возможностей многофункциональных солнечных систем. Анализ выполнен на основе ранее полученных в ОГАХ и ОНАХТ экспериментальных данных по эффективности процессов в ТМА осушительного и охладительного контуров [1-3]. Начальное влагосодержание наружного воздуха выбрано значительно выше критической величины  $x^* \approx 12,5 \text{ г/кг}$ , что требует обязательного осушения воздуха перед испарительным охлаждением среды (газа либо жидкости) для обеспечения комфортных параметров воздуха в ССКВ или требуемой температуры охлаждения в СХС. На рис. 3 в поле Н-Т диаграммы влажного воздуха показано протекание процессов в основных элементах солнечной системы применительно к схеме блока охлаждения с двухступенчатым (двухкаскадным) осушителем воздуха и испарительными охладителями непрямого типа НИО, оформленной по формуле: АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2. Экспериментальные данные приведены по работе [1, 3] на насадке из алюминиевой гофрированной фольги с параметрами слоя:  $d_{\text{э}} = 12 \text{ мм}$ ;  $H_{\text{РН}} = 400 \text{ мм}$ . [3], и на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит с параметрами слоя:  $d_{\text{э}} = 15 \text{ мм}$ ,  $H_{\text{РН}} = 400 \text{ мм}$ . [1]. Для НИО, на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных [1-3], принята величина эффективности процесса охлаждения по основному и вспомогательному потокам, равная  $E_o = E_b = (t^1 - t^2)/(t^1 - t_M) = 0.65$ , при эффективности теплообменников  $E_{T/O} = 0.8$ . Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО, принята  $t_{\text{ж}}^* = t_M^1 + 1,5-2,5^{\circ}\text{C}$ . На самом деле эффективность охлаждения вспомогательного воздушного потока несколько выше, чем основного, величина  $E_b$  несколько выше чем  $E_o$ , а реальное значение величины  $t_{\text{ж}}^*$  зависит от соотношения расхода воздушных потоков в «сухой» и «мокрой» частях НИО,  $l = G_o/G_b$  [1, 3], так что результаты выполненного анализа носят предварительный характер и несколько занижены. На диаграмме Н/Т показана область комфортных параметров воздуха, обусловленная сочетанием температуры и относительной влажности воздуха в кондиционируемом помещении (КП) [1]. В соответствии со стандартом [Строительные нормы и правила СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», Государственный строительный комитет СССР, Москва, 1997] зона оптимальных термовлажностных параметров для теплого (летнего) периода года ограничена изотермами 20 и 25°C и линиями  $\varphi = 30\%$  и 60% (на рис. 2 эта зона выделена серым цветом). Стандартом оговорена и расширенная комфортная зона с допустимыми параметрами: изотермами 18 и 28 °C, слева кривой  $\varphi = 30\%$ , справа ломанной линией с характерными точками ( $t = 27^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 60\%$ ;  $t = 26^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 65\%$ ;  $t = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 70\%$ ;  $t = 24^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 75\%$ ). По данным американской ассоциации инженеров по отоплению и вентиляции ASHRAE 55-56 [ASHRAE 1989 Fundamentals Handbook (SI)] для летнего периода комфортная зона ограничена изотермами  $t = 10$  и  $24^{\circ}\text{C}$  и линиями  $\varphi = 30\%$  и 70%, то есть она несколько шире, чем указанные выше. Видно, что процесс абсорбции водяных паров из воздуха реализуется при последовательном снижении температуры в каждой ступени, что повышает эффективность процесса абсорбции и обеспечивает значительное возрастание потенциала испарительного охлаждения в каждой из ступеней испарительного охлаждения «продуктового» воздушного потока. В конечном итоге разработанная двухступенчатая (каскадная) схема обеспечивает возможность охлаждения «продуктового» воздушного потока значительно ниже температуры мокрого термометра наружного (поступающего в блок охлаждения) воздушного потока и даже ниже температуры точки росы ( $t_o = 23,5^{\circ}\text{C}$  при  $t_m^1 = 28,0^{\circ}\text{C}$  и  $t_p^1 = 25,0^{\circ}\text{C}$ , соответственно).

На рис. 4 представлено развитие схемных решений для СХС от одноступенчатой ГРД до двухкаскадного охладителя по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД. Показано протекание процессов в основных элементах солнечной системы применительно к схеме СХС, оформленной по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД. Здесь 2-5 и 4-6 – процесс изменения состояния воздушного потока в градирне ГРД и  $t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{ж}}^2$  – соответствующий процесс испарительного охлаждения воды. Хорошо видно снижение уровня охлаждения воды в градирне ГРД от  $t_{\text{ж}}^2 = 32,50^{\circ}\text{C}$  для ГРД, работающей на наружном воздухе (НВ) до  $t_{\text{ж}}^2 = 21,5^{\circ}\text{C}$  для двухкаскадной схемы. Приведенный пример соответствует очень «тяжелым» начальным климатическим условиям. В среднем, для средневропейских условий, когда влагосодержание НВ не превышает 15г/кг, двухкаскадный охладитель СХС может обеспечить получение охлажденной жидкости на уровне нуля градусов, или

ниже. Это охватывает нужды энергетики, химической и пищевой технологии и позволяет решать задачи охлаждения, не прибегая к традиционной парокомпрессионной технике.

Эффективность охлаждения в каждой последующей ступени многоступенчатого охладителя снижается. Поскольку энергозатраты на движение теплоносителей через очередную ступень охладителя практически не изменяются, количество ступеней многоступенчатого охладителя должно выбираться с точки зрения инженерной оптимизации. Использование многоступенчатых испарительных охладителей в целях охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с традиционной парокомпрессионной техникой охлаждения, в среднем на 25-35% и существенно повысить экологическую чистоту новых решений [1-3].

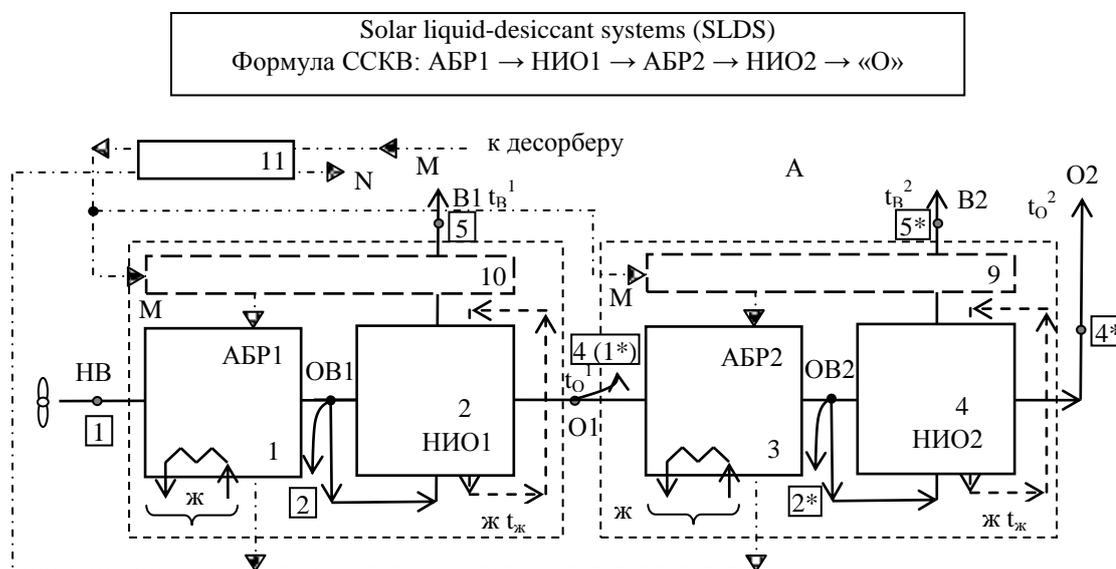
1. Многофункциональные солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной части (в составе абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор) и охладительной части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей прямого (водоохладитель-градирня ГРД), или непрямого (воздухоохладитель НИО) типов; поддержание непрерывности цикла обеспечивает солнечная система.

2. Использование многоступенчатого абсорбера для осушения воздушного потока, как и использование многоступенчатого десорбера для восстановления концентрации абсорбента обеспечивают рост эффективности процесса абсорбции и существенное снижение пределов испарительного охлаждения сред (газов или жидкостей).

3. Блок охлаждения с двухступенчатым осушителем воздуха и испарительными охладителями непрямого типа НИО, оформленной по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2 оптимален для создания альтернативных систем кондиционирования воздуха ССКВ; формула АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД позволяет создать солнечные холодильные системы СХС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорошенко, А. В. Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография / А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. – Одесса : ОНУ, 2012. – 446 с.
2. Горин, А. Н. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика)/ А.Н. Горин, А.В. Дорошенко. – Донецк : Норд-Пресс, 2008. – 374 с.
3. Дорошенко, А. В. Компактная теплообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика) Докторская диссертация, Одесский институт низкотемпературной техники и энергетики. – Одесса, 1992. – т. 1. – 350 с., т. 2. – 260 с.
4. Foster, R.E., Dijkstra, E. Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits World Wide // International Conference of Applications for Natural Refrigerants' 96, September 3-6. – Aarhus, Denmark, IF/IIR, 1996. – P. 101 – 109.
5. McNab, John L., McGregor, Paul. Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. // 21<sup>st</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF – Washington, D.C, ICR0646, 2003.
6. Stoitchkov, N. J., Dimirov, G.J. Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling. // Int. J. Refrig., vol. 21, no. 6. – 1998. – P. 463 – 471.
7. Zhao, X., Liu, S., Riffat, S.B., Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems. // Building and Environment 43. – 2008. – P. 1902 –1911.



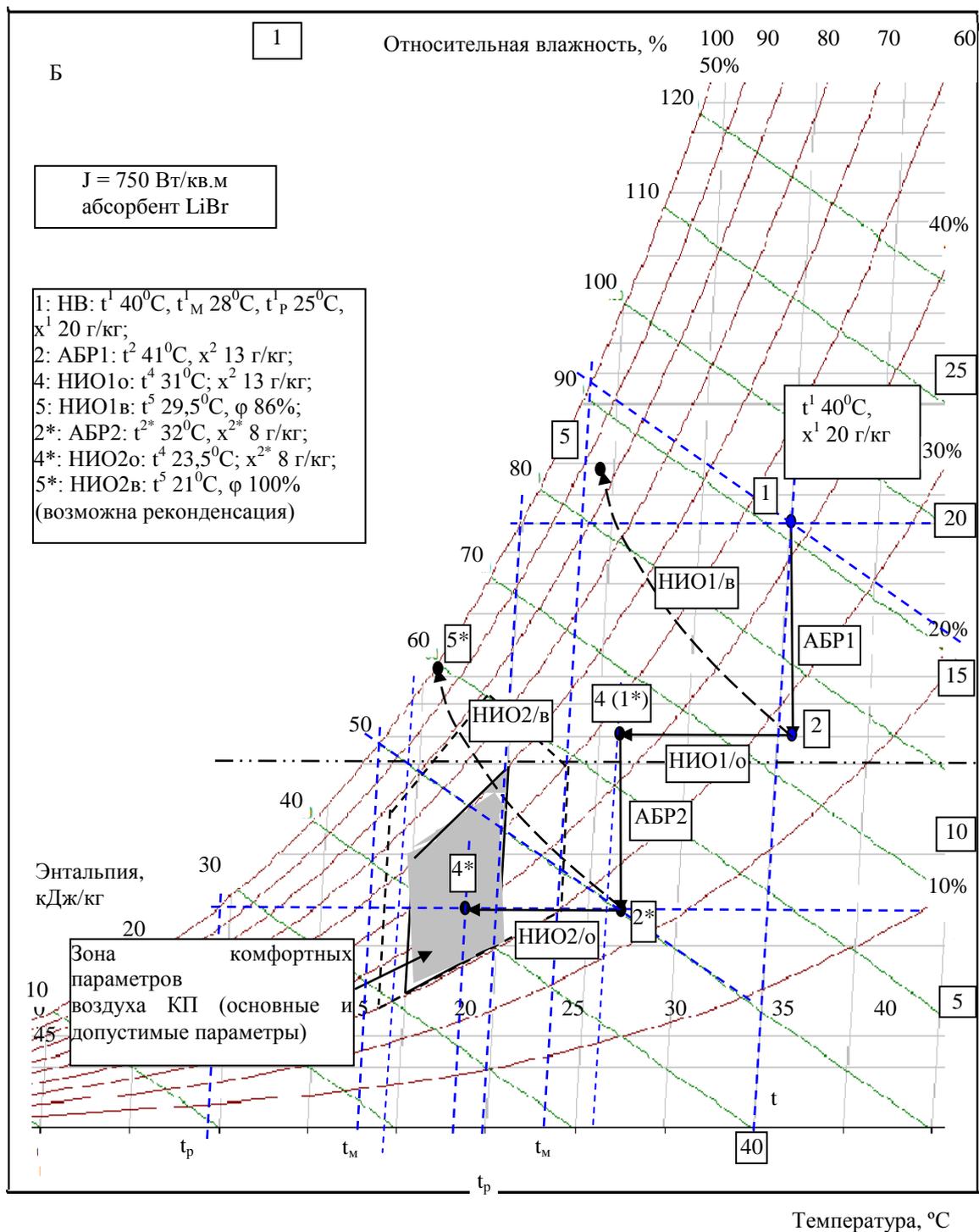


Рисунок 3 – Принципиальные возможности разработанных ССКВ (формула АБР1-НИО1-АБР2-НИО2, позиция А), анализ процессов на Н-Т диаграмме влажного воздуха (Б). Обозначения по рис. 2, доп.: 1-2, 1\*-2\* – процесс осушения воздуха в абсорбере; 2-4, 2\*-4\* – охлаждение основного воздушного потока в НИО; 2-5, 2\*-5\* – вспомогательный воздушный поток в НИО

Осушительно-испарительный контур солнечной системы  
 Solar liquid-desiccant systems (SLDS)  
 Формула СХС: НВ → АБР1 → НИО → АБР2 → ГРД → «охл. вода»

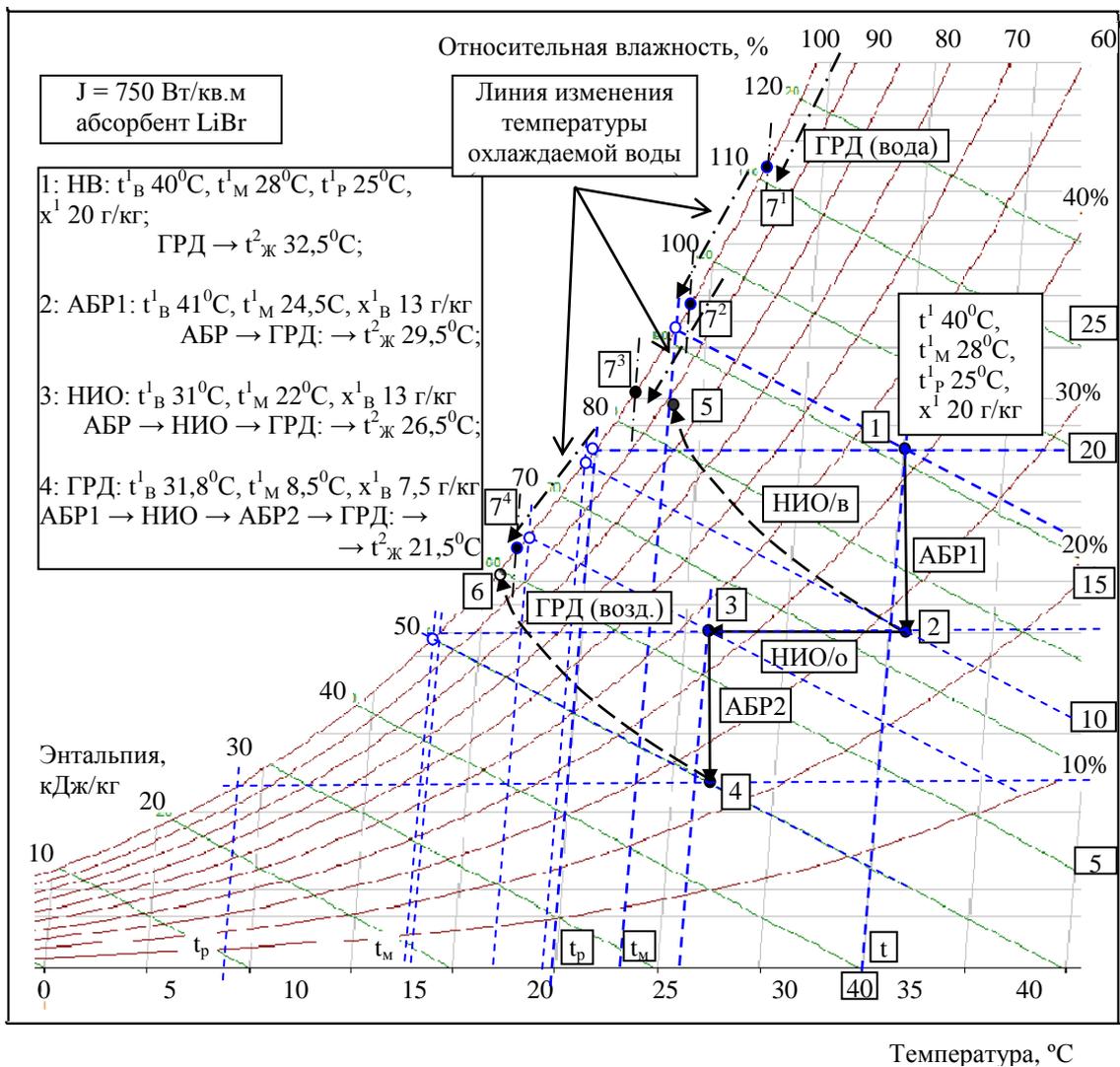
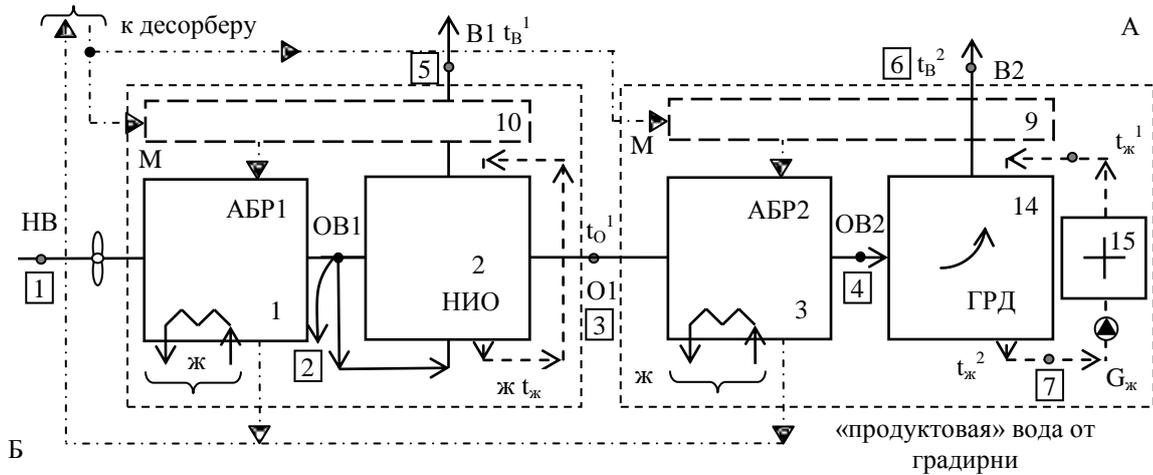


Рисунок 4 – Принципиальные возможности разработанных СХС (формула АБР1-НИО1-АБР2-ГРД). Обозначения по рис. 2, доп.: 1-2, 3-4 – процесс осушения воздуха в абсорбере; 2-3, 2-5 – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО; 7<sup>1</sup>, 7<sup>2</sup>, 7<sup>3</sup>, 7<sup>4</sup> – охлажденная в градирне ГРД вода  $t_{ж}^2$  (ГРД, АБР-ГРД, АБР-НИО-ГРД, АБР1-НИО-АБР2-ГРД)

## ПРЕСТЕУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУДЕ ӨЛШЕУ АСПАПТАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІ ЖОЛДАРЫ

*Какимов А.К.<sup>1</sup>, док, тех наук., Абдилова Г.Б.<sup>1</sup>, канд, тех наук.,  
Тұрлыбекова Н.Е.<sup>1</sup>, магистрант., Мажибек С.<sup>1</sup>, студент  
Государственный университет имени Шакарима г. Семей, Республика Казахстан*

Сұйық ортаны өлшейтін сериялық аспаптар көп болғандықтан, бұндай ортада қысымды өлшеу ешқандай қиындық туғызбайды. Ал пластикалық-тұтқырлы ортадағы қысымды өлшеу үшін сериялық аспаптарды іс жүзінде өндірісте шығармайды, сондықтан қажетті датчикті әртүрлі жағдайларға таңдау өз бетімен шешіледі. Датчиктерді практикада пластикалық-тұтқырлы өнімдердің қысымын анықтау үшін: вискозиметрлерде, көлемдік сығылу кезіндегі цилиндрлерде, тартылған ет өтетін құбыржолдарда және т.б. кең қолданылады.

Технологиялық процестердің автоматтандыру кезінде пластикалық-тұтқырлы өнімдердің (тартылған ет, ірімшік массасы, жануар майы және т.б.) қысымын өлшейтін аспаптар жоқтығы себебінен, қысымды анықтау қиындық туғызады. Бұндай аспаптарды өз бетінше жасау кезінде келесідей негізгі талаптар қойылады: оңай тазаланатын, сезімтал элементтердің еркін орналасуы, көрсеткіштің дәлдігі мен жұмыстағы сенімділігі. Сондықтан осы мәселелерді ескере отырып, зертханалық және өндірістік зерттеулер үшін арнайы жетілдірілген аспаптар қолданылады. Олар жіктелуі бойынша сұйықтық (гравитациялық), механикалық және электрлік болып бөлінеді [1].

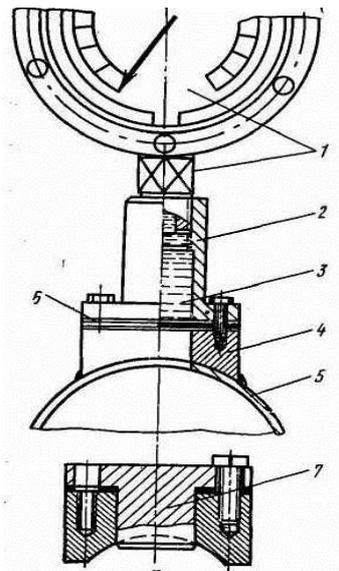
Қысым шамасын анықтау, әсіресе қысыммен жұмыс істейтін жабдықтарда (сорғылар, шприцтер, престер) қолдануды қажет етеді. Осындай жабдықтардың қатарына пресс жабдығын да жатқызуға болады. Престеу процесінде қысым негізгі маңызды шамалардың бірі болып табылады. Престеу кезінде жұмысшы органдардың шикізатқа әсер ететін қысым шамасын нақты білу, престеу процесін сипаттауда және зерттеуде өз әсерін тигізеді. Престеу процесін зерттеу кезінде, қысым шамасын анықтау үшін датчиктер негізінен зеерлі цилиндрлер мен шығар ауыздағы конусты реттегішке орнатылады. Шнекті престерде шикізаттарға қысым шнек орам қадамдарының кішіреюі арқылы немесе шнекті біліктің ішкі диаметрінің жүріс бойынша үлкеюі арқылы туындайды. Орамдар арасындағы жүріс шығар ауызға қарай 3...4 есе кішірейді, ал қысым шамасы 40 МПа дейін жетеді. Зеерлі цилиндрлердің май ағатын тесіктері шикізат массасының жүріс қозғалысына байланысты 1,4...0,86 мм. дейін кішіреюі мүмкін [2, 3].

Сондықтан пресс жабдығына қысым шамасын өлшейтін аспаптарды таңдаған кезде, ең бірінші көңіл бөлер жағдайлардың бірі: ол жабдықтың құрылымын ескере отырып, жұмысшы органдарға ыңғайлы бекітілетін және аспаптың сезім қабілеттілігін төмендетпейтін датчиктерді таңдап алу.

Қазіргі уақытта, жаңа техникада құрылымы бойынша әртүрлі механикалық және электрлік датчиктер өте кең таралған. Қолданыстағы датчиктер - буферлік сұйықтық пен серіппесі бар механикалық аспаптар  $0,2 \cdot 10^5$ -ден  $50 \cdot 10^5$  дейін, ал электрлік датчиктерге жататын тензометриялық датчик  $0,2 \cdot 10^5$ -нен  $500 \cdot 10^5$  дейін және потенциометриялық  $0,1 \cdot 10^5$ -ден  $20 \cdot 10^5$  Па дейінгі аралықта орнықтылық көрсеткішін береді.

Электрлік аспаптардың көлемі шағын болып келеді, сондықтан онда әртүрлі шамадағы қысымды және электронды аспаптарда автоматты жазбалар арқылы өлшенетін шамадағы вакуумды өлшеуге болады. Электрлік датчиктер кез-келген жұмыс режимінде қолданылады. Мысалы, сорғыларды сынау кезінде қысымның лүпілін, сығылу толқындарының таралу жылдамдығын анықтауға мүмкіндік туады. Электрлік датчиктер қалыпты ылғалдылық жағдайында, дірілсіз осциллографиялық қондырғы жиынтығымен жұмыс істейді. Бірақта, электрлік датчиктер пресс жабдығында қысым шамасын өлшеу кезінде құрылымы жағынан қиындық туғызады және экономикалық жағынан механикалық датчиктерге қарағанда бірнеше есе қымбатқа түседі. Сондықтан престерде механикалық аспаптарды қолданған тиімді. Себебі, датчиктердің жарғағы пропорционалдық шегіне дейінгі кернеу аймағында жұмыс істеуі үшін шнекті престердің жұмыс органдарына орнатуға ыңғайлы, кішігірім құбыр түтікшелі датчиктерді қажет етеді.

Осындай механикалық аспаптардың қатарына буферлік сұйықтығы бар Бурдон түтікті манометрден тұратын аспапты (1 сурет) жатқызуға болады. Буферлік сұйықтығы бар аспап жалғастығы 10 мм диаметрге дейін бұрғыланып, оның ішкі жағы глицеринмен толтырылады. Манометрді орнатқан кезде резеңкелі жарғақ деформацияланады, ал манометр  $0,5 \cdot 10^5$  Па дейінгі артық қысымды көрсетеді, оны көрсеткіштерден есептеп шығарады.

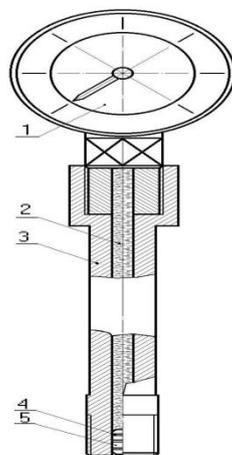


Сурет 1– Бурдон түтігі мен буферлік сұйықтығы бар манометр, 1 – манометр; 2 – тұрық; 3 – глицерин; 4 – дөңесше; 5 – аппараттың тұрығы; 6 – резеңкелі жарғақ; 7 – тығын

Бұл аспап жұмыстың статикалық режимінде өте тиімді, өйткені қысым лүпілі кезінде нұсқаманың бағытын анықтау қиынға соғады. Бұл типтегі датчиктер қосымша аппаратураны қажет етпейді және оларды кез-келген аппаратқа орнатуға болады. Бірақта бұл аспаптың резеңкелі жарғағы жиі ауыстыруды қажет етеді және құрылымы әртүрлі қатты заттардан тұратын шикізаттарды престеген кезде, резеңкелі жарғақтың бүлінуі мүмкін. Сондықтан Бурдон түтігі мен буферлік сұйықтығы бар манометрлі аспаптың құрылымын пресс жабдығына арнап, келесідей өзгертулерді енгіземіз:

Пресс жабдығына арналған қысымды өлшеу аспабының резеңкелі жарғағының орнына болаттан жасалған резеңкелі сақиналары бар поршенді пайдаланамыз (2 сурет). Тұрқының жабдыққа бекітілетін жағын престің жұмысшы органына ыңғайлы орнатылатындай етіп бұрама салынады. Бұндай өзгертулер айнымалы қысымды өлшеудегі көрсеткіш дәлдігін жоғарлатады, өйткені поршеннің инерциясы мен тығыздаудағы үйкелістер қысымының толқынын бәсеңдетеді және құрылымы мен эксплуатациясы жағынан қарапайым.

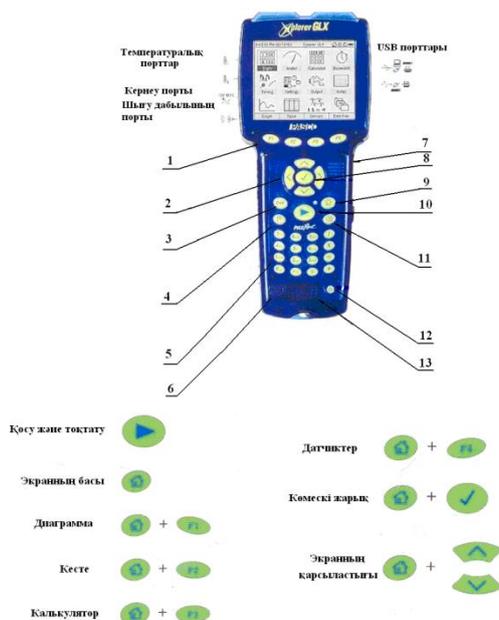
Қысым датчигін орнату үшін негізгі құбыры бар, бірдей диаметрлі қысқа құбырларды (0,15-0,20 м) қолдану қолайлы. Пластикалық-тұтқырлы өнімдерді тасымалдау кезінде құбыр материалы ағыс кедергісіне әсер етпейді, өйткені жоғары адгезиядан ұсақ дисперсті заттың жұқа қабаты қабырғаға жабысып қалады: материалдың кедір-бұдырлығы және адгезиялық белсенділігі артықшылығын жоғалтады. Өндірістік қондырғыларда зерттеу негізінен тәжірибелік зерттеулер сияқты жүргізіледі.



Сурет 1 – Пресс жабдығына арналған қысымды өлшеу аспабы, 1 – манометр; 2 – глицерин; 3 – тұрық; 4 – резеңкелі сақина; 5 – поршень

Қысымды өлшейтін Хрлогер GLX графикалық әмбебап аспабы әмбебап аспаптар қатарына жатады (3 сурет). Ол бүгінгі таңдағы алдыңғы қатарлы заманауи аспап болып табылады. Бұл аспаптың көмегі арқылы өнімнің пресеу қысымын жоғарғы дәлдікпен өлшей аламыз. Алынған нәтижелерді графикалық түрде талдай отырып, өзімізге қажетті сан мәндерін анықтай аламыз. Алынған мәліметтерді компьютердің көмегінсіз өзінің аспаптың жадысында сақтай алады.

Осы мақалада ұсынылған қысымды өлшейтін аспаптарды салыстыра отырып, мынандай қорытындыға келуге болады: тамақ өндірісінде қысыммен жұмыс істейтін жабдықтардың жұмысшы органдарының әр түрлілігіне байланысты және пластикалық-тұтқырлы ортадағы қысымды өлшеу аспаптарының іс жүзінде өндірісте шығарылмауы, оларды таңдауды өз еркімен шешуді қажет етеді. Сондықтан пресеу процесін зерттеуде, қарастырылып отырған қысымды өлшеу аспабы арқылы жоғарыдағы талаптарды қанағаттандыратын құрылымы мен эксплуатациясы жағынан қарапайым әмбебап датчикті пайдаланудың тиімді жолы ұсынылған.



Сурет 3 – Хрлогер GLX графикалық тіркеуіш аспабының жалпы көрінісі

1 – функционалдық пернелер; 2 – ауыстыру пернелері ; 3 – шығу және өзгерістерді жою; 4 – қолмен таңдау режимінде нүктені жазу; шамаларды мәтінмен немесе дауыспен қамтамасыз ету; 5 – сандық немесе мәтіндік шамаларды енгізу; 6 – микрофон; 7 – күштік желілі адаптерге арналған порт; 8 – активтендіру және өзгерістерді қолдану; 9 – жалпы мәзірге оралу; 10 – шамаларды жинауды тоқтату; 11 – бөлініп көрсетілген объектіні алып тастау; 12 – электрқоректендіргіш; 13 – динамик

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 283 с.
2. Соколов А. Я. Прессы пищевых и кормовых производств - М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Ивашов В. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть I. Оборудование для убоя и первичной обработки. – М.: Колос, 2001. – 552 с.

УДК 637.5

### КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МЯСОКОСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

*Какимов А.К., д.т.н., Есимбеков Ж.С., PhD., Суйчинов А.К., PhD-докторант  
Государственный университет имени Шакарима г. Семей, Казахстан  
E-mail: bibi.53@mail.ru, ezhanibek@mail.ru*

На мясоперерабатывающих предприятиях во время разделки мясной туши получаемое костное и мясокостное сырье в основном идет на выработку мясокостной муки, которая добавляется в комбикорма животного происхождения. Однако, пищевая кость, получаемая при промышленной

переработке мяса на предприятиях мясной промышленности, отличается высоким содержанием жира, белка и фосфорно-кальциевых соединений. Химический состав кости представлен: вода – 13,8-44,4%, белок (коллаген) – 32,0-32,8%, минеральные вещества – 28,0-53,0%, жир – 1,3-26,9% [1].

Для пищевых целей мясокостное сырье используют в качестве белковых гидролизатов и минеральных добавок, получают костный бульон и жир после соответствующей технологической обработки.

Авторами Карышевой А.Ф., Куценко А.М., Карышевым С.В. разработан способ получения белкового продукта из мясокостного сырья, преимущественно крупного рогатого скота. Мясокостное сырье после обвалки туш закладывают в герметически закрытую емкость, заливают водой и подают в емкость острый пар при давлении 1,5-5 атм. Тепловую обработку ведут не менее 3 ч с последующей тщательной герметизацией, выдержкой сырья в полученном без выхода пара бульоне не менее 6 ч и сушкой. Полученный порошок представляет собой высококачественный белковый продукт, в состав которого входит не менее 94,5% белка, содержащего 27 аминокислот, а также минеральные (фосфор, кальций, натрий) и зольные вещества, жиры [2].

На базе ОАО "Мясокомбинат Раменский" специалистами разработан способ получения белковых гидролизатов из мясного, мясокостного и костного сырья убойных животных. Способ осуществляют путем измельчения сырья, гомогенизации с водой, обезжиривания, термообработки острым паром при 120 – 140 °С в вакуумной установке и давлении 0,2 - 0,4 МПа, охлаждения до 40 – 45 °С, ферментативного гидролиза. Полученный гидролизат нагревают при постоянном перемешивании до 110 – 120 °С. Жидкую фракцию охлаждают, фильтруют и сушат. Способ обеспечивает степень конверсии белка 50%. Белковый гидролизат характеризуется низким содержанием зольных веществ и аминокислотным составом, отвечающим требованиям ФАО/ВОЗ [3].

Интересным представляется способ получения белковой добавки из мясокостного сырья. Способ предусматривает измельчение сырья, приготовление суспензии, гидролиз белков протеолитическим ферментом, пастеризацию и инактивацию ферментов микробного происхождения, очистку жидкой белковой фракции и сушку. Приготовление суспензии производят смешиванием сырья с водой в соотношении 1,0:1,5-1,0:2,5. Гидролиз ведут мультиэнзимной композицией протеолитических ферментов микробного происхождения в концентрации 0,15-0,25% по отношению к массе сырья при температуре 53-57°С в течение 1,5-2,5 ч. В состав мультиэнзимной композиции входит протеолитический фермент, продуцируемый *B.lichimiformis*. Концентрирование проводят под вакуумом до содержания сухих веществ 20-40%. Белковые добавки производятся в жидкой, концентрированной и порошкообразной форме. Изобретение обеспечивает получение белковой добавки, содержащей свыше 80% белка, с улучшенными органолептическими и функциональными свойствами [4].

В работе Бердутиной А.В. предложена технология белкового гидролизата из вторичного сырья (мясокостное сырье, кровь убойных животных) мясной промышленности, в котором проводили ферментативный и кислотный гидролиз сырья для получения сбалансированного по аминокислотному составу белкового гидролизата, которую рекомендуется использовать в качестве пептона [5].

Учеными из Южно-Казахстанского государственного университета имени М. Ауэзова предложен способ получения белка из кости, включающий измельчение исходного сырья, его последующую тепловую обработку с обезжириванием, водную экстракцию, разделение смеси на белково-водный раствор и минеральный костный остаток, концентрирование раствора и его сушку, отличающийся тем, что перед экстракцией осуществляют дополнительное измельчение кости до размеров частиц 500 мкм, а экстракцию смеси проводят, воздействуя ударными волнами, создаваемыми электрогидроимпульсами, посредством электродов, установленных в экстракторе, с удельной энергией 1,5·10<sup>4</sup> Дж/м при частоте следования импульсов 4-2 Гц в течение 5 - 30 минут при давлении белково-водной смеси 0,09-0,15 МПа [6].

Учеными государственного университета имени Шакарима города Семей проводятся комплексные исследования по использованию мясокостного сырья в производстве мясных продуктов на основе тонкого измельчения мясокостного сырья. В схеме переработки мясокостного сырья предусмотрено обработка измельченной мясокостной массы биопрепаратом - активной творожной сыворотки для получения пищевого компонента мажущейся консистенции. На базе пищевого компонента и белково-жиро-кровяной эмульсии, изготовленной с использованием бульона, костного жира и цельной крови, получен белковый комплекс по составу и свойствам близкий к фаршу из мяса, который используется в технологии колбасных изделий [7, 8, 9, 10].

В Японии предложен метод получения мясокостной пасты [11], который включает измельчение мясокостного сырья в две стадии – крупное измельчение и тонкое измельчение. Полученная мясокостная паста может быть использована для быстрого приготовления супов и бульонов.

Японский ученый Sugano Saburo предложил пищевую добавку из костей сельскохозяйственных животных. Кости свиней, КРС, птицы и т.д. обрабатывают кислотой (например, соляной кислотой), затем нейтрализуют щелочным раствором (например, гидроксид натрия) для увеличения содержания влаги. Далее продукт измельчается в мельнице для тонкого измельчения и полученная масса добавляется в мясные (фрикадельки, рубленый бифштекс и др.) или рыбные продукты [12].

Специалистами из компании «Taiyo Fishery CO LTD» (Япония) предложена технология производства рыбного продукта обогащенного кальцием, с высокой пищевой ценностью на основе тонкоизмельченной рыбной костной пасты. Для получения рыбной костной пасты используют массколлоидер. Полученную пасту добавляют в рыбный фарш [13].

Для выработки функционального мясного продукта обогащенного кальцием, в качестве главных компонентов состава входит тонкоизмельченная кость птицы в виде пасты и сыворотка соевого творога (тофу) [14].

Интересным представляется работа [15], в котором предложена мясная композиция, на основе пасты из костей птицы или животных и нерастворимого желатина, полученного путем погружения шкуры животного в горячую воду с определенным рН. При этом шкуру животного разрезают на куски от 100 до 900 см<sup>2</sup>, погружают в горячую воду с рН 5,0-7,5 при температуре 50-70°С в течение 1-5 минут, далее охлаждают до ≤0°С для получения нерастворимого желатина. Полученный желатин смешивается с пастой из костей птицы или животных. Паста содержит 20% костных частиц и около 80% костного мозга и других веществ. Размер костных частиц менее 300 микрон.

Fukuoka Shuji запатентовал способ производства пищевого продукта с повышенным содержанием белка и низким содержанием жира, обогащенный кальцием. Способ предусматривает измельчение куриных костей на микроизмельчителе до получения куриной пасты, далее перемешивается с выжатым соевым творогом в соотношении 1:1 с добавлением соли. В результате полученная смесь замораживается для формирования устойчивой формы и хранения. Полученный продукт жарят на масле, варят и т.п. и может быть использован в питании. Данный пищевой продукт относится к недорогим по цене продуктам и имеющий высокую пищевую ценность [16].

Для получения костной пасты, с высокой пищевой ценностью, перерабатывают кости птицы, животных, рыбы и т.д., содержащий костный мозг. Кости сначала замораживают, предпочтительно при температуре минус 20°С, далее рубят на небольшие куски и дробят в специальных дробильных установках. Полученный материал измельчают на измельчителе, в полученную систему добавляют охлажденную воду, (температура воды 0°С) или тонкие кусочки льда и перемешивают до фаршевого состояния. Полученную смесь измельчают на мельнице, где на выходе получают пасту, с грубо измельченными частицами с низкой температурой. Далее полученная паста вновь измельчается до получения пасты с тонкодисперсными частицами [17].

Японскими учеными Chiba Yoshiyuki, Naruta Takao, Yokota Katsumi запатентован способ производства костной пасты из костей КРС. Для получения однородной пасты используют кости КРС. Кости измельчают в несколько стадий на измельчителях с разными выходными отверстиями: 5-10 мм, 1-5 мм. Далее измельчается на мельнице для получения пасты. Добавление льда, или ледяной воды при измельчении позволяет более интенсивному и плавному вращению рабочих органов измельчителя [18].

Компанией «Масуко Санге Ко. ЛТД» (Япония) предложены линии получения мясокостной пасты из костей различных видов животных (КРС, МРС, свиньи, птицы и рыбы). К примеру, в линии по переработке кости птиц и рыб, кости птиц и рыб предварительно замораживают в виде брикетов и в таком виде подают на переработку. Замороженное сырье в виде брикетов подается в измельчитель замороженных блоков, где брикеты измельчаются в виде стружки. Далее конвейером сырье подается в волчок с диаметром отверстий выходной решетки 5 мм, прошедшее волчок сырье подается конвейером в мешалку. При необходимости добавляют воду или лед в зависимости от технологии выработки продукта. Приготовленная таким образом масса выгружается в приемный бак, откуда насосом подается в измельчитель. Из измельчителя продукт выгружается в формы для быстрого замораживания (до температуры в пределах от минус 35 до минус 40 °С) или подается на дальнейшую обработку [19].

При измельчении костей МРС и свиней в качестве исходного сырья замораживают, в основном, позвоночные столбы и ребра, изобилующие костным мозгом. При этом измельчение происходит по несколько измененной схеме с учетом твердости исходного сырья. Сырье в замороженном виде загружают в силовой измельчитель с диаметром отверстий выходной решетки 4 мм. Прошедшее силовой измельчитель сырье подается в пресс-измельчитель, где получаем пластовые кусочки толщиной 1 мм. Далее сырье подается в волчок с диаметром отверстий выходной решетки 2 мм. Из

волчка измельченный продукт подается в фаршемешалку, где добавляется лед, вода и др. согласно технологии. Тонкое измельчение производится на измельчителе. Окончательное измельчение до коллоидного состояния производится на микроизмельчителе, после чего продукт отправляется на дальнейшую обработку.

При переработке костей КРС кроме позвоночных столбов и ребер, используются также эпифи-зы трубчатых костей. Так как сырье, получаемое в процессе переработки костей КРС более твердое, чем кости МРС и свиней, в линию по переработке костей КРС добавляется дополнительный куттер.

Першиной Е.И. разработана технология мясных продуктов, обогащенных витаминами и пищевой костной мукой. Пищевая костная мука, разработанная специалистами УкрНИИ мясной промышленности, является богатым источником кальция (26,8 г/100г) и фосфора (7,5 г/100г), белка 19,9 г/100г, липидов – 14,2 г/100г. Данная мука вносилась в рецептуру мясных продуктов в количестве 2% от общей рецептуры мясных продуктов [20].

Галановой О.Г. предложен подход к использованию реберных костей свиней и МРС, который заключается в выделении жизнеспособных лимфоцитов из красного костного мозга с последующим их инкубированием для накопления БАВ [21].

В целом, научные исследования специалистов и ученых по переработке костного сырья с целью получения пищевого компонента или костной пасты основаны на процессах тонкого измельчения, гидролиза, обработки реагентами и разработке функциональных добавок для обогащения конечных продуктов минеральными и белковыми веществами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов И.А., Жаринов А.И., Текутьева Л.А., Шепель Т.А. Биотехнология мяса и мясопродуктов: курс лекций. – М.: ДеЛи принт, 2009. – 296 с.
2. Пат. РФ. Способ получения белкового продукта / Карышева А.Ф., Куценко А.М., Карышев С.В.; опубл. 15.07.1994.
3. Пат. 2160538 РФ. Способ получения белкового гидролизата из мясного и мясокостного сырья / Баер Н.А., Неклюдов А.Д., Дубина В.И., Теляшевская Л.Я., Алешин А.А., Лунев Г.Г., Тимошкина Е.А., Ламм Э.Л. опубл. 20.12.2000. – Бюл. №16. – С. 19-20.
4. Пат. 2390252 РФ Способ получения белковой добавки из сырья животного происхождения / В.Г. Волик, Д.Ю. Исмаилова, О.Н. Ерохина, В.В. Бреннер, В.А. Петровичев, С.Л. Люблинский; опубл. 27.05.2010. – Бюл. №15.
5. Бердугина А.В. Разработка технологии белковых гидролизатов из вторичного сырья мясной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. – М.: ВНИИМП им. Горбатова, 2000.- 186 с.
6. Пат. 13612 РК. Электрогидроимпульсный способ получения белка из кости/ К. Кусаиынов, Б.Р. Нусупбеков, Г.Е. Сейсенбек, Г.Т. Картбаева, Д.К. Кусаиынова: опубл. 15.06.2006, бюл. № 6.
7. Ибрагимов Н.К. Исследование процесса измельчения мясокостного фарша из птицы // Вестник Семипалатинского государственного университета им. Шакарима. - 2005. - №1. - С. 31-35.,
8. Какимов А.К. Научные основы технологических процессов обработки комбинированных мясных продуктов с добавлением костного сырья: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.04, 05.18.12. – Алматы: АТУ, 2007. – 270 с.
9. Кудеринова Н.А. Разработка технологии получения и использования пищевого компонента из костного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. – Семипалатинск: СГУ им. Шакарима, 2004. – 231 с.
10. Какимов А.К., Кабулов Б.Б., Есимбеков Ж.С., Кудеринова Н.А. Применение мясокостной пасты в качестве белковой добавки в производстве мясных продуктов // Теория и практика переработки мяса.- 2015. - №1. – С. 22-30.
11. Pat. 2012210197 Japan. Method for producing bone-mixed meat paste / Inventors Francis Cardila, Applicants Soshieeda:KK; date of publication of application:01.11.2012.
12. Pat. 04-293472 Japan. Food raw material and food prepared by using livestock bone as raw material. Applicant Toyama Pref Gov, / Inventor Sugano Saburo. Date of publication of application 19.10.1992. Application number 03-080594.
13. Pat. 04-190768 Japan. Production of fish bone paste and utilization of fish bone paste. Applicant TAIYO FISHERY CO LTD. / Inventor Endo Kinichi, Mizoguchi Tatsu. Date of publication of application 09.07.1992. Application number 02-321435.
14. Pat. Japan Calcium-rich health food. Applicant Ado Posuto: KK. / Inventor Inoue Kyoichi. Date of publication of application 13.10.1992, Application number 03-078463.
15. Pat. 58-205472. Meat-like composition and its preparation. Applicant Bunka Zerachin Kenkyusho:KK, MITSUBISHI CHEM IND LTD. / Inventor Nagasawa Shinjuro. Date of publication of application 30.11.1983.
16. Pat. 58-158149 Japan. Frozen food containing kneaded bean curd and chicken paste. / Applicant and inventor Fukuoka Shuji. Application number 57-041953.
17. Pat. 01-296955 Japan. Production of marrow paste. Applicant MASUKO SANGYO CO LTD. Inventor Masuda Tsuneo. Application number 63-153422.

18. Pat. 55-118378 Japan. Preparation of cow bone paste. Applicant MITSUBISHI CHEM IND LTD. / Inventor Chiba Yoshiyuki, Haruta Takao, Yokota Katsumi. Date of publication of application 07.03.1979. Application number 54-026400.

19. Какимов А.К., Еренгалиев А.Е., Ибрагимов Н.К., Аскарлов А.Х. Использование мясокостного сырья при производстве пасты как ценной пищевой добавки / Сб. науч. трудов «Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств». – М.: МГУПБ, 2002. – С. 94-97.

20. Першина Е.И. Исследование и разработка технологии мясных продуктов, обогащенных препаратами витаминов и пищевой костной муки: автореф. канд. техн. наук: 05.18.04. – Кемерово: КемТИПП, 2000. – 18 с.

21. Галанова О.Г. Разработка технологии получения биологически активной композиции из костного мозга и путей ее использования в мясных продуктах: автореферат .... канд. техн. наук: 05.18.04. – Улан-Удэ: Восточно-Сиб. гос. технолог. ун-т., 1998. – 20 с.

УДК 637.138: 637.136

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ ВНОСИМЫХ ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ ПРОБИОТИКОВ В КИСЛОМОЛОЧНЫЙ ПРОДУКТ

*Какимов А.К., д.т.н., Какимова Ж.Х., к.т.н., Бенеева А.Е., PhD., Байбалинова Г.М., к.т.н.*

*Государственный университет имени Шакарима г. Семей, Казахстан*

*E-mail: bibi.53@mail.ru, Zhaynagul.kakimova@mail.ru, Aiga3@mail.ru, baybalinova@mail.ru*

При обогащении кисломолочных продуктов различными компонентами для придания им функциональных свойств, не менее важным является определение дозы вносимых компонентов для получения продукта, не уступающего по ряду показателей качества его традиционным аналогам. При разработке рецептуры молочных продуктов, необходимо учитывать влияние количества вносимого компонента на органолептические и структурно-механические показатели качества продукта.

На основании вышеизложенного поставлена задача – исследовать влияние дозы вносимых инкапсулированных пробиотиков на органолептические и структурно-механические показатели в процессе производства кисломолочного продукта.

Первоначально проведены исследования влияния количества вносимых инкапсулированных пробиотиков на изменение органолептических показателей кисломолочного продукта.

Поскольку воспринимаемые органами чувств такие свойства пищевых продуктов, как вкус, запах и внешний вид, гораздо больше влияют на выбор потребителями того или иного продукта, чем его состав или питательная ценность. Любой продукт может быть питательным, привлекательно упакованным и не очень дорогостоящим, однако, если у него неприятный вкус или запах, он не будет пользоваться спросом у потребителя. С повышением жизненного уровня и расширением ассортимента пищевых продуктов все большее значение приобретают их вкусовые свойства, аромат и внешний вид.

В связи с этим, был проведен органолептический анализ опытных образцов нового вида кисломолочного продукта с инкапсулированными пробиотиками в количестве 2%, 4%, 6%, 8% в сравнении с контрольным образцом кисломолочного продукта (таблица 1). Оценка кисломолочного продукта проводилась согласно ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011.

Таблица 1 – Оценка органолептических показателей опытных образцов кисломолочного продукта с инкапсулированными пробиотиками

Образец	Содержание инкапсулированных пробиотиков, %	Показатель, баллы			Средняя балльная оценка
		вкус, запах	структура и консистенция	цвет	
1	0	5	5	5	5
2	2	5	4	5	4,7
3	4	5	4	5	4,7
4	6	4	2	3	3
5	8	2	1	3	2

Как видно из таблицы 1, опытные образцы с 2%-ным и 4%-ным содержанием инкапсулированных пробиотиков наиболее приближены к бальной оценке эталона. Увеличение дозы вносимых инкапсулированных пробиотиков приводит к ухудшению вкуса. Присутствие капсул становится чрезмерно ощутимым, продукт обладает густой консистенцией. Происходит нивелирование кисломолочного вкуса и преобладание вкуса полимера, что для кисломолочного продукта нежелательно. Пониженное же содержание инкапсулированных пробиотиков приводит к недостаточному обогащению продукта пробиотиками.

В соответствии с органолептическими показателями, наиболее оптимальным содержанием инкапсулированных пробиотиков в кисломолочном продукте является содержание капсул в количестве 4%. При этом продукт обладает следующими органолептическими показателями: вкус и запах - приятный, чистый кисломолочный, сладкий, без посторонних привкусов и запахов; консистенция - однородная, вязкая, присутствуют капсулы диаметром 2-3 мм; цвет – кремовый.

Для сведения к минимуму ощущения инкапсулированных пробиотиков в кисломолочном продукте при употреблении, возникла необходимость добавления структурирующей добавки с целью получения продукта необходимой консистенции. При выборе добавки основными критериями были возможность использования в производстве пищевых продуктов, экономическая доступность, а также стабилизация консистенции. В результате, исследования проводились с использованием альгината кальция.

Альгинат кальция - гидроколлоид растительного происхождения, имеет различную пищевую ценность и с гигиенической точки зрения абсолютно безвреден, как практически неметаболизируемое вещество, полностью выводящееся из организма. Альгинат Са также способствует выведению радиоактивных веществ из организма и лучшему всасыванию железа [1]. Следует отметить, что альгинат применяют в продуктах функционального назначения в качестве лечебно-профилактической добавки.

По результатам анализа литературных источников установлено, что для достижения желательных потребительских свойств, оптимальной концентрацией вносимого альгината кальция для получения кисломолочных продуктов необходимой вязкости, является концентрация в диапазоне от 0,5 до 2,5 [1]. Внесение альгината кальция в количестве больше 2,5% способствует получению продукта с консистенцией, не отвечающего требованиям. В связи с этим, в работе альгинат Са применяли в диапазоне от 0,5 до 2,5 %.

В процессе исследования определяли структурно-механические характеристики, органолептические показатели экспериментальных продуктов, результаты которых приведены в таблице 2 и на рисунке 1. Для характеристики структурно-механических свойств использовали показатель динамической вязкости, полученный с помощью ротационного вискозиметра Брукфильда (аналоговый) [1, 2]. Скорость вращения шпинделя – 10 об/мин.

Таблица 2 – Влияние количества структурирующей добавки альгината Са на структурно-механические и органолептические показатели кисломолочного продукта с инкапсулированными пробиотиками

Продукт	Массовая доля, %		Коэффициент динамической вязкости, Па·с	Органолептическая оценка, баллы
	Инкапсулированные пробиотики	Альгинат Са		
1	2	3	4	5
Контроль 1	2	0	2,23	3,5
Опыт 1	2	0,5	2,28	3,7
Опыт 2	2	1,0	2,36	3,8
Опыт 3	2	1,5	2,58	3,9
Опыт 4	2	2,0	2,79	4,0
Опыт 5	2	2,5	2,9	4,0
Контроль 2	4	0	4,0	4,7
Опыт 6	4	0,5	4,9	4,9
Опыт 7	4	1,0	5,50	4,9
Опыт 8	4	1,5	5,96	4,5
Опыт 9	4	2,0	6,2	4,2
Опыт 10	4	2,5	6,45	4,2
Контроль 3	6	0	6,5	4,0
Опыт 11	6	0,5	6,75	3,9
Опыт 12	6	1,0	6,86	3,5

Опыт 13	6	1,5	6,89	3,3
Опыт 14	6	2,0	6,90	3,0
Опыт 15	6	2,5	6,93	2,9
Контроль 4	8	0	7,1	3,0
Опыт 16	8	0,5	7,3	2,7
Опыт 17	8	1,0	7,35	2,7
Опыт 18	8	1,5	7,4	2,5
Опыт 19	8	2,0	7,5	2,2
Опыт 20	8	2,5	7,57	2,0

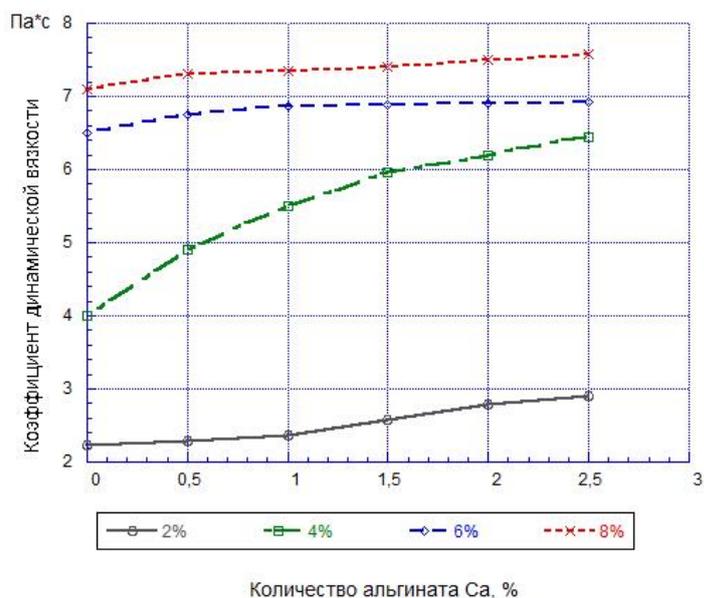


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости от количества вносимого альгината Са

Анализ полученных данных позволил установить, что по мере увеличения дозы альгината Са, динамическая вязкость продукта также увеличивается. Органолептическая оценка продуктов позволила сделать вывод, что оптимальным количеством вносимого альгината Са является 0,5% при концентрации инкапсулированных пробиотиков в 4%, так как данная концентрация позволяет получить продукт с необходимой консистенцией – вязкая, с равномерным распределением инкапсулированных пробиотиков, при употреблении капсулы менее ощутимы (рисунок 2).

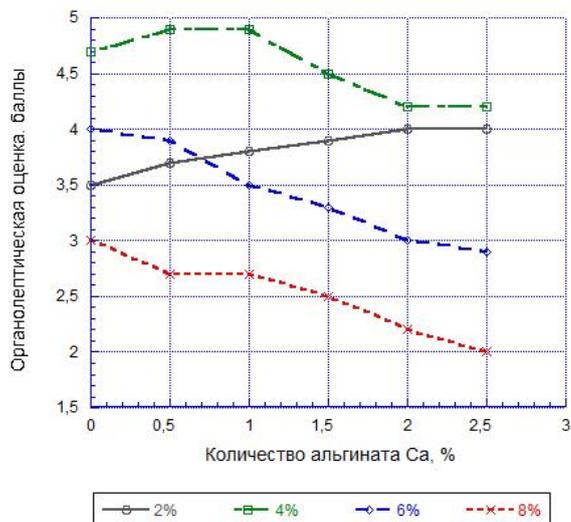


Рисунок 2 – Зависимость органолептических показателей продукта от количества вносимого альгината Са

Внесение инкапсулированных пробиотиков в кисломолочный продукт незначительно изменяет основные физико-химические параметры продукта. Это связано с тем, что капсулы в среде находятся в стабильном состоянии, диффузии пробиотиков, которые могли бы повлиять на физико-химические свойства продукта, не происходит.

По органолептическим показателям оптимальной дозой внесения инкапсулированных пробиотиков было определено 4%, альгината Са – 0,5%.

Данные исследования проводятся в рамках выполнения гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» на 2015-2017 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kakimov A., Yessimbekov Zh., Bepeyeva A., Kabulov B., Kakimova Zh. Consistency Cone Penetrometry for Food Products// Pakistan Journal of Nutrition 14 (11). – 2015. – P. 837-840.

2. Какимов А.К., Есимбеков Ж.С., Кабулов Б.Б., Бепеева А.Е. Ротационные вискозиметры брукфильда в исследовании пищевых продуктов// Вестник ГУ имени Шакарима города Семей. – 2015. – №3 (71). – С. 87-91.

УДК 637.138: 637.136

#### ПЕКТИН КАК ПОЛИМЕР ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ

*Какимов А.К., д.т.н., Какимова Ж.Х.<sup>1</sup>, к.т.н., Бепеева А.Е.<sup>1</sup>, PhD., Хуторянский В.В.<sup>2</sup>,  
PhDГосударственный университет имени Шакарима г. Семей, Казахстан  
Университет Рэдинга Великобритания, PO Box 224 RG6 6AD, Рэдинг  
E-mail: bibi.53@mail.ru, zhaynagul.kakimova@mail.ru, aiga3@mail.ru, v.khutoryanskiy@reading.ac.uk*

Многочисленные исследования показывают, что значительная часть пробиотических клеток теряет свою активность вследствие их гибели при хранении продуктов, а также в процессе прохождения через желудочно-кишечный тракт. Причинами этого являются низкие значения рН желудка, влияние соляной кислоты, пепсина желудочного сока и некоторые другие факторы.

Выживаемость пробиотических культур зависит от различных условий, включающих условия хранения, ферментации и др., и является индивидуальной характеристикой каждого отдельного штамма. В этой связи, отбирая штаммы с высокой степенью устойчивости к неблагоприятным факторам, можно увеличить степень «пробиотичности продукта».

Помимо селекции кислотоустойчивых штаммов, ученые пытались увеличить выживаемость клеток различными способами. Наиболее перспективным направлением для решения этой проблемы является использование метода инкапсулирования [1,2].

Сегодня, инкапсулирование – это интенсивно разрабатываемая технология, которая нашла широкое применение в различных отраслях промышленности и является хорошим примером использования микротехнологий в науке о пище и биотехнологии [3]. В пищевой промышленности инкапсулирование биоактивных компонентов используется для регулирования окислительно-восстановительных реакций, корректировании вкуса, цвета и запаха, увеличении срока годности и т.д. В настоящее время широкое распространение получило инкапсулирование молочнокислых бактерий, как заквасочных культур, так и пробиотиков, для защиты их в желудочно-кишечном тракте от кислых значений рН, что позволяет увеличивать получение новых технологий функциональных продуктов питания [4, 5].

Жизнеспособность инкапсулированных клеток пробиотиков зависит от физико-химических свойств капсул. Для ученых при проведении процесса инкапсулирования, важны следующие параметры – тип и концентрация покрывающего материала, размер частиц, первоначальное число клеток и штамм некоторых бактерий [6]. В случае инкапсулирования пробиотиков, задачей является не только защита клеток от неблагоприятных условий, но также возможность сохранить их в жизнеспособном состоянии и метаболической активности в кишечнике [7]. Полученные капсулы должны быть нерастворимы в воде и быть стабильными в пищевом продукте и в верхнем отделе желудочно-кишечного тракта, а также инкапсулирующий полимер должен способствовать постепенному высвобождению содержимого клетки во время кишечного переваривания [7, 8].

Для инкапсулирования применяют многочисленные материалы, такие как альгинат, желатиновая смола, хитозан и т.д. Особый интерес представляет пектин.

Пектиновые вещества, или пектины (от др. - греч. πηκτός — свернувшийся, замёрзший) — полисахариды, образованные остатками главным образом галактуроновой кислоты. Присутствуют во всех высших растениях, особенно во фруктах, и в некоторых водорослях. Пектины, являясь структурным элементом растительных тканей, способствуют поддержанию в них тургора, повышают засухоустойчивость растений, устойчивость овощей и фруктов при хранении. Используются в пищевой промышленности — в качестве структурообразователей (гелеобразователей), загустителей, а также в медицинской и фармацевтической промышленности — в качестве физиологически активных веществ с полезными для организма человека свойствами.

Пектины практически не усваиваются пищеварительной системой человека, являются энтеросорбентами.

Пектины являются хорошим материалом для адресной доставки биологически активных веществ. Они устойчивы к ферментативному перевариванию во рту и желудке, но разлагаются под действием ферментов микрофлоры кишечника, что делает их пригодными для доставки кислотоустойчивых пищевых биокомпонентов [9]. Однако применение пектина ограничено из-за его высокой растворимости в воде. В большинстве случаев он комбинируется с катионом или другим полимером, таким как хитозан, для формирования медленно деградирующего комплекса. Деградация пектина во многом зависит от ферментов микрофлоры желудочно-кишечного тракта, но скорость деградации может быть изменена с помощью химической модификации. Это свойство позволяет использовать пектин для конкретной доставки в разные части кишечника [10].

В работе французских ученых для защиты *B. bifidum* в процессе сублимационной сушки для инкапсулирования была использована матрица альгинат/пектин. Было показано, что использование ассоциации криопротекторов в лиофилизированные капсулы существенно улучшает жизнеспособность *B. bifidum* [11].

Wan-Ping Voo (Малайзия) было проведено сравнительное исследование трех систем для инкапсулирования: кальций – альгинат, кальций – пектинат и кальций – альгинат/пектинат. В результате было показано, что пектиновые капсулы являются более прочными, чем альгинатные, и их прочность была улучшена посредством покрытия хитозаном. Однако, при сопоставлении концентрация клеток в капсуле пектина и альгината было выявлено, что в пектиновые капсулы дают более низкие концентрации клеток при выращивании на питательной среде. Учеными было сделано заключение о возможности применения пектина для инкапсулирования пробиотических клеток благодаря их стабильности и создания благоприятной микросреды для роста клеток [12].

Также проводятся работы по использованию пектина в сочетании с другими полимерами. В Мексике проводились исследования по инкапсулированию *Lactobacillus casei* в системы альгинат натрия (А), амидированный низко метоксилированный пектин (Р) и в смесь А и Р (в концентрации 1:2, 1:4, 1:6) с использованием метода экструзии. В результате было установлено, что капсулы, образованные системой А-Р в концентрации 1:4 и 1:6 обеспечивают значительно лучшие защитные свойства клеток пробиотиков в условиях искусственного желудочно-кишечного тракта [13].

Сотрудниками Государственного университета имени Шакарима города Семей на базе ИРЛИП НЦРЭИ была изучена микроструктура пектина двух видов (низкомолекулярного и амидированного пектина), а также хитозана, как покрывающего материала, используемого для повышения защитных свойств, а также их элементный состав.

Определение микроструктуры и микроэлементного состава проводили на низковакуумном аналитическом растровом электронном микроскопе (РЭМ) «JSM-6390LV» фирмы «JEOL» (Япония) в комплекте с системой рентгеновского микроанализа «INCA ENERGY 250» фирмы «OXFORD INSTRUMENTS» (Великобритания).

При определении элементного состава образцов пищевых продуктов пробоподготовка зависит от вида продукта. Если продукт не содержит влаги, то пробоподготовка сводится только к фиксации продукта на специальном держателе. Чаще всего фиксация производится с помощью специального двустороннего углеродного скотча фирмы «JEOL». Если же продукт влажный, то влагу следует удалить методом сушки.

Образец помещается в выдвигаемую камеру для образцов, на держатель, который закреплен на предметном столике. Держатели для образцов имеют диаметр 10 мм и 32 мм. Держатели для образцов диаметром 10 мм крепятся в специальный адаптер для четырех образцов. Максимальный диаметр исследуемого образца может достигать 150 мм.

Для изучения структуры пектинов и хитозана на предметный столик клеится двухсторонний углеродный скотч. На углеродный скотч наносятся частицы хитозана или пектина. Предметный столик помещается в камеру для образцов и производится сканирование поверхности образцов

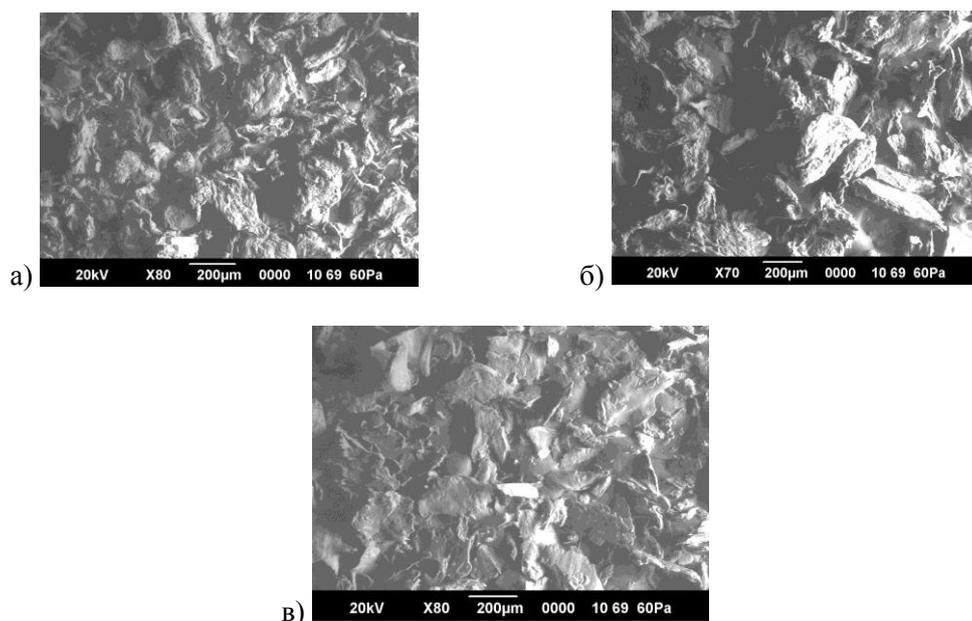


Рисунок 1 – Микроструктуры пектина, полученная на электронном растровом микроскопе JSM-6390LV: а – амидированный пектин; б – низкомолекулярный пектин; в – хитозан

Анализируя размеры частиц, можно сделать вывод, что размеры частиц низкомолекулярного пектина больше размеров амидированного пектина.

Также были получены результаты элементного состава полимеров. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементный состав полимеров

Наименование	O	Na	Mg	S	Cl	Ca
Амидированный пектин	92,26	4,92	0,36	0,70	-	1,77
Низкомолекулярный пектин	94,57	2,37	0,94	-	0,22	1,89
Хитозан	93,20	2,19	1,02	0,19	0,15	3,24

\*Все результаты в весовых %

Исходя из вышеизложенного, использование пектина в технологии инкапсулирования пробиотиков является актуальным. На кафедре «Стандартизация и биотехнология» ГУ имени Шакарима города Семей ведутся исследования по установлению влияния полимеров – пектинов на выживаемость пробиотиков в среде искусственного желудочно-кишечного тракта.

Данные исследования проводятся в рамках выполнения гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» на 2015-2017 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Ананьева Н.В., Ганина В.И., Нефедова Н.В., Габрильян Г.Р. Применение иммобилизованных форм пробиотических бактерий в производстве молочных продуктов // Молочная промышленность. – №11. – 2006. – С. 46-47.
2. Cook M. T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Review // Journal of Controlled Release, – 2012. – P. 56–67.
3. Nazzaro et al. Microencapsulation in food science and biotechnology // Current Opinion in Biotechnology. – 2012. – № 23. – P. 182–186.
4. Champagne C.P., Kailasapathy K. Encapsulation of probiotics. In: Garti, N. (Ed.), Delivery and Controlled Release of Bioactives in Foods and Nutraceuticals. Woodhead publishing Ltd., Cambridge, UK, 2008. – P. 344–369.
5. Zuidam N.J., Shimoni E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to take them. In: Zuidam, N.J., Nedovic, V. (Eds.), Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing. Springer-Verlag, New York Inc., 2009. – P. 3–29.

6. Chen M.J., Chen K.N. Applications of probiotic encapsulation in dairy products. In: Lakkis, Jamileh M. (Ed.), *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*. – Wiley-Blackwell, USA, 2007. – P. 83–107.
7. Picot A., Lacroix C. Encapsulation of Bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in stimulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Dairy Journal*. – 14 (6). – 2004. – P. 505–515.
8. Ding W.K., Shah N.P. Acid, bile, and heat tolerance of free and microencapsulated probiotic bacteria // *Journal of Food Science*. – № 72 (9). – 2007. – P. 446–450.
9. Fathi M., Martin A., Julian D. McClements. Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems // *Trends in Food Science & Technology*. – 2014. – P. 1–22.
10. Paul de Vos, Marijke M. Faas, M. Spasojevic, J. Sikkema. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components // *International Dairy Journal*. – 2010. – P. 292–302.
11. Martin-Dejardin F., Ebel B., Lemetais G., Nguyen H., Thi Minh, Gervais P., Cachon R., Chambin O. A way to follow the viability of encapsulated Bifidobacterium bifidum subjected to a freeze-drying process in order to target the colon: Interest off low cytometry // *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 49, 2013. – P. 166–174.
12. Wan-Ping Voo, Pogaku Ravindra, Beng-Ti Tey, Eng-Seng Chan. Comparison of alginate and pectin based beads for production of poultry probiotic cells // *Journal of Bioscience and Bioengineering* – VOL. 111. – No. 3. – 2011. – P. 294–299.
13. Sandoval-Castilla O., Lobato-Calleros C., Garcia-Galindo H.S., Alvarez-Ramirez J., Vernon-Carter E.J. Textural properties of alginate–pectin beads and survivability of entrapped Lb. casei in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt // *Food Research International* 43, 2010. – P. 111–117.

УДК 637.138

## **ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Какимов А.К., д.т.н., Какимова Ж.Х., к.т.н, доцент., Бепеева А.Е., доктор PhD  
Джумажанова М.М., PhD-докторант*

*Государственный университет имени Шакарима г .Семей Республика Казахстан  
E-mail: bibi.53@mail.ru, zhaynagul.kakimova@mail.ru, aiga3@mail.ru, madina.omarova.89@mail.ru*

В технологических процессах производства обогащенных пробиотиками пищевых продуктов, а также при их прохождении через пищеварительный тракт пробиотические культуры подвергаются множеству агрессивных воздействий, которые приводят к снижению их активности, частичной или полной гибели. Основными факторами риска для пробиотических микроорганизмов являются: длительное пребывание в кислой среде желудка, влияние антимикробных компонентов, содержащихся в продуктах, влияние желчных кислот, действие кислорода.

В связи с этим актуальна разработка методов защиты клеток пробиотических культур в неблагоприятных условиях кисломолочных продуктов и желудочно-кишечного тракта, при использовании которых в готовой продукции сохранялось бы максимальное число жизнеспособных клеток и не утрачивались бы их полезные свойства.

Одним из способов сохранения активности и жизнеспособности пробиотических культур в агрессивных условиях среды желудочно-кишечного тракта является капсулирование - заключение живых клеток пробиотических культур в гидроколлоидные капсулы, обеспечивающие защиту клеток и доставку питательных веществ в желудочно-кишечный тракт человека [1].

Инкапсулирование – это физико-химический или механический процесс заключения мелких частиц вещества (твердого, жидкого или газообразного) в оболочку из пленкообразующего материала для получения частиц диаметром от нескольких нанометров до нескольких миллиметров.

Процесс инкапсулирования микроорганизмов представляет собой создание полимерных систем в форме гидрогелевых матриц и микрокапсул с иммобилизованными микробными клетками. Капсулы имеют плотную оболочку, выполняющую роль полупроницаемой мембраны, и внутреннее жидкое содержимое. Клетки микроорганизмов локализуются в матрице, формируемой внутри капсул, где они могут беспрепятственно размножаться.

Важным аспектом при проведении процесса инкапсулирования является выбор метода инкапсулирования. Подбор метода инкапсулирования позволит подобрать инкапсулирующий материал по морфологическим признакам получаемых капсул.

Существует несколько способов инкапсулирования, такие как распылительная сушка, спрей - заморозка, эмульгирование, экструзионный метод и т.д.

Распылительная сушка является одним из старейших и наиболее широко используемых методов инкапсулирования, используемый в промышленности. Использование этого метода обеспечивает гибкость и непрерывность процесса, а также способствует получению капсул хорошо качества с размером частиц менее 40 мкм. Однако, несмотря на широкое использование распылительной сушки в пищевой промышленности, у этого метода существует ряд недостатков, таких как необходимость сложного и дорогостоящего оборудования, неравномерные условия сушки в сушильной камере, а также сложность в контроле размеров частиц.

Вакуумная или сублимационная сушка очень похожа на процесс распылительной сушки, однако является более быстрой и более дешевой, так как происходит при температуре выше точки замерзания растворителя. Главным недостатком сублимационной сушки является высокое потребление энергии и длительность процесса.

Другой часто используемый метод инкапсулирования – эмульгирование. Он используется при инкапсулировании водорастворимых компонентов, легко масштабируется и обеспечивает высокую выживаемость клеток бактерий. Полученные этим методом капсулы имеют небольшой диаметр, но основным недостатком этого способа является получение капсул с большим диапазоном размеров и формы.

Широко используется в лабораторных исследованиях метод экструзии. Экструзия – это физический метод инкапсулирования живых клеток пробиотиков с использованием гидроколлоидов (водных растворов полимеров) в качестве инкапсулирующих материалов. Сущность метода заключается в получении капсул продавливанием полимера через сопло под давлением. Выбранный способ является более простым и дешевым, а также использующий щадящий режим работы не вызывает повреждений клеток пробиотиков и обеспечивает их высокую жизнеспособность. Вместе с тем, данный способ инкапсулирования не предполагает использования вредных растворителей и может быть применен как в аэробных, так и в анаэробных условиях [2, 3].

Для инкапсулирования применяют различные материалы, такие как альгинат, желатиновая смола, хитозан, пектин и т.д.

Альгинат – натуральный полисахарид, полученный из различных видов морских красных водорослей (лат. *Phaeophyceae*, ламинария японская (лат. *Laminaria japonica* Aresch)). Содержание альгиновой кислоты в ламинарии колеблется от 15 до 30% и бактерий.

С химической точки зрения – это полисахарид природного происхождения, состоящий из остатков D-маннуроновых (M) и L-гулурановой кислот (G). В виду присутствия карбоксильных групп в двух мономерах, альгинат в растворе представлен в виде полианиона. Соотношение галуроновых и манурановых кислот в полимере связано с видом водоросли, из которой получен альгинат.

При взаимодействии с ионами кальция происходит образование гидрогеля. В отличие от солей альгиновых кислот с моновалентными металлами (натрий  $\text{Na}^+$ ), соли альгиновых кислот с бивалентными металлами (кальций  $\text{Ca}^{2+}$ ) плохо растворимы в воде из-за перекрестных связей, возникающих между полимерными молекулами альгиновых кислот. Если к альгинатному порошку добавить воды, то в раствор выходят соли альгиновой кислоты с натрием и сульфатом кальция. Эти соли диссоциируют на ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) и альгиновой кислоты с одной стороны и на ионы кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и сульфатные ионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) с другой. После диссоциации появляется возможность реакции альгиновой кислоты с освобожденными ионами кальция. В результате, отдельные цепочки альгиновых кислот (G) перекрестно связываются ионами кальция, что приводит к формированию эластичного геля и полимеризации массы («egg box structure»). Это свойство привело к широкому использованию альгинатов в качестве гелеобразующих материалов в технике инкапсулирования. Альгинатные микрокапсулы могут быть использованы для инкапсулирования пробиотиков, защищая клетки от агрессивных условий желудочно-кишечного тракта.

Использование покрывающих микрокапсулы материалов – это популярное направление исследований в области инкапсулирования пробиотиков. Наряду с дополнительной защитой клеток, такие покрытия могут обладать другими полезными свойствами, например, контроль над высвобождением клеток пробиотиков. Самым популярным материалом, используемый для покрытия, является полисахарид хитозан.

Хитозан – природный, линейный катионный полисахарид, содержащий как глюкозамин, так и N-ацетил глюкозамин остатки. По своей химической структуре хитозан относится к полисахаридам, мономером хитина является N-ацетил-1,4-β-D-глюкопиранозамин. Молекула хитозана содержит в себе большое количество свободных аминогрупп, что позволяет ему связывать ионы водорода и приобретать избыточный положительный заряд. Отсюда и идет свойство хитозана, как хорошего катионита.

В исследовании было показано, что многослойное покрытие капсул хитозаном повышает защитные свойства и может применяться для повышения выживаемости пробиотических клеток в очень кислых пищевых системах, таких как гранатовый сок.

Пектиновые вещества, или пектины (от др. - греч. πηκτός — свернувшийся, замёрзший) — полисахариды, образованные остатками главным образом галактуроновой кислоты. Присутствуют во всех высших растениях, особенно во фруктах, и в некоторых водорослях. Пектины, являясь структурным элементом растительных тканей, способствуют поддержанию в них тургора, повышают засухоустойчивость растений, устойчивость овощей и фруктов при хранении. Используются в пищевой промышленности — в качестве структурообразователей (гелеобразователей), загустителей, а также в медицинской и фармацевтической промышленности — в качестве физиологически активных веществ с полезными для организма человека свойствами. В промышленных масштабах пектиновые вещества получают в основном из яблочных и цитрусовых выжимок, жома сахарной свёклы, корзинок подсолнечника.

Геллановая смола – полисахарид, полученный микробиологическим путем из *Pseudomonas elodea*, состоящий из повторяющихся мономеров глюкозы, глюкуроновой кислоты, глюкозы и рамнозы. При охлаждении геллановой смолы можно вызвать термообратимое гелеобразование, при этом температура гелеобразования будет зависеть от концентрации полимера, ионной силы и типа противоионов. Хотя геллановая смола способна образовывать капсулы, она не используется для микроинкапсулирования, так как недостатком является высокая температура гелеобразования (80-90°C в течение примерно 1 ч), что приводит к тепловой травме пробиотических клеток.

Ксантан – это микробный полисахарид, полученный из *Xanthomonas campestris*. Молекула ксантановой камеди имеет сложную структуру – главная цепь полимера идентична строению целлюлозы (1-4-β-гликопираноза). В структуру ответвлений – трисахаридных цепей, входят глюкоза, манноза и глюкуроновая кислота, ацетильные и пировинограднокислые (пируватные) группы. Количество последних определяет вязкость водных растворов с ксантаном.

Целлюлозы ацетат фталат (САР) или целлацефат, широко используемый полимер в фармацевтике. Это полимер целлюлозы, где около половины гидроксильных групп этерифицированы с ацетилом, четверть этерифицирована с одним или двумя карбоксильными группами из ортофталевой кислоты, а оставшиеся неизменны. Использование этого соединения для образования капсул при микрокапсулировании зависит от его растворимости в растворителе полимера или в жидкости для отвердевания, особенно в присутствии углеводов, таких как крахмал. Также, САР может быть использован в качестве вспомогательного материала при использовании распылительной суши.

Целлюлоза ацетат фталат устойчив к кислым значениям рН желудочного сока, и наоборот, легко растворяется в среде при рН > 6 в связи с отрицательным зарядом. Rao et al. (1989) успешно микроинкапсулировали *V. pseudolongum* в целлюлозу ацетат фталат с помощью метода эмульсии. Данный метод продемонстрировал высокую жизнеспособность микроорганизма после прохождения через агрессивные условия желудочно-кишечного тракта ( $10^9$  КОЕ мл<sup>-1</sup>).

Крахмал – это полисахарид, мономером которого является глюкоза, соединенная друг с другом гликозидными связями. Крахмал состоит в основном из амилозы, состоящей из линейных или слаборазветвленных цепочек молекул глюкозы, соединенных связями как между 1-м и 4-м, так и 1-м и 6-м углеродными атомами.

Связи устойчивы к воздействию панкреатической α – амилазы, но разлагаются под действием ферментов кишечной микрофлоры. Способы, с помощью которых можно предотвратить деградацию крахмала были изучены во многих работах. Крахмал можно сделать быть более устойчивым путем этерификации, эстерификации или ацидификации.

Благодаря своей низкой цене, относительной простоты в использовании и широкого применения, ведутся исследования по применению крахмала в качестве инкапсулирующего вещества для широкого спектра биологически активных компонентов. Ацетилованный, гидроксипропилированный и карбоксиметилованный крахмал уже широко применяется для адресной доставки пробиотиков в кишечник [4].

В Государственном университете имени Шакарима города Семей разработана технология и рецептура производства кисломолочного продукта с инкапсулированными пробиотиками для населения, проживающего в зоне максимального радиационного риска. Исследования по инкапсулированию проводились на базе Государственного университета имени Шакарима в лабораториях кафедры «Технология пищевых продуктов и изделий легкой промышленности», «Стандартизация и биотехнология», ИРЛИП НЦРЭИ ГУ имени Шакарима города Семей, а также на базе University of Reading (Великобритания). Имеется патент на изобретение МПК 51 А23С 9/127

«Способ производства кисломолочного напитка с инкапсулированными пробиотиками». Данные исследования проведены в рамках выполнения гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» на 2015-2017 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2470518 Российская Федерация, МПК, А23С 9/13, А61К 35/74. Молочный йогурт с пробиотическими культурами / Ивлев А.А.; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество «Алев». – № 2011121594/10; заявл. 27.05.2011; опубл. 27.12.2012, Бюл. № 36. – 3 с.
2. Какимова Ж.Х., Какимов А.К., Бепеева А.Е., Хуторянский В.В. Капсулирование пробиотиков в гидрофильные полимеры // Биотехнология и общество в XXI веке: сборник статей. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 176-179.
3. Desai K.G.H., Park H.J. Recent development in microencapsulation of foods ingredients//Drying Technol. – 2005. – P. 1361-1394.
4. А.К. Какимов, Ж.Х. Какимова, А.Е. Бепеева, В.В. Хуторянский, Ж.С. Есимбеков. Аналитический обзор. Гидрофильные полимеры для инкапсулирования пробиотиков. – Семей, 2016. – 47 с.

УДК 637.52

### ҚҰРАМА ЕТ ӨНІМДЕРІН САҚТАУ КЕЗІНДЕГІ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ЖАҒДАЙДЫ ТАЛДАУ

*Таева А.М., т.ғ.к., Ұзақов Я.М., т.ғ.д., Кенжибекова А.Н., магистрант  
Алматынський технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан  
E-mail: bivwi\_botanik@mail.ru, aigul\_tueva@mail.ru, uzakm@mail.ru*

Тамақ технологиясы дамуының перспективалық бағыттарын талдау көрсеткендей, олардың бірі технологиялық процестерді ұйымдастыру, шикізатты өңдеу, биологиялық текті кең аралықтағы төменгі (теріс) температура болып табылады. Ет шикізаты мен ет өнімдерінің шектеулі және қысқа мерзімді сақтау мерзімін ескере отырып, олардың өнеркәсіптік тоңазыту және мұздату арқылы сақтау қажеттілігі туындайды. Суықпен консервілеу тәсілі температура айтарлықтай төмендеген кезде микроағзалардың белсенділігі мен ұлпа ферменттерінің тыныс тіршілігінің бәсеңделуіне негізделген. Сол уақытта мұздату арқылы ұлпалық ылғалдың мұз тәріздес жағдайға фазалық ауысумен және бағалы қоректік заттардың жоғалуымен туындаған, еріту кезіндегі қайтымсыз құрылымдық өзгерістер салдарынан таза шикізаттың қасиеттері нашарлайды. Сондықтан, мұздатылған өнімдердің кейбір түрлері үшін төменгі температура жағдайында жартылай өнім немесе дайын өнімді алу мақсатында ылғалдың сұйық күйге фазалық ауысуын болдырмау ұтымды болып табылады.

Әдетте, мұздатуды төмен температура жағдайында ұзақ сақтау үшін дайындау кезінде қолданады. Мұздату салқындату мен тоңазытудан айтарлықтай ерекшеленеді. Ол тоңазыту және салқындатумен салыстырғанда, өнімнің сақтау кезіндегі жақсы беріктілігін қамтамасыз етеді. Сондықтан жылдам бұзылатын тағамдардың көпшілігі мұздатылған жағдайда жыл бойы және одан да ұзақ уақыт ішінде жақсы сақталуы мүмкін. Мұздатудың салқындатудан негізгі айырмашылықтары мынандай: мұздату кезінде су мұзға айналады, бұл процесс микроағзаладың қоректенуіне кедергі болады, нәтижесінде қолайсыз осмостық шарттар құрылып, өнімдегі биохимиялық реакциялардың жылдамдығы күрт төмендейді. Судың мұзға айналуы сусыздану әсеріне ұқсас. Екі жағдайда да судың мөлшері азаяды. Айырмашылығы: мұздату кезінде өнім ішіндегі ылғал мұзға айналса, сусыздану кезінде ылғал өнім құрамынан алып тасталынады.

Салқындату мен тоңазытуға қарағанда, температураның елеулі төмендеуі өнім мен оны қоршаған орта микрофлорасының тіршілігіне ғана емес, сонымен қатар өнімдегі биохимиялық процестердің жүруіне қолайсыз жағдайлар туғызады.

Мұздатылған өнімдердің жақсы сақталуының ұзақтығы әр түрлі, және де ол химиялық құрамға, биологиялық белсенді заттардың құрамына, құрылысына, минус (10-30°C) сақтау температурасына, сонымен қоса қолданылатын буып-түю ыдыстарына тәуелді болады. Төмен температураны қолдану арқылы консервілеуді дамыту мұздатудың жаңа жолдары мен әдістерін жасау және оларды үздіксіз жетілдіру ықпал етеді. Бұл өнімнің сапасын айтарлықтай жақсартады және мұздатылған өнімдердің

ассортиментін кеңейту үшін жағдай жасайды. Мәселен, мұздатудың ескі тәсілдерін қолданғанда, нәзік құрылымды жидектерді қатыру мүмкін емес болатын. Барлық мұздату әдістерін, салқындату әдістері тәріздес, жылудың бөліну қағидаты бойынша жіктеуге болады. Мысалы, ауада мұздату кезінде өнімдер бұткізбейтін қабыққа қапталады немесе сұйық, тіпті буланбайтын (хлорлы натрий, хлорлы кальций, пропиленгликоль, этиленгликоль және т.б.) және буланатын (көмір қышқыл, азот, фреон және т.б.) ортада, сондай-ақ металл жабық формалар ішінде немесе салқындатылған металл нысандары арасында мұздатылады.

Мұздату фазалық түзілу кезінде шектеулі түрде яғни, өнімнен ылғалды жою келесі қолданылатын процесті жүзеге асыруға ықпал еткенде пайдалынылады. Мәселен, сублимациялық кептірудің бірінші кезеңінде вакуумның ықпал етуінен судың өнімнен қарқынды булану салдарынан температураның жылдам төмендеуі мен сулы мұз кристалдарының түзілуі жүреді, содан-соң қатырылып мұздатылған өнімнен терең вакуумның ықпалы астында сулы мұздың сублимациясы жүзеге асырылады да, өнімнің сусыздануы қамтамасыз етіледі.

Ең кең тараған тәсілдері жылуөткізгіштік, конвекция, радиация және жылу алмасу сияқты өнімнің фазалық ауысу кезіндегі жылу беру қағидатына негізделген. Әдетте, суыту ортасы әр түрлі қозғалыс жылдамдығы және температурасы минус (30-40)°С-қа тең ауа болып табылады. Мұздату ауа қозғалысының жылдамдығы 1-2 м/с-ке тең камералық үлгідегі мұздатқыштарда жүзеге асырылады. Мұздатуды жеделдету үшін мұндай камераларда батареялар мұздатылу объектісінің жанында орналастырылады, сол арқылы қатыру жылдамдығы ұлғаяды. Аталған үлгідегі мұздатқыштарда жарты ұшаны 24 сағат ішінде қатыруға болады. Үздік технологиялық әсерге қол жеткізу түрлі мұздатқыш аппараттарда өлшенген өнімдерді қатырғанда мүмкін болады. Бұл жағдайда жылдам мұздату тек жылу және ылғалдың қарқынды алмасуына ғана емес, сонымен қатар, мұздатылатын өнім қолайлы, әрі оңтайлы қалыңдыққа дейін өлшеп-қапталатынына тәуелді болады. Өнім шағын өлшемді, салқындатқыш беттерінде шашыранды болса, мұздату кезінде флюидизация әдісі қолданылса, жақсы әсерге қол жеткізіледі. Флюидизация – сұйық зат ретінде өңдеу үшін қатты күйдегі заттың ұнтаққа айналуын айтамыз.

Төмен температура жағдайында өңделген азық-түлік шикізатының ерекшеліктері тартылған ет негізіндегі дайын өнімді алу үшін қажетті көптеген процестерді жүзеге асыруға жаңа көзқарас туғызды: қоспаларды енгізу, араластыру, мөлшерлеу, қалыптау, престау және т.б.

Қазіргі уақытта ет өнеркәсібінде, оны компьютерлендіру арқылы технологиялық процестерді басқарудағы проблемаларды шешу қажеттілігі үшін математикалық әдістерді кеңінен қолданады. Теориялық және эксперименттік зерттеулер негізінде сақтау, тоңазытқышты өңдеу және еріту кезіндегі ет құрамындағы ылғалдың жылу-масса алмасу процесін сипаттайтын көптеген математикалық модельдер әзірленді.

Бүгінгі күні еттегі ылғалдың тасымалдану процесін зерттей отырып, келесі әдістерге зерек назар аударуға болды:

- Тоңазыту камерасындағы жалпы жылу-масса алмасу процестері;
- Ет өнімдері мен ауа арасындағы шекаралық қабаттағы ылғалдың булану процесі;
- Ет өнімдерінің ішкі қабаттарындағы ылғалдың тасымалдануы.

Алайда, аталған зерттеу тәсілдері ылғал тасымалданудың механизмінің біртұтас көзқарасын көрсетпейді, себебі бағыттардың әрқайсысы басқа екі бағыттың дұрыстығын жоққа шығармайды. Тоңазытып өңдеу кезінде ет өнімдерінде өтетін барлық жылу-масса алмасу процестерін сипаттау іс жүзінде мүмкін емес, өйткені қазіргі уақытта ет ұлпасы мен сулы ерітіндінің молекулалары арасындағы байланыс құрылысы толық зерттелмеген [1]. Осы пікірге сүйене отырып, бұл мәселе ет және ауа температурасы, ет жылусыйымдылығы, камера ауасының ылғалдылығы, еттің жылу беру коэффициенті сияқты ішкі байланыстарды әр түрлі дәрежеде ескеретін шамаларды зерттеу жолымен шешіледі. Көптеген ғалымдардың пайымдауынша, етті тоңазыту камераларында сақтаған жағдайда екі дәйекті физикалық процесс жүреді: ылғалдың ет бетінен ауаға булануы және сол ылғалдың ауадан салқындататын аспаптар бетіне конденсациялануы. Осындай міндеттің қойылуы булану теориясына жатады. Беттік булану теориясын дамыта отырып, тоңазытқыш камерадағы ылғал алмасу негізінде етті кептіруді есептеу әдістемесі ұсынылды. Ет немесе ет өнімдері бетінен буланған ылғалдың тоңазытқыш қондырғының салқындату бетіне конденсациялану процесі әдістеме негізіне салынған.

Етті сақтау облысында жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, ет өнімдерін сақтауға арналған температура-ылғалдылық сипаттамалар келесідей деген тұжырымға келуге болады (Кесте 1).

Кесте 1 – Ет өнімдерін сақтауға арналған температура-ылғалдылық сипаттамалар

Тоңазытып өңдеу	Ет түрі	Ауа параметрлері			Процестің ұзақтығы, сағ
		Температура °С	Ауа қозғалысының жылдамдығы, м/с	Ылғалдылық, %	
Салқындатылған етті сақтау	Сиыр еті	0...-1,5	0,2 дейін	90	10-12 тәулік
	Шошқа еті	0...-1	0,2 дейін	90	7-12 тәулік
	Қой еті	0...-1	0,2 дейін	90	7-12 тәулік
Салқындатылған етті сақтау	Еттің барлық түрі	-1,5...-2,5	табиғи	90	15-17 тәулік
Мұздатылған етті сақтау	Сиыр еті	-12...-20	0,10 дейін	88-90	5-18 ай
	Шошқа еті	-12...-20	0,10 дейін	88-90	6-12 ай
	Қой еті	-12...-20	0,10 дейін	88-90	5-18 ай

Сондай-ақ, бірөлшемді денелер үшін (пластина, цилиндр, шар) аналитикалық шешімдер кеніне танымал, ол бірнеше зерттеушінің жұмыстарында сипатталған [2,3,4]. Бұл жұмыстар әр түрлі шекаралық шарттарындағы жылуөткізгіш процесі өтуінің жекелеген сәттерінде тоңазытқышты өңдеу ұзақтығын және температуралық өрістің бөлунуін анықтауына мүмкіндік беретін жалпы теңдеуіне негізделген.

Жылуөткізгіштік теориясының негізгі міндеті еттің кез-келген нүктесінде және кез-келген уақытта температурасын аңғару болып табылады, яғни еттің қалыңдығынан және тоңазытқышты өңдеу уақытынан функциясы түрінде температураны анықтау. Температура скалярлық шама болғандықтан, температурлық өріс те скалярлы болады.

Сақтау кезінде ет және ет өнімінің қалыңдығы бойынша температураның үлестірілуі белгілі-бір анықталған тәуелділікке байланысты болады. Бұл тәуелділікке сүйенсек ет өнімінің бетіндегі температура ауа температурасы мен өнімнің бастапқы температурасына байланысты болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бражников А.М. Теория термической обработки мясопродуктов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 271 б.
2. Гноевой А.В. и др. К проблеме математического моделирования технологических процессов // Мясная индустрия – 1998. – №5. – Б. 23-26.
3. Дубровин П.В. Совершенствование технологических процессов холодильной обработки мяса на основе анализа теплообмена в механизированных холодильных камерах. Авторефер. дисс. канд. техн. наук. – Семей Шәкәрім ат. СМУ. – 2002. – 24 б.
4. Мирончук Ю.А., Чепуренко В.П. Математическая модель теплопроводности пищевых продуктов // Холодильная техника. – 1995. – №5. – Б. 8-9.

УДК 621.365:519.711.3

### ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ

*Волгушева Н.В., к.т.н., Бошкова И.Л., д.т.н., Колесниченко Н.А., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: kolesnychenko.natalia@yandex.ua, n-volgusheva@mail.ru, ira\_boshkova@mail.ru*

Методы микроволнового нагрева в настоящее время представляют значительный интерес для научных исследований с перспективой технологического освоения в ближайшем будущем [1]. Потенциал высокотемпературной микроволновой обработки продемонстрирован в таких областях, как спекание и соединение керамических материалов [2], неорганический синтез [3], создание композиционных [4] и функционально-градиентных [5] материалов, порошковая металлургия [6], отжиг имплантированных полупроводниковых структур [7].

Важное преимущество микроволнового нагрева обусловлено объемным поглощением микроволновой энергии в большинстве неметаллических материалов. При поглощении микроволновой энергии в объеме изделия отсутствует необходимость в передаче тепла за счет теплопроводности, как это происходит при нагреве лучевыми или конвективными потоками тепла в традиционных печах. Кроме того, мощность микроволнового источника может практически

полностью использоваться на нагрев только обрабатываемого изделия, без необходимости нагревать массивные конструкции традиционных печей. Поэтому скорость нагрева микроволновым излучением может быть существенно выше, и это является одним из наиболее важных факторов во многих технологических процессах [8].

Высокие скорости нагрева обуславливают не только существенную экономию энергии и сокращение времени процессов, но, что зачастую более важно при создании высококачественных материалов, позволяют получать изделия с более мелкодисперсной и бездефектной микроструктурой и, как следствие, улучшенными функциональными свойствами [9].

Как показал анализ работ, посвященных данному направлению, не установлены области рационального применения МВ нагрева при спекании керамики и не приводятся количественные оценки энергетической эффективности в сравнении с традиционными технологиями. Целью работы являлось определение энергетической эффективности применения микроволнового нагрева при спекании керамики.

Объектом исследования являются процессы переноса теплоты при нагреве плотных материалов, применяемых в производстве технической керамики, в условиях действия микроволнового поля. В качестве исходного материала использовались порошки карбида кремния и оксида алюминия.

На основе оксида алюминия (метод микроволнового нагрева рационален только при добавлении поглощающих порошков) изготавливаются керамические диэлектрики (такие как изоляторы для вакуумных дугогасительных камер, твердые подложки).

Карбид кремния используется для изделий с высокими механическими характеристиками: керамические подшипники (рис.1а), инструмент, к примеру, насадки шлифовальные (рис. 1б), пластины для электронной и оптоэлектронной промышленности (рис. 1в).

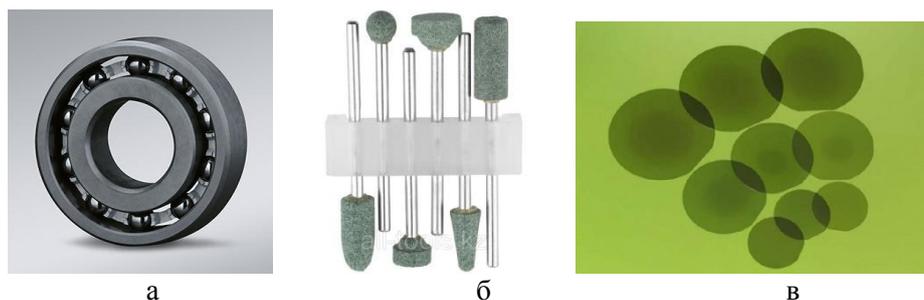


Рисунок 1 – Изделия на основе карбида кремния, а - керамические подшипники, б - насадки шлифовальные, в - пластины для электронной и оптоэлектронной промышленности

В данной работе эффективность микроволнового нагрева при спекании рассматривается на примере изготовления керамических подложек. В качестве исходного сырья используются порошковые материалы: нитрида алюминия, оксида алюминия, нитрида кремния, оксида циркония, карбида кремния и другие. Керамические подложки используются в электронной и электротехнической области промышленности (для производства монолитных интегральных схем, микросборок, термоэлектрических элементов Пельтье и пр.).

Исследования энергетической эффективности микроволнового спекания керамики на примере керамических подложек проведено на основании данных собственных экспериментов и полученных из литературных источников [7-9].

Применение микроволнового нагрева при спекании ограничивается видами изделий из технической керамики, размеры которых относительно невелики и глубина проникновения достаточна, чтобы обеспечивалась равномерность распределения температуры по объему.

Максимальные размеры подложек: 165X165 мм, толщина подложек - от 0,25 мм до 3,0 мм. Известно, что глубина проникновения микроволнового поля в керамическую массу на основе SiC составляет  $\Delta=9,6$  мм. При такой толщине электромагнитное поле для рассматриваемых изделий будет равномерным. Форма подложек определяется потребителем. Для спекания керамических подложек IViТес предлагает конвейерную печь спекания LTCC серии FastFire II (США). Однако температурный уровень в этой печи не соответствует температуре спекания рассматриваемых порошков (для защиты от деформации рабочая температура ограничена 1150°C): так, для спекания оксида алюминия  $T_{сп}=1450$  °C. Известна фирма MARUWA – Integrating Ceramic Technologies, использующая печи камерного типа, в которых температура может достигать 1600 °C.

Максимальная скорость остывания – менее часа от температуры 1100°C до температуры ниже 100°C. Подача холодного воздуха внутрь камеры во время выполнения термического цикла не производится.

Быстрый нагрев: макс. 60°C/мин (1 °C/c), охлаждение от 1000°C до менее 100°C в течение 60 минут, при незагруженной печи.

Основные характеристики печи:

- максимальная длительность обжига – 240 мин.;
- номинальная мощность при загрузке 50 кг – 60 кВт.

В расчете принималось, что толщина изделий  $\delta=3 \cdot 10^{-3}$  м.

Сравнительная характеристика кинетики спекания для традиционного нагрева и микроволнового схематично изображена на рис. 3.

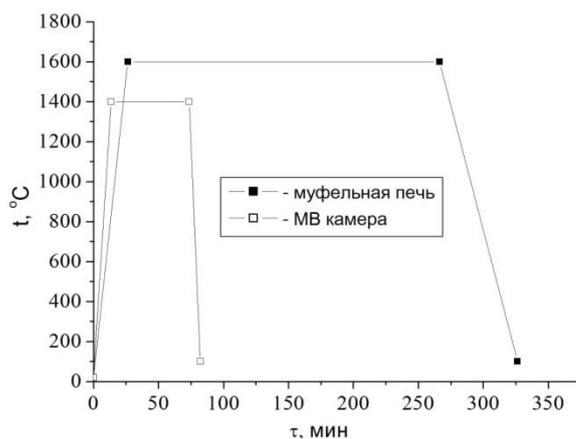


Рисунок 3 – Кинетика спекания керамических подложек при традиционном и микроволновом нагреве

При микроволновом нагреве: темп нагрева 1,7 °C/c, рабочий уровень температур может быть снижен на 200 °C (в соответствии с [8]), а длительность спекания в МВ поле составляет 60 мин [10]. Охлаждение начинается сразу после выключения магнетронов и определяется условиями взаимодействия с окружающей средой. В соответствии с зависимостями для неограниченной пластины [11], при естественной конвекции и для аналогичной загрузки камеры температура от 1000 °C до 100 °C снизиться в течение 520 с (8,7 мин), что сокращает длительность технологического процесса на этапе спекания.

Длительность обжига керамических подложек в муфельной печи составляла 326,3 мин., в микроволновой камере – 82,2 мин. Таким образом, интенсивность процесса увеличилась в 4 раза.

Затраты энергии для муфельной печи составляли  $Q=0,959$  ГДж, для микроволновой камеры -  $Q=0,60$  ГДж. В расчете принималось, что КПД микроволновой камеры составляет  $\eta_k=67\%$ , КПД магнетрона составляет  $\eta_m=66\%$ , а муфельная печь является электрической. Тогда затраты энергии при переходе на МВ технологию на этапе обжига при производстве керамических подложек сократятся в 1,6 раза, а энергоэффективность при переходе на микроволновой нагрев выражается в экономии 37% электроэнергии. В расчете учитывалось время нагрева и выдержки изделий, т.е. 266,3 мин для муфельной печи и 73,5 мин для микроволновой камеры.

Интенсивность процесса термообработки пластин карбида кремния при спекании керамических подложек увеличилась в 4 раза при переходе на использование микроволновой энергии. Затраты энергии на этапе МВ обжига снижаются в 1,6 раза, энергоэффективность выражается в экономии 37% электроэнергии при переходе с традиционного электрического нагрева на микроволновой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапунов, В.В.. Совершенствование технологии изготовления абразивного инструмента на бакелитовой связке с применением микроволнового излучения : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07. – Ульяновск, 2015. – 221 с. – библиогр. 204-219.
2. Microwave Solutions for Ceramic Engineers [Text] / Edited by D. E. Clark, D. C. Folz, C. E. Folgar, M. M. Mahmoud // New York: Wiley, 2005. - 494 pp.
3. Rao, K. J. Synthesis of inorganic solids using microwaves [Text] / K. J. Rao, B. Vaidhyanathan, M. Ganguli,

- P.A. Ramakrishnan // Chemistry of Materials. 1999. V. 11, No. 4. P. 882-895.
4. Makino, Y. Sintering of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> composites using millimeter-wave radiation [Text] / Y. Makino, T. Ohmae, Y. Setsuhara // Key Engineering Materials. 1999. V. 161-163. P. 41-44.
  5. Wil'ert-Porada, M. Microwave sintering of metal-ceramic FGM [Text] / M. Wil'ert-Porada, R. Borchert // Functionally Graded Materials, edited by I. Shiota and Y. Miyamoto. Amsterdam: Elsevier, 1997. P. 349-354.
  6. Gupta M. Microwaves and Metals [Text] / M. Gupta, E. Wong Wai Leong // Singapore: Wiley, 2007. - 228 pp.
  7. Zhang, S.-L. Rapid thermal processing with microwave heating [Text] / S.-L. Zhang, R. Buchta, D. Sigurd // Thin Solid Films. 1994. V. 246, No. 1/2. P. 151-157.
  8. Lukas, R. Mikrowelleunterstützte Wärmt- und Stoffübertragung beim Trocknen und Entbindern Technischer Keramik [Text] / R. Lukas // Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur. Freiburg, 2005. – 125 p.
  9. Chandrasekaran, S. Microwave Material Processing—A Review [Text] / S. Chandrasekaran, S. Ramanathan, T. Basak // AIChE Journal. 2012. V. 58 P. 330-363.
  10. Ванецев, А. С. Спекание оксидных порошков с использованием микроволнового воздействия [Текст] / А. С. Ванецев. – М.: МГУ, 2011. – 32 с.
  11. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М.: 1967. – 600 с.

УДК 624.139.55

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДЕНИЯ МАССИВА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ С ПОДЗЕМНЫМ НЕФТЕПРОВОДОМ

*Кондратьев В.Г.<sup>1</sup>, д.г.-м.н., Бронников В.А.<sup>2</sup>  
Забайкальский государственный университет, Россия  
Транснефть - Сибирь, Россия  
E-mail: v\_kondrativ@mail.ru, bronnicovva@tmn.transneft.ru*

Геокриологические проблемы МН ВСТО-1, построенного в 2006-09 гг. протяженностью 2691 км, где почти на трети трассы имеются многолетнемерзлые грунты, оттаивание которых может вызвать риски недопустимых изменений планово-высотного положения трубопровода и угрозы его функционированию, подробно рассмотрены в [1]. Там же описаны различные способы обеспечения проектного планово-высотного положения трубопровода, предложенные проектными организациями: от вскрытия подземного трубопровода и замены под ним льдистых многолетнемерзлых грунтов на не льдистые, нанесения теплоизоляции на трубу до выноса трубопровода из грунта и размещения его на свайных опорах надземно или подземно. Отмечено, что все они весьма трудоемки и дороги, при этом могут возникнуть дополнительные проблемы, в частности, свайные опоры надземного трубопровода могут выпучиваться [12].

В этой связи ООО «Транснефть – Восток» с ноября 2013 г. по настоящее время проводит на МН ВСТО-1 в Олёкминском районе Якутии опытно-экспериментальные исследования по дополнительному охлаждению массива многолетнемерзлых грунтов с подземным нефтепроводом путем регулирования охлаждающих и обогревающих природных факторов таким образом, чтобы уменьшался приход тепла и увеличивался его расход, сохранялись и дополнительно охлаждались многолетнемерзлые грунты в основании нефтепровода.

Теоретические предпосылки

Теоретической основой натурных экспериментов по дополнительному охлаждению массива многолетнемерзлых грунтов на ВСТО-1 явились разработки [2,5,6,10], а также результаты математического моделирования [7].

Известно [5], что температурный режим горных пород в слое годовых колебаний определяется структурой радиационно-теплового баланса поверхности, тепловым влиянием наземных покровов (снег, растительность, вода), теплотокотом из недр земли, а также процессами тепломассопереноса в массиве горных пород.

Анализ формирования радиационно-теплового баланса поверхности и температурного режима пород в слое годовых колебаний, позволил сделать вывод о том, что, для сохранения многолетнемерзлого состояния массива грунтов необходимо [6]:

1) уменьшать поступление на его поверхность прямой и рассеянной солнечной радиации, например, затенением;

- 2) увеличивать альbedo поверхности окраской в светоотражающий цвет или покрытием её светоотражающим материалом;
- 3) увеличивать эффективное излучение дневной поверхности в зимний период, например, снегоочисткой охлаждаемого массива грунтов и части прилегающей территории;
- 4) увеличивать турбулентный теплообмен и испарение с дневной поверхности массива;
- 5) предотвращать инфильтрацию летних осадков и фильтрацию поверхностных или надмерзлотных вод в массив грунта.

В случае нахождения в массиве многолетнемерзлых грунтов поземного трубопровода с положительной температурой дополнительно к указанным мероприятиям необходимо его теплоизолировать.

Основываясь на этих предпосылках, ООО «Транснефть – Восток» в ноябре 2013 г. приступило к экспериментам на магистральном нефтепроводе ВСТО-1. Были выбраны 2 экспериментальных участка: № 1 – на нефтеперекачивающей станции «Олекминск» (НПС-14) и № 2 – на 1704 км линейной части нефтепровода.

Эксперименты по охлаждению массива грунтов на НПС-14

На НПС-14 в начале, с ноября 2013 г. по сентябрь 2014 г., проверялись два способа охлаждения грунтов: снегоочистка зимой и покрытие поверхности полимерным скальным листом светлого цвета – летом. Снежный покров в Олекминском районе лежал со 2 ноября 2013 г. (3 см) по 16 апреля 2014 г. (2 см), достигая в середине марта 35-40 см. На экспериментальной площадке снегоочистка выполнялась с середины ноября по середину марта при выпадении снега толщиной не менее 5 см (рис.1А). С середины марта снегоочистка не производилась, поскольку среднесуточная температура воздуха превысила температуру поверхности массива грунта и направление теплопотока изменилось. С мая по сентябрь 2014 г. площадка была накрыта скальным листом (рис. 1Б).



А



Б

Рисунок 1 – Экспериментальная площадка на НПС-14 зимой 2013-14 гг. и летом 2014 г.

На контрольной площадке снег не удалялся и к середине марта 2014 г. имел толщину 40-41 см. Летом площадка скальным листом не накрывалась.

Наблюдения показали, что на 10.09.2014 г. глубина сезонного оттаивания грунтов на экспериментальной площадке уменьшилась на 1,66 м или на 40,5% по сравнению с контрольной площадкой; охлаждение на 0,7 – 4,5 С° прослеживалось от поверхности до глубины 3,5 м. Покрытие площадки скальным листом было вынужденной мерой (планировалось покрыть площадку противофильтрационной пленкой и белым щебнем из Слюдянского месторождения, но он мог поступить только летом речным транспортом по р. Лене), осуществленной к тому же с опозданием на 1,5 месяца.

В ноябре 2014 г. скальный лист был заменен на солнцезащитные навесы высотой 1,5 и 0,5 м из металлического каркаса и панелей-сэндвичей (рис. 2), что позволило сильнее охладить массив грунта зимой 2014-15 гг. – в середине апреля 2015 г. (рис. 3) температура массива грунтов в интервале 1-5 м на экспериментальной площадке (скв 18) была на 2-4°С ниже, чем на контрольной площадке (скв 37).



Рисунок 2 – Экспериментальная площадка на НПС-14 зимой 2014-15 гг.

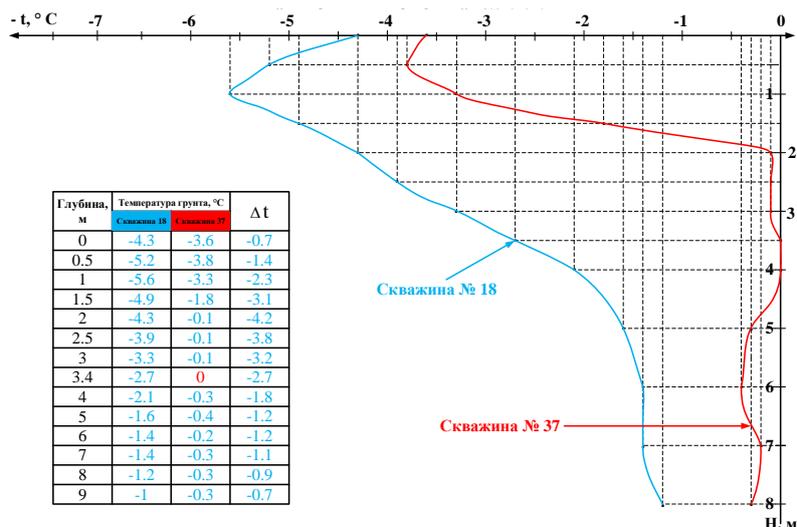


Рисунок 3 – Температура грунтов на экспериментальной (скв 18) и контрольной (скв 37) площадках на НПС-14 МН ВСТО-1 на 16.04.2015 г.

Наблюдения в конце теплого периода 2015 г. (рис. 4) показали, что глубина сезонного оттаивания грунтов на экспериментальной площадке составляла 2,97 м, тогда как на контрольной – 4,70 м, а охлаждение на 0,4 – 4 С° больше, чем на контрольной площадке, распространилось до глубины 5 м.

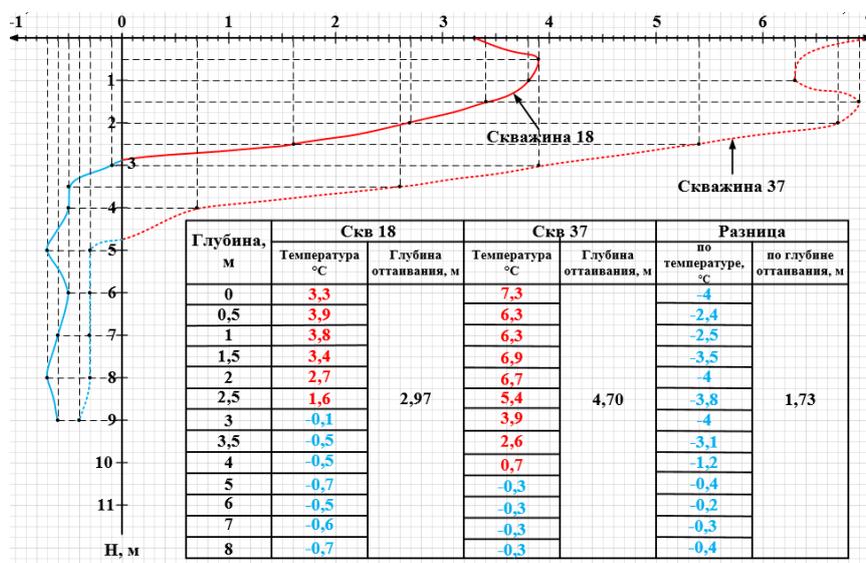


Рисунок 4 – Температура грунтов и глубина оттаивания грунтов на экспериментальной (скв 18) и контрольной (скв 37) площадках на НПС-14 МН ВСТО-1 на 25.09.2015 г.

Таким образом, менее чем за 2 года удалось прекратить деградацию многолетнемерзлых грунтов и поднять их кровлю на 1,73 м, что позволило обеспечивать стабильность фундаментов зданий и сооружений на НПС-14, а также применить солнцезащитные навесы в сочетании с покрытием прилегающей территории противофильтрационной пленкой и слоем белого мраморного щебня толщиной 10-15 см для прекращения деградации многолетнемерзлых грунтов в основании всех технологических трубопроводов на НПС-14 (рис. 5).



Рисунок 5 – Солнцезащитные навесы и белый щебень на противофильтрационной пленке на площадках технологических трубопроводов на НПС-14 МН ВСТО-1

На рис. 6 и рис. 7 показана динамика оттаивания и промерзания грунтов на экспериментальной площадке, с навесом, и на контрольной площадке, без навеса, по температурным наблюдениям с 5 мая 2014 г. по 30 ноября 2016 г. в скважинах 18 и 37 соответственно.

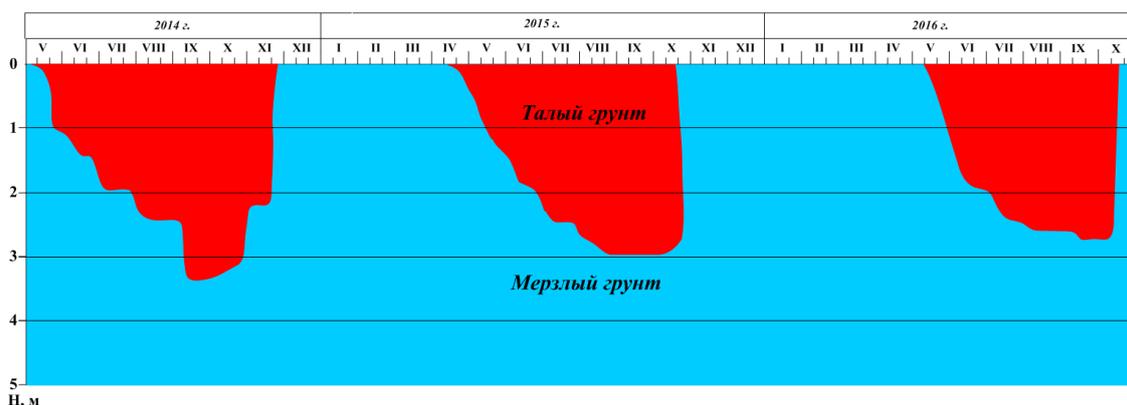


Рисунок 6 – Ход изменения глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов в 2014-16 гг. на экспериментальной площадке № 1 (свк 18 – под навесом) на НПС-14 МН ВСТО-1

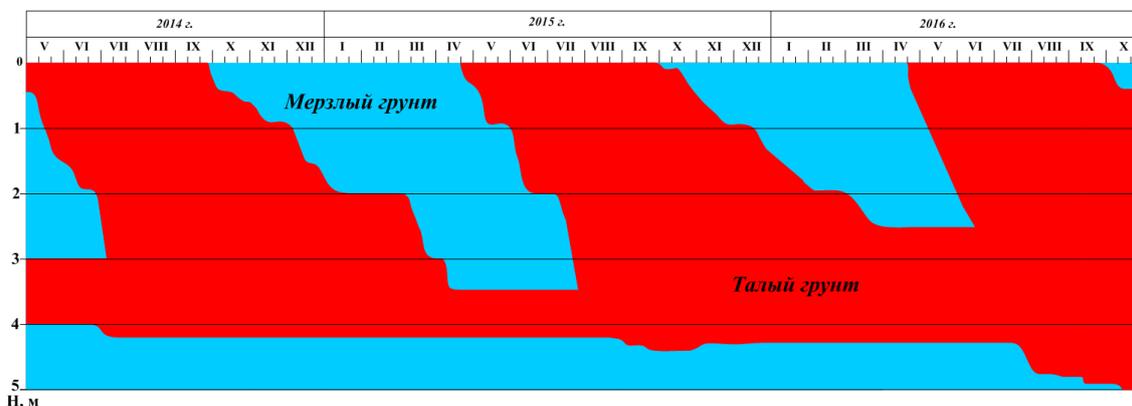


Рисунок 7 – Ход изменения глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов в 2014-16 гг. на контрольной площадке № 1 (свк 37 – без навеса) на НПС-14 МН ВСТО-1

Отчетливо виден охлаждающий эффект солнцезащитного навеса, в результате которого на экспериментальной площадке (рис. 6) остановлена деградация многолетней мерзлоты, её кровля поднята на глубину около 2,5 м от дневной поверхности, существенно сокращено время промерзания сезонно-талого слоя – в 2015 и 2016 гг. оно составило около 15-20 дней.

На площадке без навеса (рис. 7) продолжается деградация многолетней мерзлоты под песчано-гравийной насыпью толщиной 3-4 м – кровля многолетней мерзлоты опустилась до 5 м, сформировался непромерзающий зимой слой грунтов, мощность которого с каждым годом увеличивается.

Распределение температуры грунтов на экспериментальной и контрольной площадках на НПС-14, а также мощность талого прослоя на контрольной площадке по термозамерам 7.12.2016 г. в скважинах 18 и 37 соответственно показаны на рис. 8. Эти данные интегрально отражают результаты трехлетних мероприятий по охлаждению массива грунтов (1 год – снегоочистка и скальный лист, 2 и 3 годы – солнцезащитный навес) на экспериментальной площадке НПС-14: понижение температуры грунтов в интервале 0 – 9 м в среднем на 2,6° и в интервале 0 – 5 м в среднем на 4,3°.

Последний интервал наиболее интересен, т.к. именно в нем обычно располагается массив грунтов с подземным трубопроводом, формирующим ореол оттаивания многолетнемерзлых грунтов, что в свою очередь вызывает деформации трубопровода, если грунты обладают просадочностью при оттаивании. Понижение температуры многолетнемерзлых грунтов уменьшает их оттаивание под трубопроводом и способствует сохранению плано-высотного положения трубопровода.

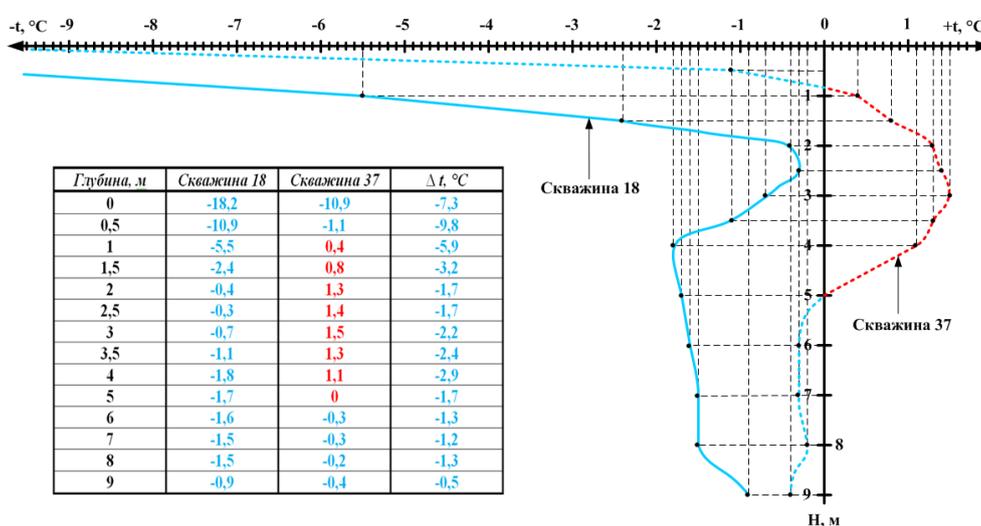


Рисунок 8 – Распределение температуры грунтов на экспериментальной (скв 18) и контрольной (скв 37) площадках НПС-14 МН ВСТО-1 на 7.12.2016 г.

Эксперименты по охлаждению массива грунтов на линейной части ВСТО-1, км 1704

На экспериментальном участке № 2 – 1704 км ВСТО-1, в конце марта 2014 г. сооружен солнцезащитный навес шириной 8 и длиной 100 м в виде деревянного каркаса из столбов, брусьев и досок, настила из профилированных металлических листов на обрешетке из досок и слое синтетической ткани (рис. 9).



Рисунок 9 – Солнцезащитный навес на 1704 км МН ВСТО-1 на 23.03.2014 г.

Были оборудованы термоскважины глубиной 15 и 10 м под навесом (км 1704 ПК 4+7) и вне его (км 1704 ПК 6+2) на расстоянии 1, 3 и 10 м от нефтепровода. Выполнялись также измерения глубины оттаивания грунтов с помощью металлического щупа, которые показали, что к концу лета 2014 г. глубина оттаивания грунтов под навесом была на 37-49% меньше таковой вне навеса.

Зимой 2014-15 гг. происходило интенсивное охлаждение массива грунтов под навесом, поскольку под ним отсутствовал снежный покров, достигавший вне навеса 40-50 см. Накопленный запас холода под навесом в значительной степени за лето сохранился, о чем свидетельствует распределение температуры грунтов до глубины 10 м в скважинах в 1 м от трубопровода под навесом и вне его на 28 сентября 2015 г., показанное на рис. 10, из которого следует, что под навесом за 1,5 года массив грунта в интервале 2-4 м, где размещен подземный трубопровод, охладился на 2,5-6,5°C по сравнению с массивом грунта вне навеса.

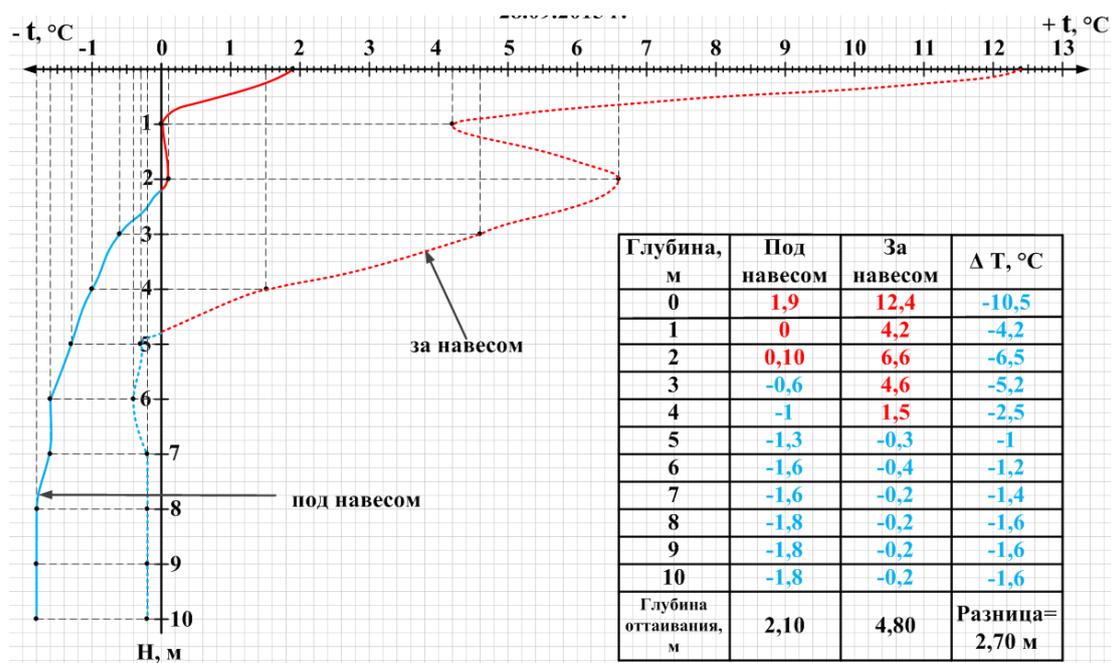


Рисунок 10 – Температура грунтов под навесом и вне навеса в 1 м от подземного нефтепровода на 28.09.2015 г.

На рис. 11 и рис. 12 показана динамика оттаивания и промерзания грунтов под навесом и на контрольной площадке, без навеса, по температурным наблюдениям с 22 апреля 2014 г. по 24 декабря 2015 г. в скважинах в 1 м от подземного нефтепровода.

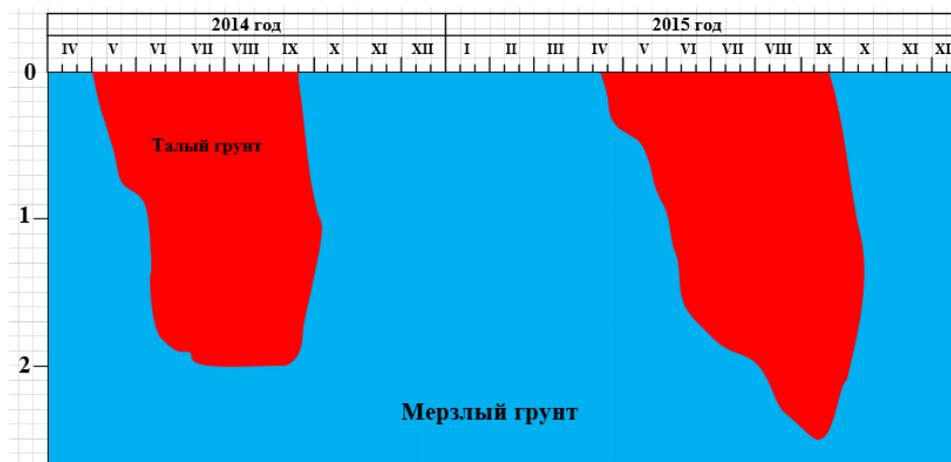


Рисунок 11 – Динамика оттаивания и промерзания грунтов на 1704 км МН ВСТО-1 под навесом в 1 м от трубы с 22.04.2014 г. по 25.12.2015 г. (по термозамерам в скважине)

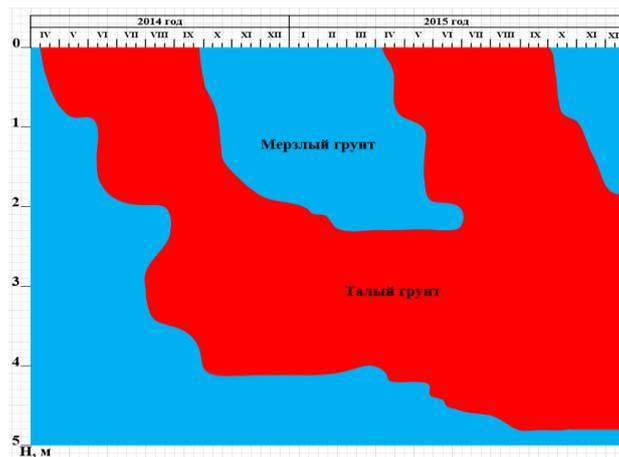


Рисунок 12 – Динамика оттаивания и промерзания грунтов на 1704 км МН ВСТО-1 вне навеса в 1 м от трубы с 22.04.2014 г. по 24.12.2015 г. (по термозамерам в скважине)

Следует также отметить, что под навесом оттаявший за лето грунт с наступлением отрицательных температур воздуха в конце сентября – начале октября промерзает быстро – за 10-15 дней, тогда как вне навеса полного промерзания оттаявших грунтов не происходит и к концу зима – сохраняется талый прослой толщиной около 2 м до глубины около 5 м. При этом с каждым годом мощность талика увеличивается.

Распределение температуры грунтов под навесом и вне его на 1704 км МН ВСТО-1, а также мощность талого прослоя на контрольной площадке на 24.12.2015 г. по термозамерам в скважинах показаны на рис. 13. Эти данные показывают, что понижение температуры грунтов под навесом в интервале 0 – 10 м в среднем составило  $2,4^{\circ}\text{C}$ , а в интервале 0 – 4 м в среднем  $4,3^{\circ}\text{C}$ . Последний интервал наиболее интересен, т.к. именно в нем располагается массив грунтов с подземным трубопроводом, формирующим ореол оттаивания многолетнемерзлых грунтов. Понижение температуры многолетнемерзлых грунтов здесь уменьшает их оттаивание под трубопроводом и способствует сохранению планово-высотного положения трубопровода.

Таким образом, экспериментально доказано, что охлаждение массива грунтов путем регулирования природных охлаждающих и отепляющих факторов может быть весьма эффективным в обеспечении стабильности подземного трубопровода в льдистых многолетнемерзлых грунтах, поскольку позволят существенно понизить температуру вмещающих грунтов и уменьшить ореол оттаивания их под нефтепроводом.

В сочетании с теплоизоляцией оптимальной толщины это исключит риски недопустимых изменений проектного планово-высотного положения трубопровода и угрозы его функционированию на участках многолетнемерзлых грунтов, в том числе с льдогрунтами, пластовыми и полигонально-жильными подземными льдами.

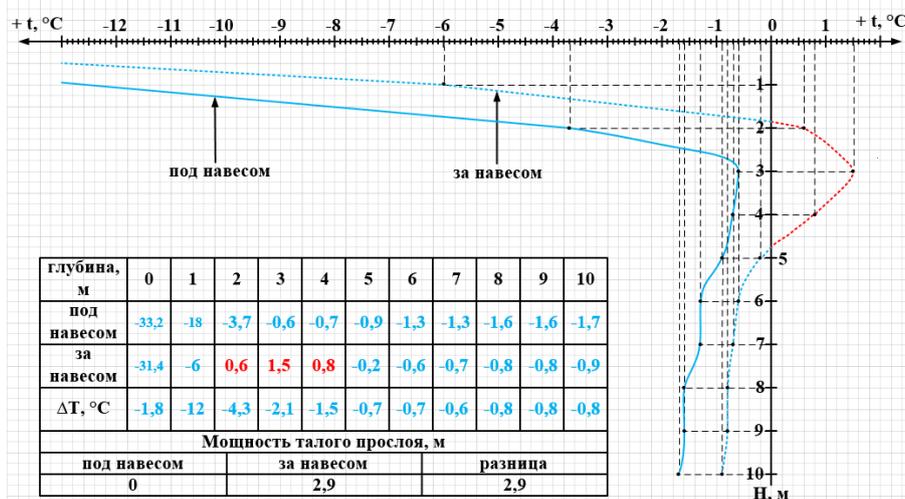


Рисунок 13 – Температура грунтов под навесом и вне навеса в 1 м от подземного нефтепровода на 24.12.2015 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронников В.А., Ибрагимов Э.Р., Кондратьев В.Г. Проблемы инженерно-геокриологического обеспечения проектирования и строительства магистрального нефтепровода ВСТО-1 и пути их решения // Инженерные изыскания. 2014. № 13-14.- С. 43-52.
2. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеиздат, 1956. -255 с.
3. Гишкелюк И.А., Станиловская Ю.В., Евланов Д.В. Прогнозирование оттаивания многолетнемерзлых грунтов вокруг подземного трубопровода большой протяженности // Наука и технология трубопроводного транспорта. 2015. № 1(17). - С. 20-25
3. Димов Л.А., Димов И.Л. Нефтепроводы на многолетнемерзлых грунтах: критерии выбора способа прокладки при проектировании // Геотехника. 2014. № 3.- С. 52-57
4. Достовалов Б.А., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. – М.: Изд-во МГУ, 1967.
5. Кондратьев В.Г. Охлаждение массива многолетнемерзлых грунтов в основании дорог путем регулирования потоков холода и тепла // Грунтоведение. – СПб: Изд-во «Центр генетического грунтоведения». 2013.- № 1.- С. 34-47.
6. Кондратьев В.Г., Перекупка А.Г., Примаков С.С., Петрова А.С. Мероприятия по изменению режима теплообмена на поверхности земли и их влияние на распределение температуры в грунте // Нефтяное хозяйство, 2012.- Октябрь.- С. 122-125.
7. Кондратьев В.Г., Бронников В.А., Пузилов А.Ф. Первый опыт охлаждения массива многолетнемерзлых грунтов путем регулирования теплотоков через его поверхность // Наука и технология трубопроводного транспорта. -2016.- № 2(22).- С. 66-28
7. Кудрявцев В.А., Ершов Э.Д. Принципы управления мерзлотными процессами // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1969 – Вып. IX.
8. Лисин Ю.В., Сощенко А.Е., Суриков В.И., Павлов В.В., Зотов М.Ю. Технические решения по способам прокладки нефтепровода Заполярье – НПС «Пурпе» // Наука и технология трубопроводного транспорта. -2014.- № 1(13).- С. 24-28.
9. Лисин Ю.В., Павлов В.В., Сощенко А.Е., Зотов М.Ю. Развитие технологий и строительных решений по способам прокладки трубопровода Заполярье – Пурпе и на многолетнемерзлых грунтах и их применение на подводных переходах трубопровода Куюмба – Тайшет // Наука и технология трубопроводного транспорта. 2014.- № 3(15).- С. 68-71
10. Хафизов Р.М. Ошибки при проектировании, погружении и испытаниях винтовых свай на полуострове Ямал // Инженерные изыскания. -2014.- № 7.- С. 24-31.

УДК 532.133:536.71

#### **РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТЬ-ПАР И ВЯЗКОСТЬ СМЕСЕЙ СМАЗОЧНОГО МАСЛА ISO 22 С ХЛАДОМ R404A**

*Лапардин Н.И.<sup>1</sup>, к.т.н.*

*Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина*

*E-mail: lapardina2004@mail.ru*

Холодильный агент R404A относится к группе гидрофторуглеродов и представляет собой квазиазеотропную смесь (R125/R143a/R134a) с массовыми долями (44/52/4%). Простота его использования связана с тем, что разница температур кипения и конденсации не превышает 0.5 К и поэтому при утечках возможны многократные дозаправки, а эксплуатационные характеристики практически не меняются. R404A может успешно использоваться как в новом оборудовании, так и при замене хлоросодержащих углеводородов, таких как R502, при налаженном использовании существующего оборудования. Кроме того, при такой замене, как правило, масса заправки R404A меньше и, в зависимости от условий эксплуатации и конструктивных особенностей оборудования, может составлять 75% ... 90% массы R502. Немаловажно, что при такой замене температура нагнетания может быть на 5 К ниже, и положительно сказывается на срок службы компрессора. Хладагент R404A рекомендован к использованию в низко- и среднетемпературном торговом холодильном оборудовании с герметичными, полугерметичными и негерметичными поршневыми компрессорами, крупном торговом и промышленном холодильном оборудовании с негерметичными поршневыми компрессорами, а также на транспорте для охлаждения или кондиционирования воздуха. Использование синтетических полиоэфирных смазочных масел в смесях с хладагентами ставит задачу исследования растворимости и вязкости этих смесей.

Настоящая работа продолжает исследование хладагентов серии R400 [1-6], посвящена измерениям фазового равновесия жидкость-пар и вязкости смеси полиолэфирного смазочного масла ISO 22 и хладона R404A. На основе полученных экспериментальных данных возможно составление аппроксимационных уравнений, позволяющих рассчитать давления кипения и коэффициент кинематической вязкости изучаемой смеси.

Данные о фазовом равновесии жидкость-пар были получены с помощью ячейки постоянного объема. Она размещалась в термостате и была заправлена маслом и хладагентом в таком количестве, чтобы паровое пространство верхней части ячейки было минимально. По уравнению состояния R404A, представленному в базе данных REFPROP [7], рассчитывалась масса паров хладагента в этом пространстве. Давление определялось при помощи цифрового преобразователя давления. Температура измерялась образцовым платиновым термометром сопротивления. Валовая концентрация смеси находилась по массе заправленных компонентов.

Вязкость измерялась методом капилляра. Истечение потока жидкости через капилляр происходило под действием небольшого перепада давления. В опытах измерялись время истечения определенного количества вещества, а также температура и давление. Погрешность измерений вязкости не превышала  $\pm 1.8\%$ . Подробное описание схем установок для измерения равновесия жидкость-пар и вязкости, а также методик проведения опытов представлены в более ранних работах [8-10].

При измерениях фазового равновесия жидкость-пар исследуемой смеси массив P-T-x данных получен в диапазоне температур 233 ... 373 К при давлениях от 0.04 до 5.5 МПа и массовой доли масла 0.3 ... 0.9. Экспериментальные измерения вязкости проведены в области температур от 233 до 373 К и массовой доли масла от 30% до 90%. В табл. 1 и 2 приведены результаты экспериментальных измерений давления кипения P и вязкости  $\nu$  смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A при различных значениях массовой доли масла x и температуры T.

Таблица – 1 Экспериментальные значения давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

T, К	P, МПа				
	x=0.303	x=0.503	x=0.697	x=0.795	x=0.905
233.15	0,124	0,117	0,097	0,076	0,044
253.15	0,295	0,278	0,228	0,177	0,101
273.15	0,580	0,544	0,440	0,338	0,192
293.15	1,039	0,966	0,771	0,589	0,334
313.15	1,724	1,592	1,252	0,948	0,536
333.15	2,703	2,479	1,919	1,444	0,813
353.15	4,156	3,783	2,884	2,149	1,206
373.15	-	5,460	4,095	3,023	1,690

В качестве графической иллюстрации полученных данных на рис. 1 - рис. 3 показаны диаграммы давление кипения–состав, давление кипения–температура и вязкость–температура. Отметим, что для отображения изобар на диаграмме вязкость–температура, приведенной на рис. 3, использованы результаты исследования давления кипения смеси. Как видно, вязкость исследуемой смеси является сложной функцией трех переменных и зависит от температуры, давления и массового состава смеси.

Таблица – 2 Экспериментальные значения вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

T, К	$\nu, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$				
	x=0.305	x=0.499	x=0.703	x=0.804	x=0.898
233.15	0.885	4.70	46.8	190	897
253.15	0.637	2.46	16.2	49.9	175
273.15	0.516	1.73	8.04	19.8	52.7
293.15	0.413	1.21	4.34	9.20	19.8
313.15	0.339	0.880	2.70	4.92	9.46
333.15	0.280	0.681	1.85	3.18	5.50
353.15	0.232	0.530	1.33	2.17	3.65
373.15	0.201	0.441	1.01	1.61	2.56

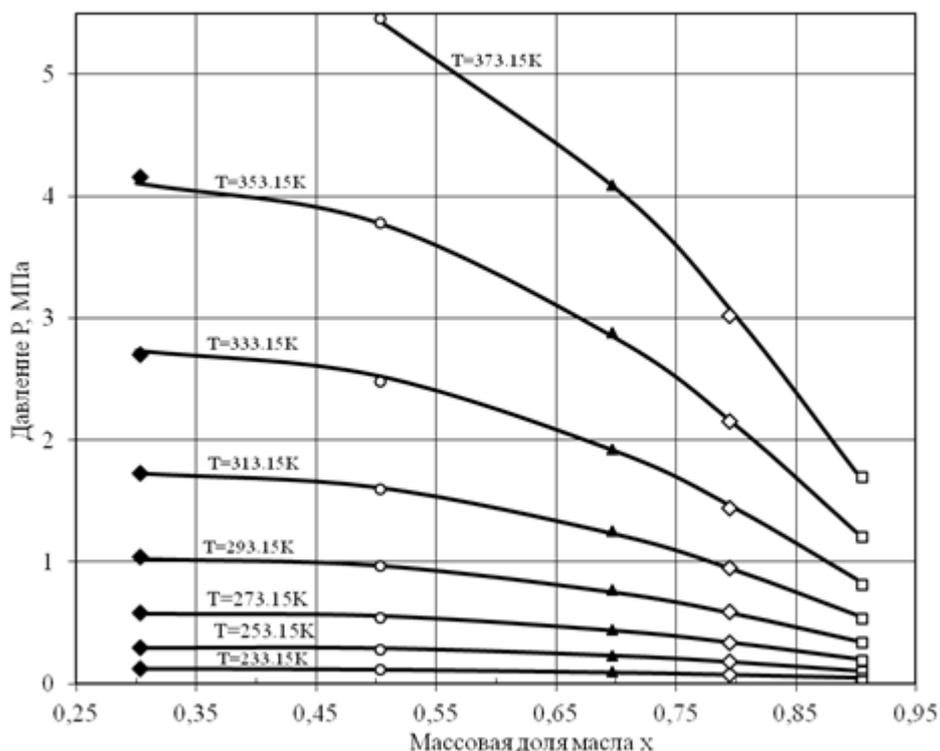


Рисунок – 1 Диаграмма P–x смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

Корреляционные зависимости

Приведенные ниже корреляционные уравнения, получены аппроксимацией наших экспериментальных данных. Они позволяют рассчитать давление кипения и вязкость смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A в указанных выше пределах диапазона температур и интервала массовой концентрации масла.

$$P = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^2 a_{ij} \cdot (t/100)^i \cdot x^j \quad (1),$$

$$\log \nu = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^2 c_{ij} \cdot (t/100)^i \cdot x^j \quad (2),$$

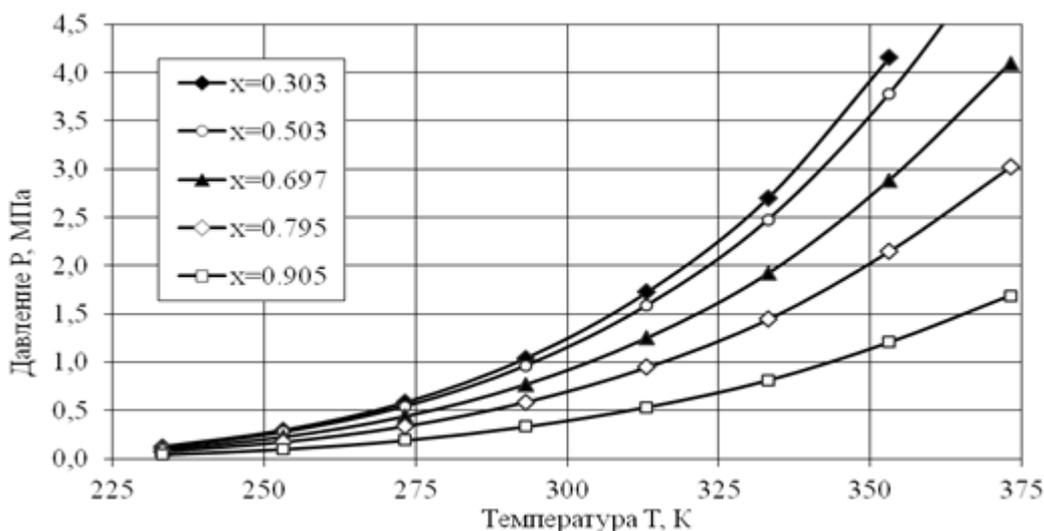


Рисунок – 2 Давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

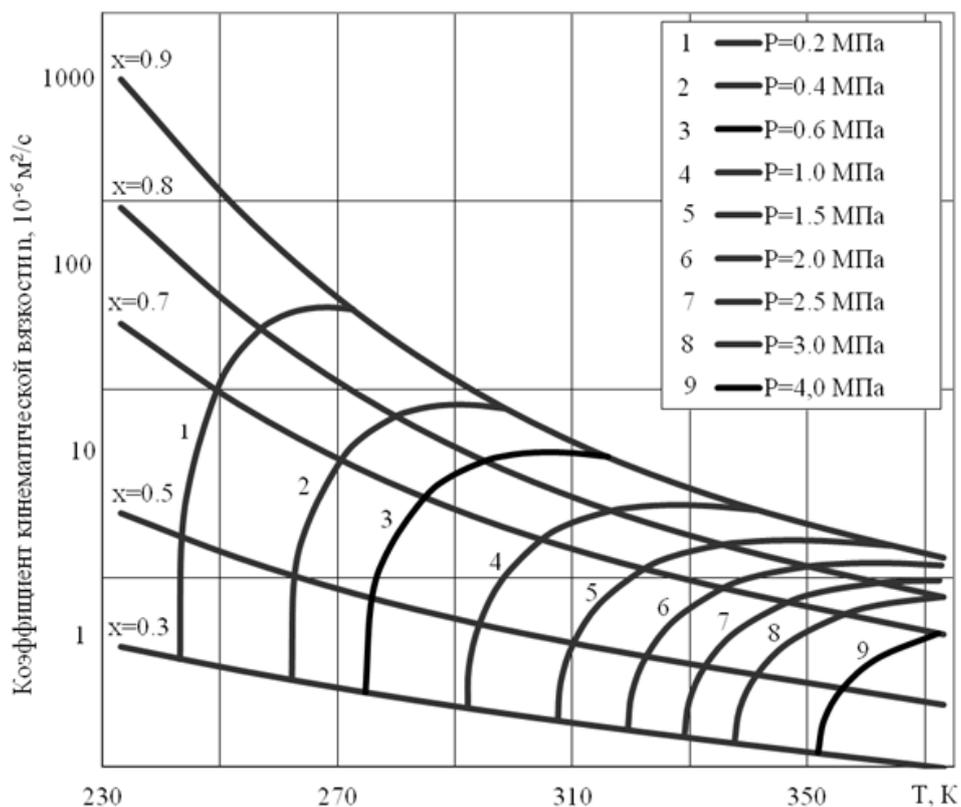


Рисунок – 3 Вязкость смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

Таблица – 3 Коэффициенты уравнений (1) и (2) для смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

значения $a_{ij}$					значения $c_{ij}$				
$j \setminus i$	0	1	2	3	$j \setminus i$	0	1	2	3
0	0.3965	1.4683	2.1738	0.8538	0	-0.7841	-0.5200	0.0083	0.1546
1	0.9800	2.0470	1.0404	2.8495	1	1.0421	1.0897	-0.1189	-0.6937
2	-1.3281	-3.3494	-3.0469	-3.8556	2	1.9241	-3.5092	2.0657	-0.0345

Расхождения между полученными экспериментальными данными о давления кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A, а также ее вязкости, и рассчитанными по уравнениям (1) и (2) величинами показаны на рис. 4 и рис. 5.

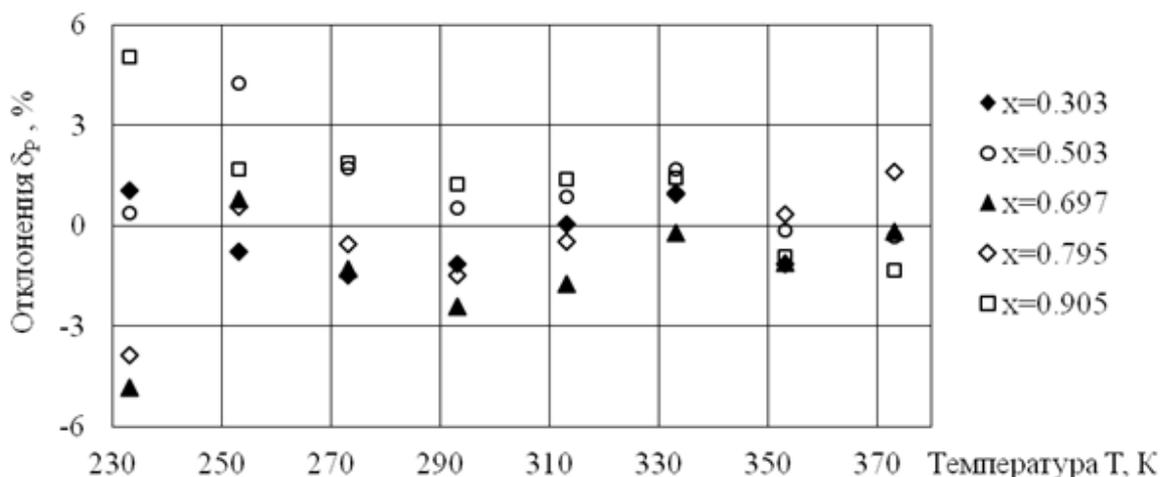


Рисунок – 4 Отклонения рассчитанных по уравнению (1) значений от экспериментальных данных по давлению кипения смеси смазочного масла ISO 22 и хладона R404A

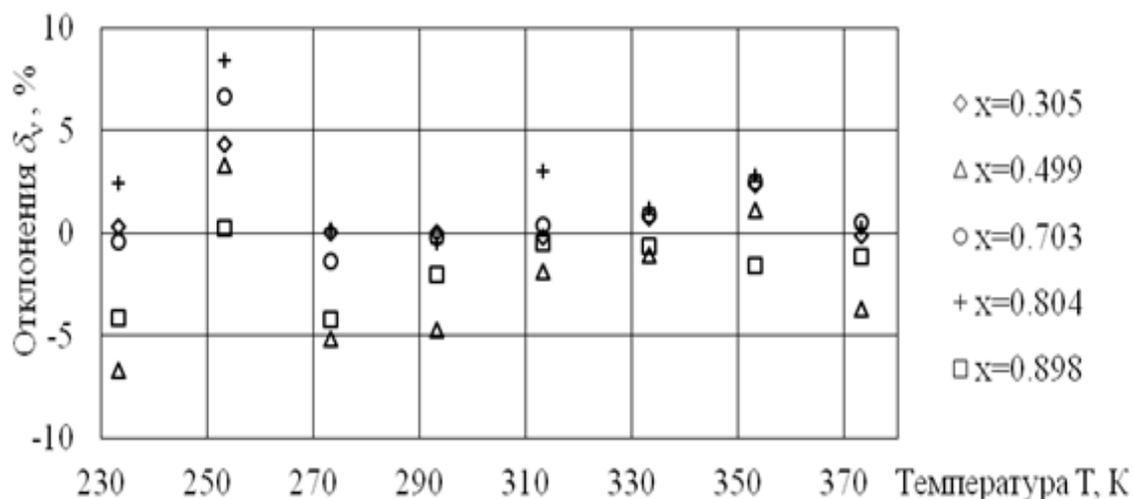


Рисунок – 5 Отклонения рассчитанных по уравнению (2) значений от экспериментальных данных по вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладагента R404A

Проведены экспериментальные измерения давления кипения и вязкости смеси смазочного масла ISO 22 и хладагента R404A в области температур от 233 до 373 К, при давлениях до 5.5 МПа и массовой концентрации масла от 30% до 90%. Аппроксимация экспериментальных данных по давлению кипения смеси, как функции температуры и ее массового состава, уравнением (1) проведена со среднеквадратичной погрешностью 1.8% при максимальном отклонении 5.0%. Температурная и концентрационная зависимость коэффициента кинематической вязкости смеси хладагента R404A со смазочным маслом ISO 22 описана уравнением (2) со среднеквадратичным отклонением 3.0%, а максимальная погрешность составила 8.4%. Расчеты давления кипения и вязкости исследуемой смеси с точностью, удовлетворяющую инженерную практику, позволяют проводить приведенные выше корреляционные зависимости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапардин, Н.И. Термодинамические и переносные свойства смеси R410B со смазочным маслом [Текст] / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Пищевая наука и технология. – 2009. – № 4 (9). – С. 78-81.
2. Геллер, В.З. Свойства смеси хладагента R407C со смазочным маслом CPI EXP 32 / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2010. – Вип. 24. – С. 165 - 170.
3. Лапардин, Н.И. Давление кипения и вязкость растворов смазочных масел ISO 15 и ISO 220 в хладоне R407C / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Сборник трудов конференции «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» - Санкт-Петербург: СПбГУНПТ, 2010. – С. 455 - 460.
4. Геллер, В.З. Исследование растворимости и вязкости смеси компрессорного масла ISO 46 с хладон R404A [Электронный ресурс] / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали III Міжнародної науково-технічної конф., Миколаїв, 4-6 жовтня 2012 р. / Національний ун-т кораблебудування. – Миколаїв, 2012. – С. 201-204. – Режим доступа: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog>.
5. Лапардин, Н.И. Равновесие жидкость-пар и вязкость смеси смазочного масла ISO 170 с хладон R407C [Электронный ресурс] / Н.И. Лапардин, В.З. Геллер // Вестн. Новгород. гос. ун-та. – Новгород, 2013. – №73, т. 2. – С. 24-27 – Режим доступа: <http://www.novsu.ru/file/1082810>.
6. Геллер, В.З. Вязкость и давление кипения смеси смазочного масла ISO 15 и хладагента R410A / В.З. Геллер, Н.И. Лапардин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конф., Миколаїв, 12-14 жовтня 2016 р. / Національний ун-т кораблебудування. – Миколаїв, 2016. – С. 188-190.
7. Lemmon, E. W. NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, version 8.0. [Text] / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden // Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. - 2007.
8. Bivens, D. B. Thermodynamic properties of R32/R125 mixture [Text] / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z. Geller // In Proceedings of the 4th Asian Thermophysical Conference, Japan, 1993 – P. 3295-3304.
9. Transport properties and heat transfer of alternatives for R502 and R22 [Text] / D. B. Bivens, A. Yokozeki, V. Z. Geller, M. E. Paulaitis // In Proceedings of the ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, Gaithersburg, MD, 1994 – P. 73-84.
10. Viscosity of HFC32 and HFC32 /lubricant mixtures [Text] / V. Z. Geller, M. E. Paulaitis, B. Bivens, A. Yokozeki, In Proceedings of the 12th Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, CO, June 1994, P. 477-486.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ ГЛИНЫ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*Лукьянова А.С., ассистент., Колесниченко Н.А., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: albireo@ukr.net, kolesnychenko.natalia@yandex.ua*

В технологии производства керамических изделий из глины перед обжигом их требуется просушить в течение 2 – 7 дней в зависимости от величины изделия. Обжиг глины (керамической массы) преследует цели: а) сушку (удаление гигроскопически связанной влаги), б) спекание материала. Правильный подбор режимов сушки во многом определяет качество конечного изделия. При сушке глины происходит не только снижение влажности, но и изменение ее физико-механических свойств. Пересушенная до потери химически связанной воды глина теряет связующую способность. Неравномерная влажность вызывает растрескивание. Скрытые дефекты формования (например, свиль) могут быть причиной трещин, а пересушенные изделия не выдерживают легких ударов из-за хрупкости. Существенную роль в процессе микроволнового нагрева играют теплофизические свойства обрабатываемого образца, поскольку эффективность и равномерность нагрева зависит не только от диэлектрических свойств образца, но и от его способности распределять выделившуюся теплоту по своему объему.

Целью работы является оценка энергетической эффективности применения микроволнового нагрева при производстве керамических изделий на примере глины и получение эмпирических зависимостей для определения основных тепловых характеристик нагрева в микроволновом поле.

Для исследований была использована предварительно подготовленная и увлажненная глина. Методика эксперимента состояла в следующем:

- 1) из влажной глины формируются пластины заданной толщины;
- 3) вспомогательным трафаретом вырезаются образцы равной площади;
- 4) полученный образец взвешивается;
- 5) глиняный образец помещается в МВ установку, где он выдерживается под действием МВ поля определенный промежуток времени  $\Delta t$ ;
- 6) через время  $\Delta t$  образец извлекается из рабочей камеры, после чего на протяжении короткого промежутка времени проводятся измерения температуры на поверхности образца, в него центре и края, а так же массу керамического изделия.

Для измерения температуры применяется цифровой мультиметра М 4581Ц с диапазоном измерения  $-40 \div +1500\text{C}$  и границей погрешности, которая допускает  $\pm(0,01a+30\text{C})$ , где  $a$  - измеренное значение;

- 7) процедура обработки с дальнейшими измерениями температуры и массы повторяется до тех пор, пока его масса не стабилизировалась.

Поскольку непосредственно во время опытов измерять температуру и массу невозможно, каждый последующий образец выдерживался в камере на выбранный шаг времени  $\Delta t$  больше предыдущего, а по результатам измерения температуры и массы, полученным во время выемки очередного образца, получались данные для МВ нагрева единичной пластины. Погрешность не увеличилась при использовании одного образца, если измерения проводить в течение короткого промежутка времени, при этом образец практически не остывал. Начальная толщина образца составляла (6,9 – 7) мм. По результатам экспериментов проводились тепловые расчеты и определялись оптимальные режимы.

Результаты исследований, полученные на глиняных образцах, и проводимые в идентичных условия, за исключением выходной мощности магнетрона, представлены в табл. 1 – 3.

Таблица 1 – Экспериментальное исследование нагрева глиняной пластины в МВ поле. Выходная мощность магнетрона 80 Вт.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau, \text{с}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240
$t_{\text{пов.}}^{\circ\text{C}}$	21	80	67	78	103	137	115	117	113
$t_{\text{цен.}}^{\circ\text{C}}$	21	83	75	109	152	175	147	151	141
$t_{\text{кр.}}^{\circ\text{C}}$	21	63	54	70	96	110	108	100	106
$m, \text{кг}$	0,064	0,056	0,050	0,046	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044

Таблица 2 – Экспериментальное исследование нагрева глиняной пластины в МВ поле. Выходная мощность магнетрона 180 Вт.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau, \text{с}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240
$t_{\text{пов.}}^{\circ} \text{С}$	21	85	89	84	85	125	134	123	127
$t_{\text{цен.}}^{\circ} \text{С}$	21	87	93	98	96	186	159	164	152
$t_{\text{кр.}}^{\circ} \text{С}$	21	75	87	85	86	119	130	116	127
$m, \text{кг}$	0,064	0,051	0,049	0,045	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044

При большей мощности магнетрона (табл. 3) влага интенсивнее удаляется из материала: так, при  $\tau=90$  с масса образца приняла значение, соответствующее сухому материалу.

Таблица 3 – Экспериментальное исследование нагрева глиняной пластины в МВ поле. Выходная мощность магнетрона 240 Вт.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau, \text{с}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240
$t_{\text{пов.}}^{\circ} \text{С}$	21	97	151	163	154	147	139	127	119
$t_{\text{цен.}}^{\circ} \text{С}$	21	103	165	165	156	148	136	129	121
$t_{\text{кр.}}^{\circ} \text{С}$	21	92	146	159	153	144	137	128	118
$m, \text{кг}$	0,066	0,049	0,047	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045

Средний темп нагрева материала в последнем эксперименте составлял 1,03 К/с (61,6 К/мин), что выше значений, полученных для микроволнового нагрева, и существенно превышает величину, рекомендуемого для конвективного нагрева [5] (на уровне 0,5 К/с). При этом не наблюдалось образования трещин и деформации образца. Это связано с непрерывным увлажнением поверхности влагой, которая под действием МВ поля выходила на поверхность, благодаря чему она не пересыхала и механические напряжения не возникали. Наивысшая скорость сушки наблюдалась в первые 30 с, после чего наблюдалось ее падение. Наивысшая скорость нагрева была в этом же периоде и составляла  $\frac{\Delta t}{\tau} = 2,07$  К/с, затем температура падает вследствие испарения влаги, после чего снова

начинает повышаться. В интервале 90-120 с скорость нагрева также была высокой, однако, вследствие значительной потери влаги, ее значение было ниже первоначального:  $\frac{\Delta t}{\tau} = 1,43$  К/с. Далее

темп нагрева снижается, а после 150 с температура образца начинает падать. На этом же участке, как отмечено выше, испарение влаги прекратилось. Отсутствие нагрева можно объяснить снижением диэлектрических характеристик материала – тангенса угла потерь и диэлектрической проницаемости, вследствие чего количество микроволновой энергии, преобразованной материалом во внутреннюю энергию, резко снижается, и образец начинает остывать, не воспринимая падающую на него энергию микроволнового поля. Следовательно, сам материал не является полярным диэлектриком, и дальнейшая его обработка в МВ камере нецелесообразна. Таким образом, микроволновой нагрев следует осуществлять только на этапе сушки глиняных изделий, а в дальнейшем обжиг проводить с использованием традиционных методов. При производстве технической керамики возможен обжиг в микроволновой печи, если химический состав материала для ее изготовления позволяет интенсивно преобразовывать энергию микроволнового поля во внутреннюю.

Определение рациональных режимов сушки глиняных образцов проводилась на основании тепловых расчетов. Показателями, характеризующими режимы работы МВ-аппаратов, являются эффективность использования электроэнергии и мощность  $Q_n$ , которая расходуется на повышение температуры образца и испарение влаги. Эти показатели определяют коэффициенты полезного действия магнетрона  $\eta_m$ , камеры  $\eta_k$  и коэффициент использования тепловой энергии  $\eta_{\text{м}}$ . КПД магнетрона определяется следующим соотношением:

$$\eta_m = P_{\text{вых}} / P_c, \quad (1)$$

где  $\eta_m$  – КПД магнетрона, который определяется его техническими характеристиками (паспортные данные),  $P_c$  – мощность, потребляемая от сети.

Для определения перечисленных параметров необходимо знать тепловую энергию  $Q_{обр}$ , ее долю на нагрев самого образца  $Q_{обр}$ , полезно используемую теплоту  $Q_{пол}$ , а также потери в окружающую среду  $Q_n$  за счет лучистого  $Q_{луч}$  и конвективного  $Q_{кон}$  теплообмена, потери на нагрев диэлектрической ячейки  $Q_я$  и на испарение  $Q_{исп}$ :

$$Q_{пол} = Q_{кон} + Q_{луч} + Q_я + Q_{исп} \quad (2)$$

При диэлектрическом нагреве под действием электромагнитного поля контейнеры, воздух и стенки рабочей камеры практически не нагреваются. Но возникают тепловые потери  $Q_n$  в связи с возникновением в результате нагрева перепада температур между обрабатываемым изделием и окружающей средой. Следовательно, тепловую энергию, генерируемую в образце, можно определить как сумму ее составляющих:

$$Q_{обр} = Q_{пол} + Q_n \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия камеры определяется следующим образом:

$$\eta_k = Q_{пол} / P_{вых} \quad (4)$$

С увеличением потерь теплоты снижается коэффициент использования тепловой энергии  $\eta_T$ , который определяется следующим соотношением:

$$\eta_T = Q_{пол} / Q_n \quad (5)$$

Потери в окружающую среду за счет конвективного теплообмена:

$$Q_{кон} = \alpha \cdot \Delta t \cdot F \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $\Delta t$  – разность температур поверхности тела и окружающей среды,  $F$  – площадь теплопередающей поверхности.

Коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции рассчитывается по известным критериальным уравнениям [6]. Потери в окружающую среду за счет лучистого теплообмена  $Q_{луч}$ :

$$Q_{луч} = \varepsilon \cdot C_o \cdot \left[ \left( \frac{T_m}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{о.с.}}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{1-2} \cdot F \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты,  $\varepsilon = 0,932$ ;  $C_o$  – постоянная излучения абсолютно черного тела,  $C_o = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$ ;  $\varphi_{1-2}$  – средний угловой коэффициент поверхности  $F_1$  относительно поверхности  $F_2$ ,  $\varphi_{1-2} = 1$ .

Теплота, расходуемая на испарение:

$$Q_{исп} = \frac{m_{вод} \cdot r}{\tau} \quad (8)$$

где  $m_{вод}$  – масса испарившейся воды, кг;  $r$  – теплота парообразования;  $\tau$  – время нагрева, с.

По результатам обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость для КПД камеры. При изменении массы глиняного образца от 0,06 кг до 0,9 кг и изменении относительного объема  $V_{обр} / V_k$  от 0,003 до 0,09 КПД камеры при толщине слоя  $7 < l < 30$  мм описывается с погрешностью  $\pm 14\%$  соотношением:

$$\eta_k = 0,72 \cdot \left( 1 - e^{-203 \cdot (V_{обр} / V_k)} \right) \cdot \left( \frac{u}{0,46} \right)^{0,35} \quad (9)$$

Зависимость отражает тот факт, то уменьшение массы загрузки и снижение влагосодержания  $u$  образца приводит к снижению КПД камеры.

Для оценки теплоты, преобразованной в материале при взаимодействии микроволнового поля, можно применить следующую зависимость [7]:

$$q = \frac{P_{вых} \cdot \eta_k}{V}, \text{ Вт}/\text{м}^3; \quad (10)$$

Здесь  $V$  – объем, занимаемый материалом. Для проведения расчетов следует располагать зависимостями по КПД камеры, в которых должны учитываться объем материала, его толщина (высота) и площадь открытой поверхности, на которую падает электромагнитное поле.

Аналитические расчеты локальных температур по имеющейся зависимости [5], полученной для условий нагрева материала при действии внутренних источников теплоты, для глины с начальным влагосодержанием  $u=46$  % приводят к большой погрешности, поскольку не учитывается влияние потока испарившейся влаги на теплообмен. Для получения информации о распределении температур в глине при сушке можно применять зависимость, представленную в [8]. В эту зависимость входит скорость сушки, определяемая эмпирической формулой. Для глины на основании обобщения экспериментальных данных скорость сушки в первом периоде получена следующая зависимость:

$$N = 5,23 \cdot 10^{-3} (q_m)^{0,214} \cdot (\delta/\delta_0)^{1,16}, \quad (11)$$

где  $\delta$  - начальная толщина слоя,  $\delta_0$  - реперное значение, принятое при выводе этой зависимости  $\delta_0 = 7 \cdot 10^{-3}$  м. Значение удельного теплового потока  $q_m$  (в расчете на кг массы материала) определялось с учетом КПД микроволновой камеры, которое при массе  $m = 0,065$  кг и для начального влагосодержания  $u = 0,455$  составляло  $\eta = 0,26$ . Так, при  $P_{\text{ввлх}} = 80$  Вт:

$$q_m = 3,37 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^3, \text{ при } P_{\text{ввлх}} = 180 \text{ Вт: } q_m = 9,83 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^3.$$

Анализ результатов экспериментов показывает, что существует возможность при правильно подобранных технологических режимах существенно снизить затраты энергии на сушку глины в микроволновом поле. Значения потребляемой энергии на МВ нагрев могут быть также уменьшены за счет снижения тепловых потерь.

Глина для производства керамики способна интенсивно нагреваться в микроволновом поле в период сушки. После испарения всей влаги температура материала снижается, что свидетельствует о невозможности осуществления процессов спекания керамики на основе глины в МВ поле.

Экономически целесообразно увеличивать загрузку камеры, а для обеспечения высокой производительности микроволновой установки следует устанавливать максимально возможную мощность магнетрона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sheppard, L. M. Manufacturing ceramics with microwave: the potential for economical production [Text] / L.M. Sheppard // Am. Ceram. Soc. Bull, 1988.– Vol. 67. – P. 3041-3086.
2. Fabrication of Metal-Ceramic Functionally Graded Materials by Microwave Sintering [Text] / Yu. V. Bykov, S. V. Egorov, A. G. Ereemeev etc. // Inorganic Materials: Applied Research, 2012. –Vol. 3, № 3.– P. 261-269
3. Bykov, Yu.V. High-temperature microwave processing of materials [Text] / Yu.V. Bykov, K.I. Rybakov, V.E. Semenov // J. Phys. D: Appl. Phys., 2001. – Vol. 34. – P. 55-75.
4. Zhang, S.-L. Rapid thermal processing with microwave heating [Text] / S.-L. Zhang, R. Buchta, D.Sigurd //Thin Solid Films, 1994. – V. 246. – No. 1/2. – P. 151-157.
5. Kolesnychenko N. Analytical study of the processes of thermal conductivity at high intensity heating [Text] / N. Kolesnychenko, N. Volgusheva, I. Boshkova. // East-European J. of Enterprise Technology: Energy-saving technologies and equipment, 2016. – V. 5. – N. 8 (83). – P. 26-31.
6. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 221 с.
7. Бошкова И.Л. Оценка теплового эффекта взаимодействия материала с микроволновым электромагнитным полем [Текст] / И.Л. Бошкова, Н.А. Колесниченко// Наукові праці ОНАХТ, 2014. – Вип. 45. – Т.1. – С. 22-28.
8. Дементьева, Т.Ю. Интенсификация процессов теплового переноса при сушке зернового материала с применением микроволнового электромагнитного поля.: дисс... канд. техн. наук : 05.14.05 / Т.Ю. Дементьева. – 2013. – 137 с.

УДК 629.046; 697.95

#### ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

*Емельянов А.Л., к.т.н., Марченко А.С., аспирант, Сулин А.Б., д.т.н.*

*Университет ИТМО, 197101, г. Санкт-Петербург*

*E-mail: emelianovt@mail.ru, miconata@rambler.ru, mandserg@gmail.com*

В судовых холодильных системах еще с 60-х годов прошлого столетия нашли применение термоэлектрические системы охлаждения [1]. Несмотря на низкую энергетическую эффективность по

сравнению с парокомпрессионными холодильными машинами, их использование является целесообразным на атомных судах, реактор которых представляет собой практически неограниченный источник энергии. Проектировщиков судов в этих системах привлекают полное отсутствие фреона, высокая надежность и минимальное количество агрегатов с движущимися элементами в составе термоэлектрических охлаждающих установок [2]. Использование термоэлектрических систем ограничивается в основном агрегатами малой производительности. В судовой продовольственной камере предполагаются к установке 3 одинаковые термоэлектрические холодильные машины общей холодопроизводительностью 0,75кВт, поддерживающие в ней температуру (-18)°С при потребляемой мощности 7,2 кВт. Ниже рассмотрена одна из таких установок.

Общий вид термоэлектрической холодильной установки (ТЭХУ) показан на рис.1.

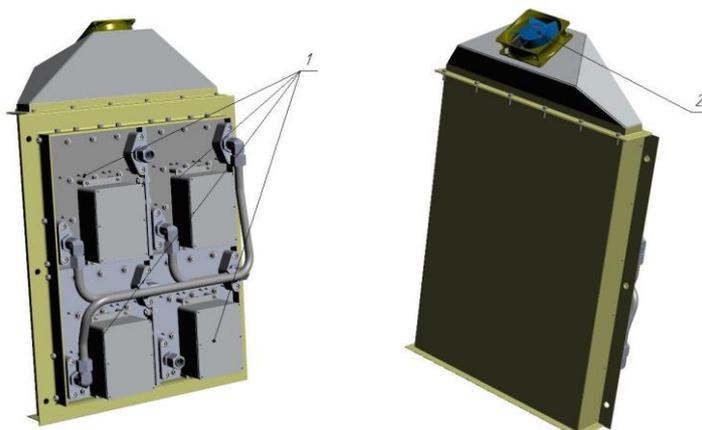


Рисунок 1 – Общий вид ТЭХУ

ТЭХУ представляет собой моноблочную конструкцию, размещаемую непосредственно на стене продовольственной камеры. Воздух при помощи вентилятора 2 (рис. 1) забирается в воздухопровод, в котором охлаждается за счет контакта с поверхностью четырех оребренных радиаторов и подается снова в продовольственную камеру. Радиаторы являются составными частями базовых блоков 1, общий вид которых показан на рис. 2

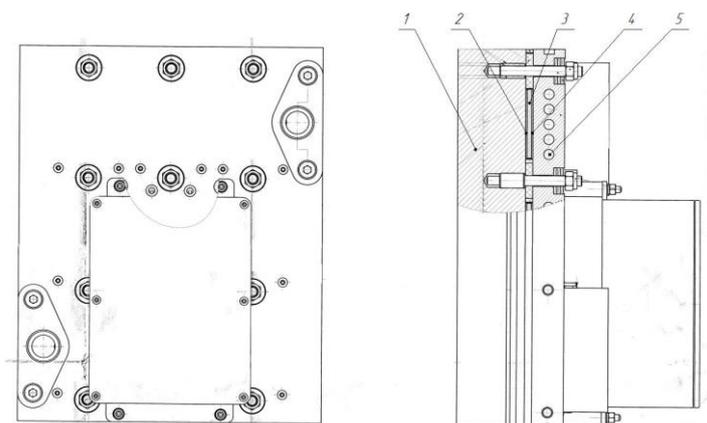


Рисунок 2 – Общий вид базового блока термоэлектрической холодильной установки

Каждый базовый блок состоит из девяти термоэлектрических модулей (ТЭМ), воздушного оребренного радиатора на холодной стороне и водяного охладителя, отводящего теплоту от горячей стороны. Для улучшения контакта поверхностей модулей с теплообменными аппаратами используется теплопроводная термопаста: КПТ-9 на холодной стороне и ArcticMX-2 на горячей. Воздух из камеры вентилятором (рис.1, поз.2) подается на воздушный оребренный радиатор 1 (рис. 2), к которому через контактную термопасту плотно прилегают холодные спаи 2 термоэлектрических батарей 3. Теплота от горячих сторон отводится при помощи теплообменника 5 заборной водой.

Питание термобатарей осуществляется постоянным током 5А с напряжением 400 В. Батареи в каждом блоке соединены последовательно.

Основными узлами установки являются однокаскадные термоэлектрические модули (батареи) (рис.3), изготовленные ЗАО «Криотерм».

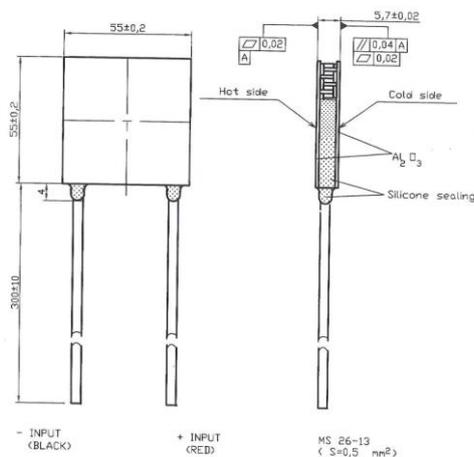


Рисунок 3 – Общий вид однокаскадного термоэлектрического модуля

Эффективность работы ТЭХМ во многом определяется выбранным режимом питания и условиями работы теплообменников на горячей и холодной сторонах каждого базового блока. На рис.4 показана зависимость холодопроизводительности одного модуля от температуры на холодной стороне при температуре на горячей 35°С и токе 5А. График предоставлен ЗАО "Криотерм".

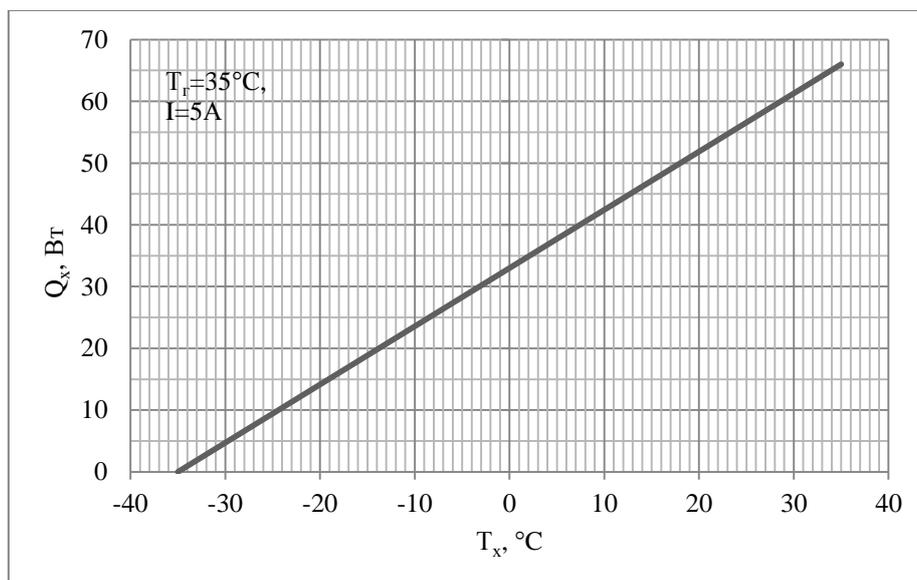


Рисунок 4 – Зависимость холодопроизводительности ТЭМ от температуры его холодной стороны

Как видно из графика на рис.4, для получения максимальной холодопроизводительности ТЭХУ необходимо подобрать наиболее совершенные с термодинамической точки зрения теплообменные аппараты, т.к. увеличение разности температур между горячей и холодной стороной термоэлектрического модуля на 1°С влечет за собой падение его холодопроизводительности на 1-2 Вт. Для 36 модулей в составе установки это означает падение на 36-72 Вт. При общей холодопроизводительности одной установки 250 Вт такое снижение характеристик недопустимо.

Для холодной стороны выбран алюминиевый радиатор размерами 240x310 мм с толщиной основания из конструктивных и технологических соображений 15 мм., высотой ребер 39 мм. Термическое сопротивление такого аппарата при обдуве его ребер воздухом в количестве 250 м<sup>3</sup>/ч с температурой (-18)°С составляет  $R_t=0,021$  К/Вт. Отвод теплоты с горячих поверхностей ТЭМ

производится теплообменными аппаратами с жидкостным охлаждением из алюминиевой плиты толщиной 25 мм с фрезерованными каналами. Термическое сопротивление такого аппарата при расходе воды 0,8 м<sup>3</sup>/ч с температурой 32°C составляет R<sub>t</sub>=0,0127 К/Вт, гидравлическое сопротивление потоку жидкости Δр=4,4кПа.

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о возможности использования разработанной установки в качестве охладителя для судовой продовольственной камеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков Ю.Н., Аксенов С.С., Шульман В.М. Судовые термоэлектрические охлаждающие устройства. – Л.: Судостроение, 1972. – 192 с.
2. Анатычук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Термоэлементы. Элементная база термоэлектричества. – Киев: Институт термоэлектричества, 2003.– 376 с.

ӘОЖ 637.1

### СҮТ ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ПРОДУЦЕНТЕРІНЕ ӨСУІНЕ ЖӘНЕ ДАМУЫНА ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ ОҚЫП ҮЙРЕНУ

*Мирашева Г.О.<sup>1</sup>, к.т.н., Какимова Ж.Х.<sup>2</sup>, к.т.н., Байбалинова Г.М.<sup>3</sup>, к.т.н.,  
Айтахметова Ш.А.<sup>4</sup>, студент  
ГУ имени Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан*

Сүт қышқылын алу негізгі шикізат көзі сүт кәсіпорындарында жанама өнім – сарысу болып табылады, ол негізінен кәсіпорындарында канализацияға төгіледі. Сүт қышқылын сүт сарысуынан алу процесі лактоза ашыту есебінен жүзеге асырылады, ол сүт сарысуында үлкен мөлшерде болуы [1].

Жұмыстың мақсаты: сүт сарысуынан сүт қанты ашу негізінен сүт қышқылын алу технологиясын әзірлеу.

Осы мақсатты орындау үшін сүт қышқылының продуценттеріне штамм таңдау және продуценттің өсу ынталандырушы заттарды таңдау міндет қойылды.

Осы жұмыста зерттеу объектілері: сүт сарысуы, сүт қышқылы, *Lactobacillus delbrueskii*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus Plantarum*, *Lactobacillus casei subsp.casei*, пастерленген солод сабақтары, солод сабақтарының экстрактысы, екі ауыстырылған фосфорлық қышқылды натрий.

Сары суды ашытуға дайындау кезінде тәжірибелерде сүт қышқылының продуцентіне арналған тағамдық және өсу ынталандырушы заттардың көзі ретінде әр түрлі қосымша компоненттер қолданған: пастерленген солод сабақтары, солод сабақтарының экстрактысы, екі алмастырылған фосфорлық қышқылды натрий [ 2 ].

Лактозаның ашу жылдамдылығына әр түрлі тағамдық және өсу ынталандыру заттардың әсерін сипаттайтын деректері 1 кестеде көрсетілген.

Ашыған орта көлеміне 10 % мөлшерінде енгізілген солод сабақтарын және солод сабақтарының экстрактысын қолдану кезінде жақсы нәтижелерге қол жеткізгеніміз тағайындалды. Бірақ, солод сабақтарын қоректі ортаға енгізуі қолайсыз жағдайға әкеледі. Себебі, ашыту процесі біткен соң бұл тұнбаның үлкен көлеміне болуына әкеледі. Зерттелген қосымша компоненттерінің ішінен екі ауыстырылған фосфорлық қышқылды натрий таңдалды. Өйткені ол лактозаның ашу жылдамдылығын нәтижелерін жақсартады және сүт қышқылды бактериалардың дамуына қолайлы жағдайлар (рН 5,2-5,6) жасайды. Лактоза ашыту процесіне ынталандыру әсерін тигізетін екі ауыстырылған фосфорлық қышқылды натрийдің дозасы тәжірибелік жолымен анықталған. Нәтижелері 1, 2 кестелерде көрсетілген.

Кесте 1 – Әр түрлі өсу ынталандыру арқылы сүзбе сарысуында лактозаны сүтқышқылды бактериалармен ашыту жылдамдылығы

Өсу ынталандыру заттың атауы	Лактозаны ашыту жылдамдылығы, г/(л·ч)
1	2
Пастерленген солод сабақтары (орта көлеміне 10%)	0,25±0,02
Солод сабақтарының экстрактысы	0,21±0,03
екі ауыстырылған фосфорлық қышқылды натрий	0,19±0,01

Ферментация тәртібі және қоректік ортаның тиімді құрамы кезінде әртүрлі шикізатты қолдану өндірістің эффектісі шамды қолданумен анықталады. Продуцентке қойылатын негізгі талаптар болып – массаға қанттың енгізілуі мен ферментацияның жоғарғы жылдамдығы дайын өнімнің көп мөлшерде шығуы мүмкін.

Кесте 2 – Екі ауыстырылған фосфорлықшқылды натрийдің әр түрлі мөлшерімен сүзбе сарысуының лактозасын сүтқышқылды бактериалармен ашыту жылдамдылығы

Екі ауыстырылған фосфорлықшқылды натрийдің ортадағы мөлшері,%	Лактозаны ашыту жылдамдылығы,
0 (Бақылау)	0,11±0,02
0,5	0,14±0,01
1,0	0,15±0,02
2,0	0,19±0,01
3,0	0,17±0,02

Осы және басқа да мөлшерде сүт қышқылын продуцирлейтін микроағзалар көптеген таксономикалық топтар арасында кездеседі. Бірақ сүт қышқылының жоғарғы синтезін сіңіретін культураларды табу қиын, қоршаған ортаға орташа кезеңді жоғарылататын, сонымен қатар оны мөлшері бойынша синтездейтін еді. Берілген жұмыста продуценттерді таңдауда негізгі таңдау принциптерін ұстанған, олар онда штаммдар келесі талаптарға жауап берілуі тиіс: массаға қанттың енгізілуі және оны жылдам ферменттеу сүт қышқылының көп мөлшерде шығуын беруі мүмкін, жоғарғы өсу жылдамдығы және сыртқы әсерлерге төзімді болады [3].

Культураны таңдауда сүт сарысуының қоректік ортасы ретінде қолдану арқылы жүзеге асырады. Сүт қышылын түзу қабілетінде әр түрлі таксономикалық топтардағы (ашытқылар, саңырауқұлақтар және сүт қышқылды бактериялар) микроағзалардың 8 штаммдары зерттелді. Жалғыз түрлі микроағзаларды культивирлеу біркелкі талапта зертханалық колбаларда жүргізілді. Сүт қышқылының жақсы продуцентін таңдау мақсатында зертханадағы культура коллекциясынан алынған сүт қышқылды бактерияларының штаммдары зерттелді. Барлық культуралар *Lactobacillus* туысына қатысты, бірақ температуралық тәртіп қарым қатынасымен ерекшеленеді. Осы есеп бойынша сүт сарысуына ферментация процесі жүргізіледі. Культивирлеуді 100 мл колбада жүргізді, барлық нұсқауларда сүт қышқылында лактозаның алдыңғы концентрациясы 5% құрады. Екі ортада да қышқылдың ортаға жиналу мөлшері оның көмірқышқыл кальцийдің бейтарап енгізуімен байланысты. Ферментациядан кейін тура титрлеу әдісімен сүт қышқылын қайта есептеуде ортаның ортақ қышқылдылығын анықтау жүргізілді. Продуцентті таңдау нәтижелері 3 кестеде көрсетілген.

Кесте 3 – Сүт сарысуында культивирлеуде сүт қышқылының продуцент культураларын таңдау

Микроағзалар	t, °C	Сүт қышқылының шығуы, %
		Сүт сарысуы
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> «ВД»	48	35,0
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> 52	48	30,0
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ВКМ 1596 (Т)	48	35,0
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ОКМ 1596	48	34,5
<i>Lactobacillus acidophilus</i> ВКМ 1660 (Т)	48	50,0
<i>Lactobacillus Plantarum</i> 314	37	45,0
<i>Lactobacillus Plantarum</i> ВКМ 578	37	50,0
<i>Lactobacillus casei</i> subsp. <i>casei</i> ВКМ 516	37	42,0

Сүт қышқылды бактериялардан сүт қышқылынан шығуынан тең немесе 50%-ке жоғары лактоза қосылған үш культура байқалды.

Кестеде сүт қышқылын белсенді түзетін екі штамм – *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 және *Lactobacillus plantarum* ВКМ 578 көрсетілді. *Lactobacillus delbrueckii* “ВД” культурасы мелассалы ортада және бақылау кезінде сүт қышқылы өндірісінде индустриялы штамм болып табылады. *Lactobacillus plantarum* ВКМ 578 культурасын нақтылап оқығанда оптимальды емес жағдайда 92% лактоза қосылған сүт қышқылының шығуы да жинақталатынын көрсетеді.

Сүт сарысуына сүт қышқылының продуцентін соңғы таңдауда ашытылған көмірсуда барлық таңдалған культураның анализ спектрі негізінде өндірді. Ол үшін әдебиет көзіндегі биохимиялық

негіздегі продуценттерді, яғни экспериментті жұмыстар негізінде зертханалық жағдайдағы культураны қолданды.

Әр түрлі қантты ашыту спектрін анықтау сутартылған суда минералды ортада келесі құраммен жүргізілді, г/л:  $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$  – 1,0;  $\text{MgSO}_4$  – 0,5; ашытқы автолизаты - 0,1. Ортаны 10 мл сынамаларға құйып, 2% концентрациялы зерттелетін қанттардың бірін қосады және әрбір сынамаға бірдей мөлшерді суспензия түрінде бактерияны жасушаны енгізді.

4 кестеде көмірсуды *Lactobacillus* текті тандалған культурамен ашыту көрсетілген.

Кесте 4 – Көмірсуды *Lactobacillus* текті түрлерімен ашыту

	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>
Фруктоза	+	+	+
Галактоза	+	+	+
Лактоза	-	+	+
Мальтоза	+	+	+
Манноза	+	+	+
Сорбит	-	-	+
Сахароза	+	+	+

Зерттеу барысында *Lactobacillus acidophilus* культурасының сүт сарысуы негізінде сүт қышқылының продуценті ретінде қатты келетіні анықталды, себебі, ол лактозаны ашыту қабілетіне ие. *Lactobacillus plantarum* культурасы әр түрлі бай табиғи ортада (алма, жүзім, әр түрлі жемістік және көкөністік қалдықтарда) сүт қышқылының продуценті ретінде қолданылуы мүмкін, себебі, кең ауқымды көмірсуды спектрін ашытады. *Lactobacillus delbrueckii* культурасы индустриялы штамм болып табылады. Ол қазіргі кезде дәстүрлі технология бойынша қант қосылған субстратты сүт қышқылына дейін ашытады.

Осы үш культурамен сарысудың барлық түрлеріне эксперимент жүргізілді – жарықтандырылмаған, жарықтандырылған және ультрафилтратты. Тәжірибенің көрсеткіші 5 кестеде көрсетілген.

Кесте 5 – Әр түрлі сарысудан сүт қышқылының шығуы

Культура	Сарысу түрі	Сүт қышқылы	
		г/л	Шығуы, %
<i>Lactobacillus acidophilus</i> ВКМ 1660 T=48 <sup>0</sup> C	Зауытты	25,5	55,2
	Жарықтандырылған	40,0	86,6
	Ультрафилтратты	36,4	78,8
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> “ВД” T=32 <sup>0</sup> C	Зауытты	26,0	56,3
	Жарықтандырылған	43,0	93,1
	Ультрафилтратты	37,0	80,0
<i>Lactobacillus plantarum</i> ВКМ 578 T=32 <sup>0</sup> C	Зауытты	29,0	62,8
	Жарықтандырылған	43,0	93,1
	Ультрафилтратты	39,5	85,5

Қышқылтүзуші культураны салыстырмалы талдау үшін ары қарай жұмыс кезінде сүт қышқылының продуценті ретінде *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 культурасын қолданды, олар сарысудың барлық түрлерінде сүт сарысуын жоғары шығыммен түзеді.

Продуцентті нақты және соңғы рет таңдау үшін осы культуралардың ашыту белсенділігін анықтау мақсатында жұмыс жүргізілді. Эксперимент нәтижесінде *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 культурасы басқа екі культурамен салыстырғанда мықты ашыту белсенді екені көрсетілді. Метилен көкпен түссіздендіру 20 минут суспензия бактериясын инкубирлеу 50<sup>0</sup> C температурада термостатта жүргізілді, ал *Lactobacillus plantarum* ВКМ 578 де түссіздендіру процесі 30 мин болса, ал *Lactobacillus delbrueckii* “ВД” 50 мин байқалады.

Осы факторларды, яғни сүт сарысуында жақсы өсу, сүт қышқылының жоғары шығымдылығы және жоғары ашыту белсенділігін ескере отырып, ары қарай келесі зерттеулерге *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 культурасы таңдап алынды.

Сүт қышқылды бактерияның қышқылтүзуші культура процесінде егін материалының жасын анықтаудағы әсерін тәжірибелі колбаға тең мөлшерде жасуша концентрациясын 1 мл-ге  $2 \cdot 10^7$  енгізді.

Ол келесідей жүргізілді. 250 мл солод суслосы бар колбаға сүт қышқылды бактерия культурасынан бір сынама қосып егін жүргізді, 37<sup>0</sup> С температурада термостатқа қояды. Біраз уақыт өткеннен кейін (12, 24, 36 сағ өткеннен кейін және т.б.) жасуша санын есептеп, таңдаулы концентрацияға дейін жеткізді және 10% лактоза қосылған тәжірибелі колбаға енгізді.

Эксперимент нәтижесі 6 кестеде көрсетілген.

Кесте 6 - Культура өсуінің динамикасында сүт қышқылы синтезінен егін материалы өсуінің әсері

Культура жасы, сағ	Сүт қышқылы, %					
	Культивирлеу уақыты, тәул					
	0	1	2	3	4	5
12	0,15	0,2	1,6	2,5	3,8	5,0
24	0,15	1,6	2,2	3,8	6,0	8,2
36	0,15	2,2	4,1	6,5	8,6	9,0
48	0,15	2,4	4,8	7,0	8,8	9,5
60	0,15	2,0	4,2	6,8	8,1	9,2
72	0,15	2,0	3,6	6,0	7,7	8,8
96	0,15	2,0	2,8	5,0	6,8	8,2

Анықталған деректемелерден көрсетілгендей, культурадағы қышқылтүзуші белсенділік 36-60 сағ егілген егін маериалында екені анықталды, бірақ оның максималды белсенділігі 48 – сағ егілген культурада көрсетіледі.

Ферментационды процесс жақсы жүргізілуі үшін егін материалының сапасы мен мөлшері үлкен роль атқарады. Егін материалының негізгі көрсеткіші болып, популяциясының біртектілігі және культура жасын анықтайтын жоғары қышқылтүзуші белсенділік болып табылады.

Келесі этап болып көп мөлшерде сүт қышқылын алу мақсатында егін материалының концентрациясын таңдау болып табылады. Ол үшін тәжірибелі колбаға егін материалының әр түрлі концентрациядағы 48 сағаттық *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 енгізді. Ортадағы лактоза мөлшері 10%. Тәжірибе көрсеткіші 7 кестеде көрсетілген.

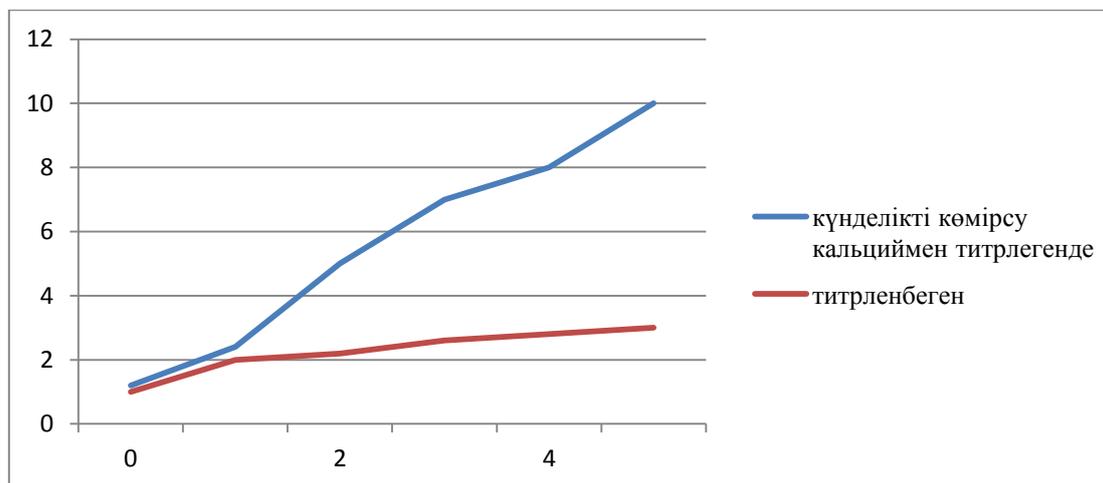
Кесте 7 – Сүт қышқылы жиналу динамикасында егін материалы концентрациясының әсері

Егін материалдың дозасы, %	Сүт қышқылы, %			
	Культивирлеу уақыты, тәул.			
	2	4	6	8
5	1,6	4,8	8,0	8,8
10	2,4	5,6	8,2	9,0
20	3,8	8,6	9,2	9,5
30	4,0	8,8	9,6	9,7
50	2,6	7,4	8,6	9,2

Кестеде жоғары көрсеткіш болып қышқылды жинау кезінде 30 % дозалық егін материалын қолдану тиімді болатыны анықталған. Осы көрсеткішке байланысты қышқылтүзуші процессте ауытқулар байқалады, себебі, қоректік ортаның барлық компонентінде ингибирленген жасуша метаболизмінің дефицитіне әкеледі.

Сол себепті, көп мөлшерде сүт қышқылының шығуы 20 %-ы дозалық егін материалында, 48 - сағаттық орта көлемінде жақсы көрсеткіш байқалады.

Сүт қышқылды бактериялар орта қышқылдығына әсер етеді, олардың өсуі жоғары қышқылдылықпен ингибирленеді. Сүт қышқылын ашытқанда сүт қышқылды бактериялар 2,2% сүт қышқылын жинауы мүмкін (Сурет 1). Ерітіндіде 2,5% сүт қышқылының болуы бактерия өсуін шашыратуы мүмкін, сондықтан ашыту процесі кезінде пайда болған сүт қышқылын периодты түрде лактат кальциямен ауыстырып, көмірсулы кальциймен бейтараптандырады.



Культивирлеу уакыты, тәул.

Сурет 1 – *Lactobacillus acidophilus* культурасын сүт қышқылдың жиналуымен динамикасы

Сүт сарысуында культивирлеу шартын таңдау, таңдалған культура жақсы өседі және күнделікті титрлеу барысында сүт қышқылын көп мөлшерде жинайды. Ал титрлемеген кезде сүт қышқылы бактериясының өсуі 2,0% сүт қышқылының жиналуымен бәсеңдейді. Әр түрлі титранттар (20%-ты КОН, NaOH, NH<sub>4</sub>OH, CaCO<sub>3</sub>, CaO) олар бірдей жүреді. Титрлеуді бос қышқыл пайда болғанша дейін 0,2-0,5% ортада рН=5,0-5,5 сәйкесінше жүргізу керек. Сүт қышқылды бактерия культурасын өсіруі анықталған және сүт қышқылын жиналу процесі 6 тәулікке созылады.

Откізген зерттеу нәтижелер бойынша сүт сарысу продуценттерін өсуін ынталандыру үшін - екі ауыстырылған фосфорлыққышқылды натри таңдалды. Продуцент мөлшері мен штаммы таңдалды - *Lactobacillus acidophilus* ВКМ 1660 20 % мөлшерде. Зерттеу нәтижелері бойынша сүт сарысуынан сүт қышқылын алу технологиясы әзірленеді. По результатам дальнейших исследований будет разработана технология получения молочной кислоты из молочной сыворотки.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. <http://abercade.ru/research/analysis>
2. Красникова Л.В. Управляемое культивирование лактобактерий в биотехнологии препаратов и продуктов питания.: дис. ... докт.техн.наук: 03.00.23 : защищена 04.11.98.
3. Точилина А.Г. Биохимическая и молекулярно-генетическая идентификация бактерий рода *Lactobacillus*.: дис. ... канд.биол.наук: 03.00.04 : защищена 17.03.09.

УДК 536.248.2: 532.529.5

#### СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

*Дорошенко А.В., д.т.н., Младёнов И.Ю., аспирант  
Одесская национальная Академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: mladyonov.ivan@gmail.com, dor\_av@i.ua*

Сопряженные проблемы энергетики и экологии интенсифицируют поиск альтернативных решений в области холодильных и кондиционирующих систем. Испарительные охладители могут использоваться как автономно, так и в составе солнечных осушительно-испарительных систем, основанных на открытом теплоиспользующем абсорбционном цикле, где предварительное осушение воздуха обеспечивает высокую эффективность последующего испарительного охлаждения сред в холодильных системах (СХС) и термовлажностную обработку воздуха в системах кондиционирования (ССКВ) [1]. Разработанные решения для охладителей охватывают нужды энергетики, химической и пищевой технологий и позволяют решать задачи охлаждения, не прибегая

к традиционной парокомпрессионной технике. Это позволяет существенно улучшить эко-энергетические показатели СХС и ССКВ.

### 1. Солнечные многофункциональные системы

Основная концепция создания солнечных многофункциональных теплоиспользующих установок тепло-хладоснабжения и кондиционирования воздуха включает следующие позиции: – многофункциональные солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной части в составе абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор, и охлаждающей части, в составе испарительных воздухоохладителя прямого (ПИО), или непрямого (воздухоохладитель НИО) типов; – поддержание непрерывности цикла обеспечивает либо альтернативный возобновляемый источник энергии, либо традиционный источник, при этом источником тепла для работы десорбера-регенератора является солнечная система; – в солнечной системе используются плоские солнечные жидкостные коллекторы (СКЖ), с полимерными теплоприемниками и другими элементами конструкции (прозрачное покрытие, корпусная часть) [1].

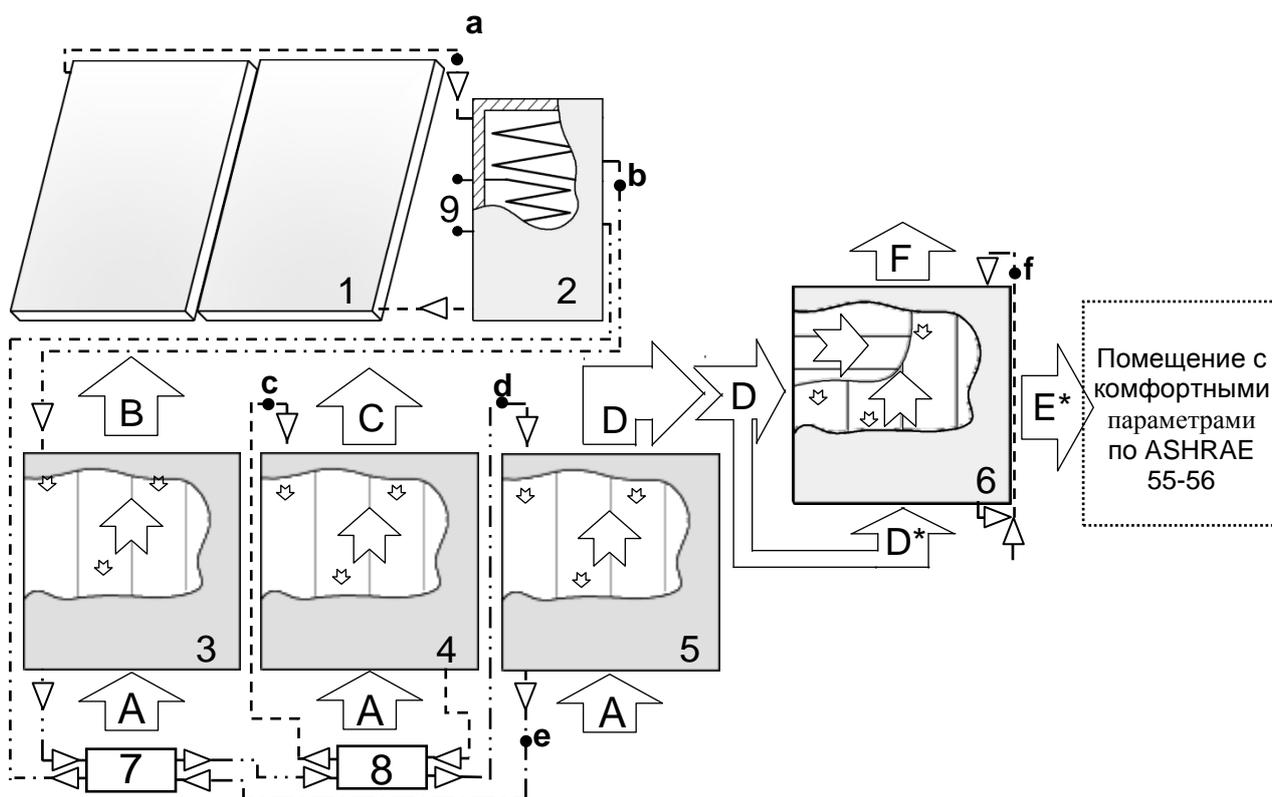


Рисунок 1 – Схема солнечной системы кондиционирования:

A – поток наружного воздуха; B – поток воздуха после десорбера; C – поток воздуха после технической градирни; D – поток осушенного воздуха после абсорбера; D\* – поток вспомогательного осушенного воздуха после абсорбера; E, E\* – поток продуктового воздуха в помещении; F – поток воздуха после НИОг; a – нагретый теплоноситель ССГВ; b – слабый нагретый раствор перед десорбером; c – теплоноситель технической градирни; d – концентрированный охлажденный раствор перед абсорбером; e – разбавленный раствор после абсорбера; f – постоянно циркулирующая вода; g – традиционный источник; 1 – полимерный солнечный коллектор; 2 – бак тепло-аккумулятор; 3 – десорбер; 4 – техническая градирня для охлаждения крепкого раствора; 5 – абсорбер; 6 – не прямой испарительный

Принципиальная схема разработанных солнечных систем представлена на рис.

#### 1. Схема включает:

- осушительный блок в составе абсорбера-осушителя (5) и десорбера-регенератора (3), солнечную систему, в составе солнечных коллекторов СКЖ (1) и бака-теплоаккумулятора (2), а также градирню технологического назначения, обслуживающую абсорбер (4);
- охлаждающий блок, в составе воздухоохладителей непрямого испарительного типа НИО (6).

Солнечная система обеспечивает реализацию процесса восстановления слабого раствора абсорбента, покидающего абсорбер-осушитель наружного воздуха, причем на линии горячего крепкого и холодного слабого растворов абсорбента установлен теплообменник (7). Бак-теплоаккумулятор (БТА), или непосредственно в ТМА осушительного контура может также включать дополнительный встроенный теплообменник 9 для компенсации колебаний солнечной активности и ветронагрузки в месте установки системы. Разработанная солнечная система может функционировать, получая тепло на регенерацию абсорбента от любого наличного источника низкопотенциального тепла.

## 2. Разработка полимерного плоского солнечного коллектора

Переход плоских солнечных коллекторов с металлической конструкцией абсорбера на полимерный материал, обеспечивает снижению стоимости и веса ССГВ. Также, переход на полимерный материал способствует укреплению озонового слоя Земли, путем уменьшения вредных выбросов от производства металлического абсорбера.

В Одесской государственной академии холода (ОГАХ) выполнялись разработки и исследования СКж, для совершенствования их характеристик была выполнена следующая идеология развития конструктивных решений:

- первым шагом была замена стеклянного прозрачного покрытия (ПП) на многоканальную полимерную плиту (рис. 2);

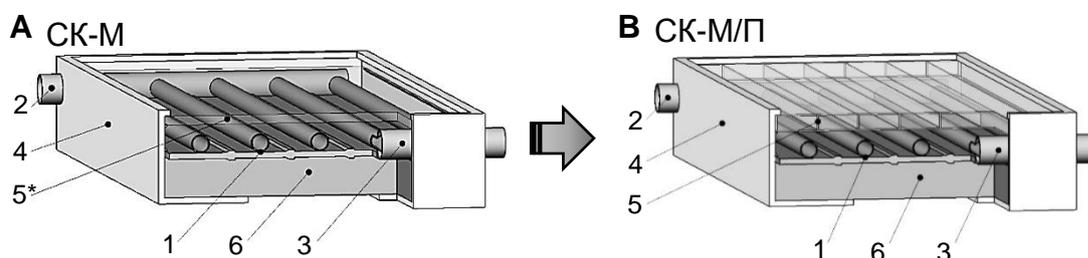


Рисунок 2 – Традиционный СК (А) и метало-полимерный СК (В): 1 – абсорбер; 2,3 – гидравлические коллектора; 4 – корпус; 5 – полимерное ПП; 5\* – ПП из стекла; 6 – нижняя теплоизоляция

- дальнейшее усовершенствование плоских СКж, заключалось в переходе на полимерные материалы в дизайне абсорбера, путем замены традиционного трубного регистра СК (с оребрением или без оребрения) на многоканальную полимерную плиту в конструкции абсорбера (рис. 3) [2];

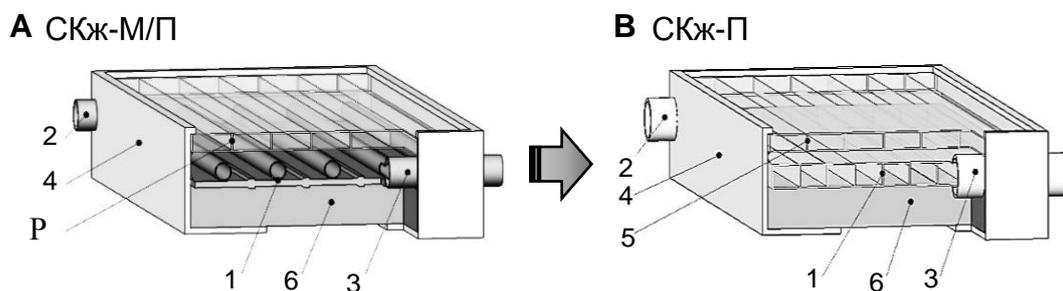


Рисунок 3 – Метало-полимерный СКж (А) и полимерный СКж с воздушным зазором (В): Обозначения см. на рисунке 4

- устранение традиционного воздушного зазора в СК-П, что позволило новому типу прозрачного покрытия, в известной мере выполняющий роль традиционного воздушного зазора в подавлении конвективных и радиационных потерь (рис. 4) [2].

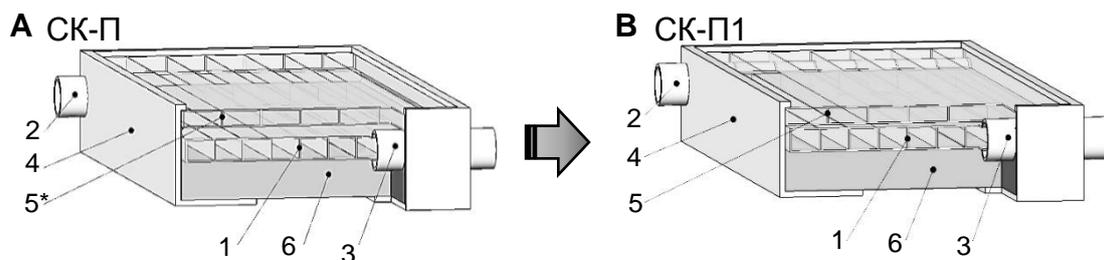


Рисунок 4 – Полимерный СК с воздушным зазором (А) и полимерный СК без традиционного воздушного зазора (В): Обозначения см. на рисунке 4

Как показали экспериментальные сравнения солнечных коллекторов на основе полимерных материалов [1-3,5,6], разработанных в ОГАХ, серьезной проблемой перехода СК на полимерный материал абсорбера является, неравномерное распределение теплоносителя в каналах абсорбера, которое приводит к деформации абсорбера и разрушению нижней теплоизоляции. Проблема неравномерности распределения теплоносителя подтверждается зарубежными публикациями [4,5], как на металлической конструкции абсорбера, так и на полимерной.

Данная проблема может привести к перегреву теплоносителя в каналах с низким расходом жидкости и, в случае использования полимерных материалов, к «температурному шоку», приводящему к опасности разрушения основных элементов конструкции СКж-П и выхода СКж из работоспособного состояния.

Дальнейшее совершенствование плоских жидкостных СКж-П основывается на следующих решениях:

-переход от двухъярусной (четырёхстенной) композиции ПП-абсорбер, состоящей из отдельных многоканальных поликарбонатных плит (рис. 5 А,В) к единому двухъярусному (трехстенному) моноблоку из многоканальных поликарбонатных плит (рис. 5С), что устраняет дополнительное термическое сопротивление на границе состыковки абсорбера и ПП и обеспечивает необходимую жесткость и надежность всей структуре СКж-П;

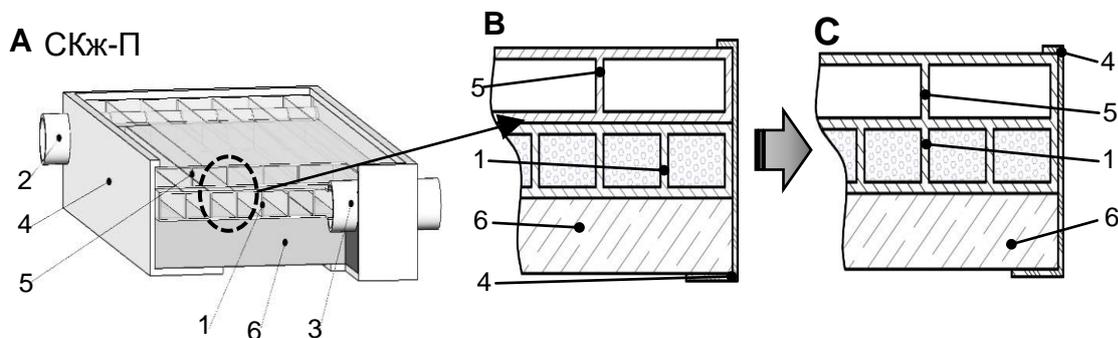


Рисунок 5 – Полимерный плоский СКж без традиционного воздушного зазора (А,В), с модернизацией абсорбера и ПП в единую двухъярусную моноблочную многоканальную плиту (С): Обозначения см. на рисунке 4

Переход на оформление дизайна абсорбера СКж-П в виде многоканальных полимерных плит с линейным изменением ширины рабочего канала, для увеличения долговечности СКж-П, путем равномерного распределения рабочего вещества в каналах абсорбера (рис. 6).

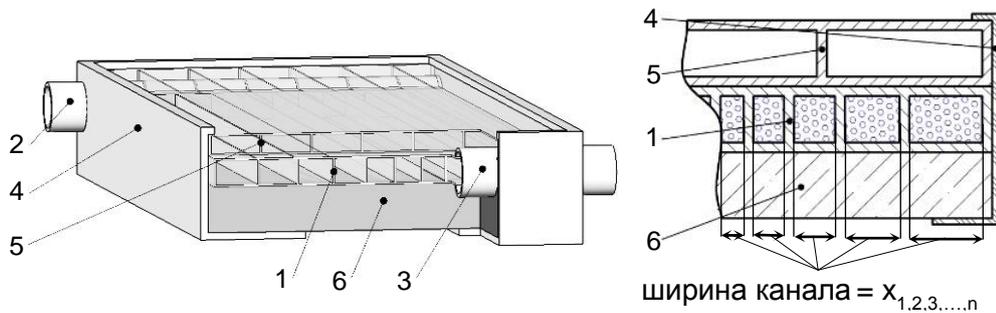


Рисунок 6 – Полимерный плоский СКЖ с линейным изменением ширины канала: 1 – абсорбер; 2,3 – гидравлические коллектора; 4 – корпус; 5 – полимерное ППС; 6 – нижняя теплоизоляция

### 3. Анализ проблемы неравномерности распределения теплоносителя

Ключевой задачей для жидкостных СКЖ-П, является проблема неравномерности распределения теплоносителя в каналах теплоприемника. Эта проблема усугубляется при переходе на полимерные материалы, поскольку неравномерность распределения теплоносителя приводит к критическим тепловым нагрузкам на части коллектора, что, наряду со снижением эффективности преобразования солнечной энергии в СКЖ-П, грозит к деформации и уменьшению срока эксплуатации основных элементов солнечного коллектора.

Авторами выполняется теоретическое и экспериментальное исследование проблемы неравномерности распределения теплоносителя в каналах теплоприемника [3]. Задача включает два основных раздела исследования: 1 - изучение проблемы неравномерности распределения теплоносителя по каналам теплоприемника (абсорбера) с идентичными каналами; 2 – влияние на повышение равномерности теплоносителя путем изменения размера каналов с учетом выявленной неравномерности в первой части исследований. При этом, наряду с варьированием геометрических размеров теплоприемника (изменением ширины канала), также изменяются диаметры гидравлических коллекторов.

В расчете распределения теплоносителя в каналах абсорбера, варьировались диаметры гидравлических коллекторов, от 15 мм до 30 мм, а также средняя скорость теплоносителя на входе в коллектор, от 0,5 м/с до 2 м/с. Для расчета распределения теплоносителя в каналах абсорбера с идентичным размером канала, были взяты основные, используемые, типы расположения гидравлических коллекторов, U-type и S-type. Расчет моделировался в инженерном приложении SolidWorks, на базе законов гидродинамики, были определены скорости теплоносителя в каждом канале. Замер скорости производился в трех точках по длине канала, начале, середине и конце, отступая от краев моноблочной многоканальной плиты по 50мм.

Из полученных результатов, можно сделать выводы:

1 - S-type расположение гидравлических коллекторов, на первый взгляд, более эффективнее, чем U-type. Так как, в U-type расположении зона стагнации больше чем у S-type.

2 - Максимальные скорости теплоносителя в каналах теплоприемника, присутствуют в каналах, находящихся вблизи выхода теплоносителя из теплоприемника.

3 - С увеличением диаметра гидравлических коллекторов, средняя скорость в абсорбере уменьшается и, следовательно, уменьшается общая зона стагнации теплоносителя в каналах с меньшей скоростью.

4 - В примере, минимального диаметра гидравлического коллектора, для уменьшения зоны стагнации, нужно увеличивать среднюю скорость теплоносителя через абсорбер. Следовательно, переход всей системы солнечного тепло-водоснабжения на большие скорости, что повлияет на увеличение потребляемой мощности насоса или переход на более производительные насосы, с плавным регулированием производительность, для регулирования скорости теплоносителя в зависимости от поры года и солнечной инсоляции.

Для обеспечения равномерного распределения теплоносителя в каналах абсорбера, а, следовательно, обеспечения защиты от перегрева полимерных частей СКЖ-П, необходимо провести расчеты с дифференцированным размером ширины канала абсорбера и определить оптимальные условия. Так же возможно обеспечение равномерности распределения, путем изменения дизайна гидравлических коллекторов, переход на конусную конструкцию гидравлических коллекторов, с

уменьшением диаметра коллектора, по ходу движения теплоносителя в нем. Не исключен вариант равномерного распределения, путем изменения характера потока теплоносителя, с помощью использования различных насадок в входном гидравлическом коллекторе.

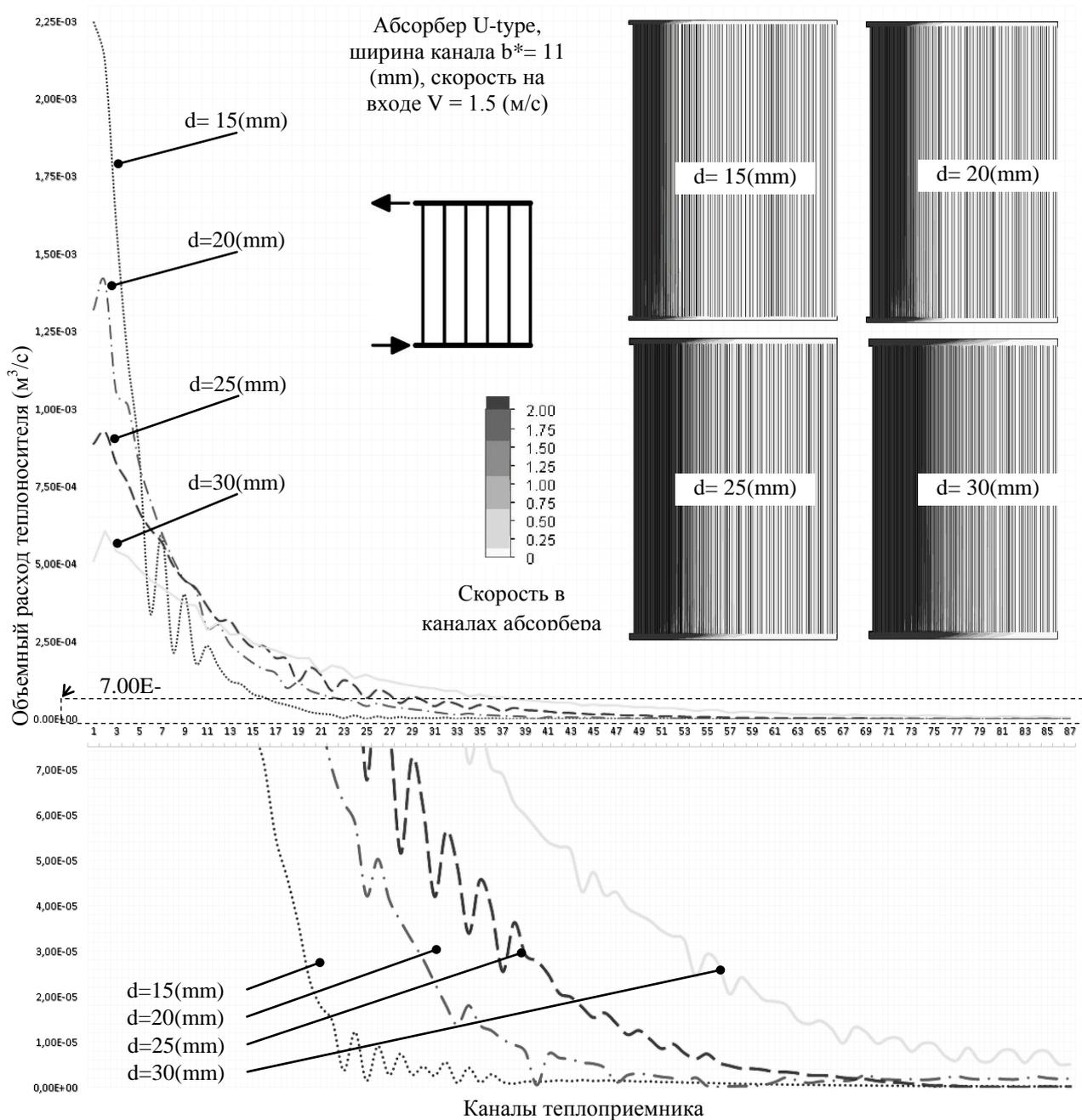


Рисунок 4 - Распределение теплоносителя, при  $V=1.5$  (м/с) на входе в U-типе абсорбер

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорошенко А.В. Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. - Одесса: ОНУ, 2012. - 446 с – ISBN 978-617-689-015-7
2. Guangming Chen Comparative field experimental investigations of different flat plate solar collectors / Guangming Chen, A.Doroshenko, K. Shestopalov, I. Mladionov, P. Koltun // Refrigeration engineering and technology.- 2015.- № Volume 51, Issue 2.
3. Дорошенко А.В. Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование плоских полимерных солнечных коллекторов / Дорошенко А.В. Младёнов И.Ю // Физика аэродисперсных систем.- 2015

4. A.Doroshenko Polymeric materials for solar energy utilization: a comparative experimental study and environmental aspects / A.Doroshenko, K. Shestopalov, I. Mladionov, V. Goncharenko, P. Koltun // Refrigeration engineering and technology.- 2016.- №Volume 52, Issue 3.- С.16-23.

5. J. Burch Low-Cost Solar Domestic Hot Water Systems for Mild Climates / J. Burch, C. Christensen, T. Merrigan, R. Hewett, and G. Jorgensen, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Blvd.; Golden, CO 80401

6. Jianhua Fan Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips // Jianhua Fan, Louise Jivan Shah, Simon Furbo. - Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Brovej, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark. - 2 March 2007

7. G. Martinopoulos CFD modeling of a polymer solar collector // G. Martinopoulos, D. Issirlis, G. Tsilingiridis, K. Yakinthos, N. Kyriakis. - Renewable Energy Volume 35, Issue 7, July 2010, Pages 1499–1508

8. Дорошенко А.В. Разработка многофункциональных абсорбционных систем на основе теплообменных аппаратов с подвижной насадкой // Дорошенко А.В., Гончаренко В.А., Младёнов И.Ю., Цапушел А.Н. // Международная научная конференция «Холодильная техника и технология», 15 ноября 2016 года. – Николаев

УДК 621.574

## **НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ТРИГЕНЕРАЦИИ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

*Морозюк Л.И., д.т.н., Гайдук С.В., к.т.н., Грудка Б.Г., аспирант*

*Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина*

*E-mail: lara.morozuk@mail.ru, bogdangennadievich@gmail.com, gayduck.sergei@yandex.ua*

Совместное производство электроэнергии и тепла (системы к генерации) давно и широко используют при утилизации сбросного тепла энергетических установок различной мощности [1].

Сложный термодинамический комплекс, называемый теплоиспользующей холодильной машиной, состоит из двух взаимосвязанных простых – тепловой и холодильной машин. Он давно признан способом уменьшения потребления материальных и природных ресурсов и источником экономии энергетических ресурсов [2].

Таким образом, объединение в единый комплекс системы к генерации и теплоиспользующей холодильной машины с производством трех полезных эффектов, названное тригенерацией, способно дать максимальный эффект экономии природных ресурсов [3].

Термину «тригенерация» можно дать следующее определение – процесс совместного производства электроэнергии, тепла и холода от одной энергетической установки, вырабатывающей электрическую и утилизируемую тепловую энергию, с теплоиспользующей холодильной установкой, вырабатывающей холод за счет потребления произведенной тепловой и незначительного количества электрической энергии.

Развитие систем тригенерации в энергетических установках связано, с одной стороны, с ростом цен на энергоносители и электроэнергию для эксплуатации крупных строительных объектов различного назначения и обеспечения технологических процессов промышленных предприятий с разным температурным уровнем производства, с другой стороны, с дефицитом электрических коммуникаций в большом количестве населенных пунктов.

Из существующих систем тригенерации выделяются в особую группу системы малой энергетики. Они наиболее востребованы, но имеют самую малую техническую информацию относительно развития.

Малая энергетика решает проблемы удаленных от централизованных энергетических систем населенных пунктов и независимых малых производств, в частности, сельскохозяйственных. Например, 60...70% территории Российской Федерации не охвачены централизованным энергоснабжением [4]. Реализованная в таких условиях система тригенерации малой энергетики способна повысить эффективность использования первичной энергии и отношение суммарной производимой мощности к массе используемого оборудования.

Решение о целесообразности применения систем тригенерации для конкретных потребителей с выбором рабочих параметров и характеристик блоков системы требует детального анализа и сбора данных относительно реальных величин термодинамического совершенства каждого блока. Эти данные могут быть получены из мониторинга действительных установок и развития современного производства.

Таким образом, целью работы является исследование возможности реализации системы тригенерации малой энергетической установки.

#### Схемы систем тригенерации

В малой энергетике тепло, производимое комбинированной энергосистемой, предназначается, главным образом, для отопления любых помещений. Период реальной потребности в тепле ограничивается временем года с низкой средней температурой наружного воздуха, к примеру, в странах с умеренным климатом. В то же время, существует значительная потребность в хладоснабжении для кондиционирования тех же помещений и хранения охлажденных продуктов в теплый период года. В данных случаях, имея комбинированную энергосистему, регенерированное тепло можно эксплуатировать в течение всего года [5].

В общем случае, энергетический баланс системы тригенерации можно представить математическим выражением:

$$Q_{пз} = Q_{эз} + (Q_{теп} / COP_{теп}) + (Q_{хол} / COP_{хол}) + Q_{ос} + Q_{д}, \quad (1)$$

где:  $Q_{пз}$  – первичная энергия,

$Q_{эз}$  – тепло, эквивалентное полученной электроэнергии,

$Q_{теп}$  – тепло, предназначенное для отопления,

$Q_{хол}$  – тепло, предназначенное для холодильной машины,

$Q_{ос}$  – обязательный сброс в окружающую среду,

$Q_{д}$  – деструкция энергии в системе,

$COP_{теп}$  – коэффициент энергетической эффективности теплового насоса (производство тепла);

$COP_{хол}$  – коэффициент энергетической эффективности холодильной машины (производство холода).

Для энергетической установки ур. (1) приобретает вид:

$$Q_{пз} = Q_{пз} + Q_{ос} + Q_{д} \quad (2)$$

Для системы когенерации соответственно:

$$Q_{пз} = Q_{пз} + (Q_{теп} / COP_{теп}) + Q_{ос} + Q_{д} \quad (3)$$

Степень утилизации тепла определяется его использованием по прямому назначению (отопление) для конкретного потребителя. Максимальное использование тепла связано с конструктивными особенностями системы отопления и характеризуется величиной  $Q_{д}$ , рис. 1.

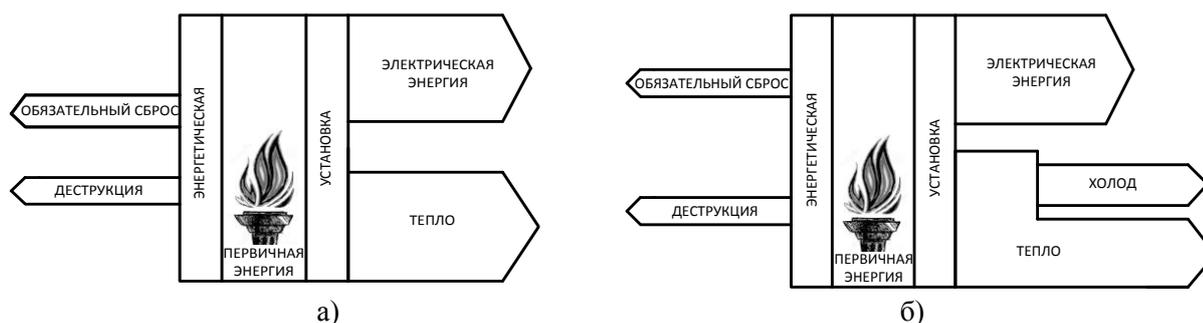


Рисунок 1 – Схемы энергетических потоков: а) системы когенерации; б) системы тригенерации

Для определения величин всех слагаемых в ур. (2, 3) следует учитывать широкое разнообразие энергетических установок (газопоршневые, газотурбинные, топливные элементы, дизель-генераторы, солнечные батареи и др.).

Наивысший электрический КПД – до 35 % – у газовой турбины, и около 45 % у газопоршневого двигателя достигается при работе под 100%-ной нагрузкой, а в режиме когенерации – около 85%. При снижении нагрузки до 50%, электрический КПД газовой турбины снижается почти в 3 раза. Газопоршневые установки применяются, когда требуется равное количество вырабатываемой тепловой и электрической энергий, а газотурбинные – когда необходимо вырабатывать в 2-2,5 раза больше тепловой энергии, нежели электрической [6].

У существующих топливных элементов электрический КПД составляет 35-60 %, в режиме когенерации – около 80% и выше [7]. Например, при самостоятельной эксплуатации электрическая

мощность твердооксидного топливного элемента составляет 60%, а общая тепловая мощность при когенерации – 85% [8]. Высокоэффективные и экологичные топливные элементы относятся к инновационным продуктам, и поэтому еще не получили достаточно широкого распространения.

В энергетических установках небольших установленных мощностей и в мобильных генераторных установках применяют дизель-генераторные жидкотопливные установки.

После анализа ур. (2-3) для последующих расчетов были выведены средние значения, характеризующие выработку электроэнергии и тепла когенерационной установкой:  $Q_{э} = 35\%$ ,

$$Q_{\text{теп}} = 50\%, (Q_{\text{д}} + Q_{\text{ос}}) = 15\%.$$

Тригенерация обеспечивает использование генерирующего устройства круглый год, тем самым не снижая высокого КПД энергетической установки. В летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле  $Q_{\text{теп}}$  падает, увеличивается потребность в холоде  $Q_{\text{хол}}$ .

Суммарное производство тепла и холода зависит от потребностей промышленного производства, а для сельского хозяйства его величина напрямую определяется климатическими условиями, в которых находится конкретное производство, и родом его производственной деятельности, при этом важное влияние оказывают сезонные и суточные колебания температуры наружного воздуха. Таким образом, второе и третье слагаемые в ур. (1) изменяются в соответствии с потребностями производства при сохранении общего энергетического баланса.

В системе главной является энергетическая установка (ЭУ) с производством электроэнергии (ЭЭ). Первичной энергией (ПЭ) является топливо (твердое, жидкое, газообразное, биогаз и т.д.).

Система имеет два обязательных сброса в окружающую среду (ОС) – в энергетической установке и холодильной, и внутренние необратимые потери в системе – Д (деструкция энергии). Соотношение производительностей полезных эффектов системы тригенерации полностью определяется термодинамическим совершенством энергетической установки.

Высокотемпературное тепло используется для получения двух термических эффектов – тепла (ТЕП) и холода (ХОЛ). Для получения холода расходуют часть вырабатываемого тепла, а систему комплектуют теплоиспользующей холодильной машиной, например, абсорбционной.

Теоретически тригенерация дает возможность преобразовывать в холод до 80% тепловой мощности когенерационной установки, что значительно увеличивает ее КПД и повышает коэффициент ее мощностных ресурсов.

Соотношение производительностей и температурных режимов установок производства тепла и холода полностью определяются конкретным потребителем.

Схематически энергетические потоки новых технических решений системы тригенерации представлены на рисунке 2.

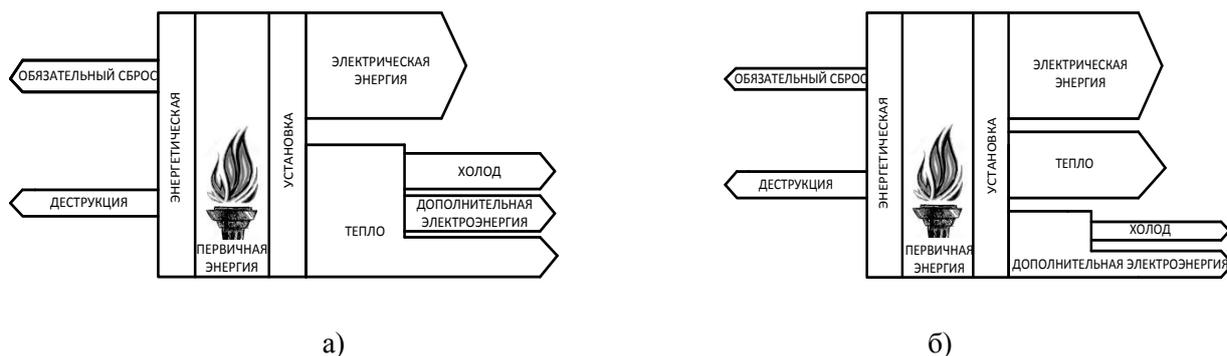


Рисунок 2 – Схемы энергетических потоков систем тригенерации: а) с преобразованием части утилизированного тепла в холод и дополнительную электроэнергию; б) с преобразованием дополнительной электроэнергии в холод

В такой системе утилизированное тепло используется для получения трех эффектов – холода (ХОЛ), тепла (ТЕП) и дополнительной электроэнергии (ДЭЭ). Для получения холода систему комплектуют теплоиспользующими холодильными машинами ( абсорбционными, эжекторными или компрессорными).

Энергетический баланс системы тригенерации (рис.2) может быть записан следующим образом:

$$Q_{\text{из}} = Q_{\text{э}} + Q_{\text{э}}^* + (Q_{\text{теп}} / \text{COP}_{\text{теп}}) + (Q_{\text{хол}} / \text{COP}_{\text{хол}}) + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{д}} \quad (4)$$

где  $Q_{33}^*$  – дополнительная электроэнергия, полученная при использовании утилизированного тепла.

В системе полученная дополнительная электроэнергия может пойти на производство холода, тогда систему комплектуют парокompрессорной холодильной машиной (рис.2б). В парокompрессорной машине можно использовать различные низкокипящие рабочие вещества: природные и синтезированные, чистые и смеси. Обязательным условием работоспособности системы является баланс – количество дополнительной электроэнергии  $Q_{33}^*$  больше или равно необходимой для работы холодильной машины ( $Q_{хол} / COP_{хол}$ ).

Рассмотренные системы включают главную энергетическую установку (ЭУ) со своим рабочим веществом, отличающимся от рабочего вещества холодильной машины. Как следствие, в теплоиспользующей холодильной машине максимальная температура генерации полностью зависит от свойств рабочих веществ как энергетической, так и холодильной: для абсорбционных бромистолитиевых –  $90...120^\circ\text{C}$ , для абсорбционных водоаммиачных –  $180^\circ\text{C}$ , для компрессорных и эжекторных с рабочими веществами типа HCF и HCFC – до  $250^\circ\text{C}$ .

Сформируем схемы систем тригенерации, энергетические потоки которых представлены на рис. 1-2.

Схема современной системы тригенерации, которая широко представлена на мировом энергетическом рынке, показана на рис. 3.

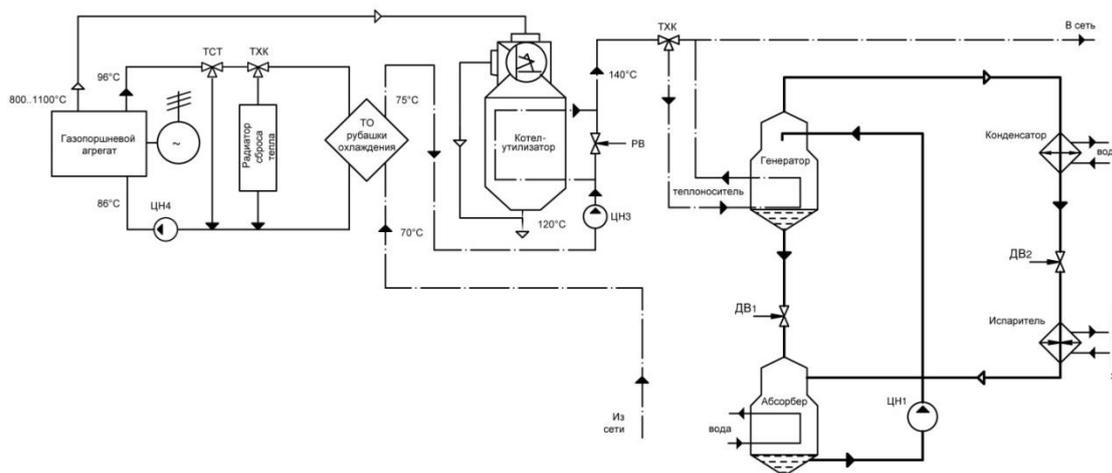


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы тригенерации с абсорбционной холодильной машиной

Система состоит из главной энергетической установки с котлом-утилизатором для получения тепла и абсорбционной холодильной машины. Газопоршневой агрегат работает на природном газе и вырабатывает электроэнергию. Обязательным сбросом являются отработавшие дымовые газы при температуре около  $480^\circ\text{C}$ . Они направляются в котел-утилизатор для получения горячей воды с температурой на уровне  $90^\circ\text{C}$ , тем самым обеспечивая нужды потребителя в отоплении. При необходимости часть горячей воды из котла-утилизатора отбирается для работы теплоиспользующей холодильной машины. Если холод необходим для кондиционирования и/или получения технологической воды на уровне  $7^\circ\text{C}$ , целесообразно комплектовать систему с бромистолитиевой установкой [9]. Если существует потребность в низкотемпературном хранении продуктов или производственном технологическом процессе, целесообразно использовать водоаммиачную холодильную машину [10]. Системы выпускает фирма Thermax [11].

Новым предложением следует считать схему, представленную на рис. 4.

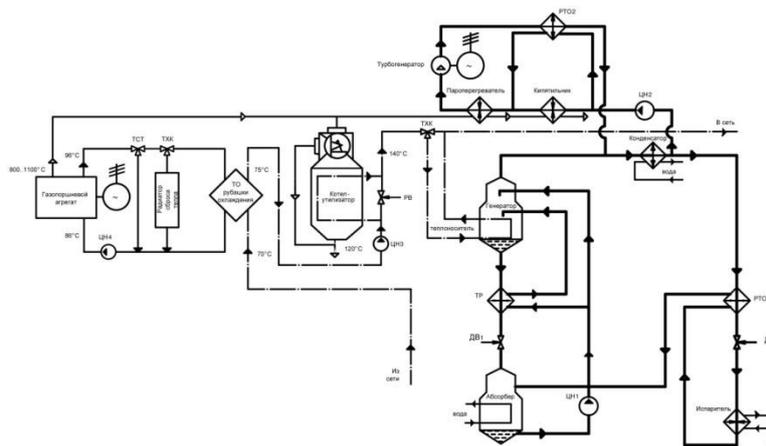


Рисунок 4 – Принципиальная схема системы тригенерации с дополнительным производством электроэнергии

Горячие отработанные газы с температурой **800...1100**°С разделяются на два потока. Первый поток направляется в котел-утилизатор, где работает по прямому назначению - получение горячей воды с температурой **140**°С. Горячая вода поступает в генератор абсорбционной водоаммиачной машины, обеспечивая производство холода.

Для получения дополнительной электроэнергии (ДЭЭ) в схеме предусмотрены самостоятельные контуры циркуляции: второго потока отработанных газов высокой температуры и части потока хладагента, отобранной после конденсатора абсорбционной машины. В результате теплового взаимодействия этих потоков осуществляется цикл Ренкина с паровой турбиной [12]. Энергетические потоки, соответствующие представленной схеме, демонстрирует рис. 2а.

Условиями для работы абсорбционной машины в составе системы тригенерации могут быть:

- широкий интервал температур греющего источника, которым является промежуточный теплоноситель котла-утилизатора, преимущественно вода;
- широкий интервал температур производства холода;
- возможное различное сочетание температурных режимов работы потребителей тепла и холода в системе;
- возможность значительного подогрева охлаждающей среды в процессах отвода тепла в элементах холодильной машины.

С этих позиций следует рассмотреть принципиальное отличие резорбционной от обычной абсорбционной машины, которое определяет преимущества первой в составе системы тригенерации (рис. 5). Все четыре процесса фазовых превращений рабочего вещества происходят при переменных температурах: производство холода в дегазаторе и отдача тепла охлаждающей среде в резорбере резорбционной ступени, а также в генераторе и абсорбере. Эта особенность решающим образом влияет на термодинамическое совершенство машины и определяет область рационального применения, которой, в частности, является рассматриваемая система [13].

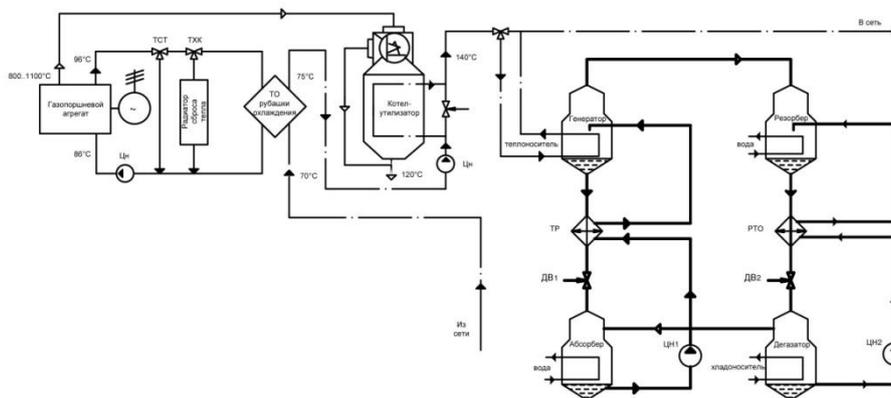


Рисунок 5 – Принципиальная схема системы тригенерации с абсорбционно-резорбционной холодильной машиной

Еще одним важным фактором, влияющим на выбор резорбционной машины, является рабочее давление в аппаратах. Низкое давление в машине определено температурой кипения в дегазаторе, а высокое давление в генераторе и резорбере является независимой величиной. Его выбор определяет все характеристики машины: тепловые нагрузки на аппараты, энергетическую эффективность и эксплуатационную надежность.

Компрессорные машины составляют особую группу в классе теплоиспользующих холодильных машин. Термодинамический цикл Чистякова-Плотникова осуществляется на низкокипящих рабочих веществах с использованием агрегата «турбина-компрессор» (оба компонента – представляют турботехнику) [14].

На основании проведенных теоретических исследований [15] предлагается новое техническое решение системы тригенерации, схема которого изображена на рис. 6.

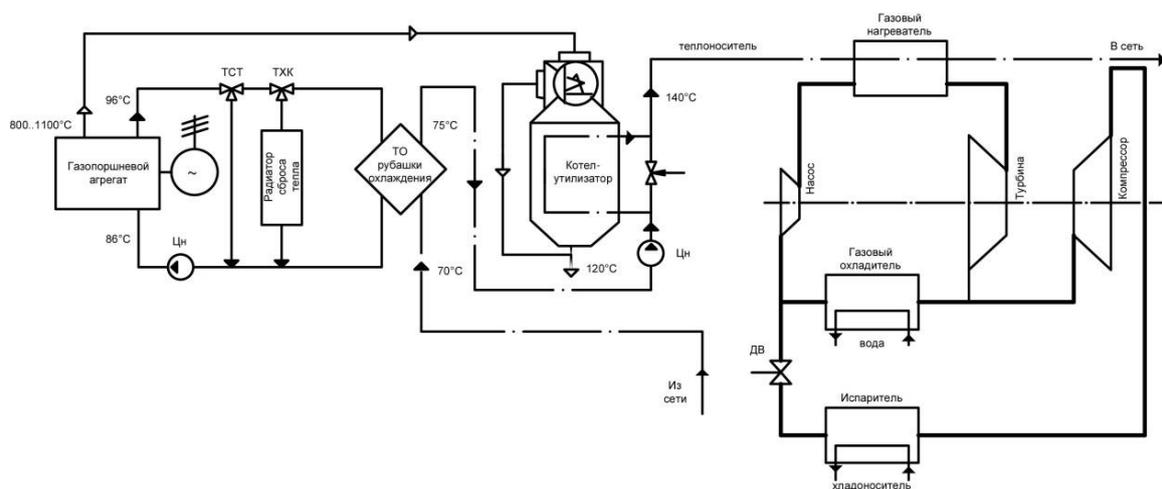


Рисунок 6 – Принципиальная схема системы тригенерации с компрессорной теплоиспользующей холодильной машиной

Газопоршневой агрегат с утилизатором является базовой тепловой машиной, холодильная машина – компрессорная с R744 в качестве рабочего вещества. Цикл холодильной машины реализуется в двух областях: прямой – в надкритической, обратный – в двухфазной. Рассмотренная система расширяет возможности утилизации обязательных сбросов энергетической установки. Термодинамический анализ показал высокую энергетическую эффективность и экологическую безопасность системы [16]. Оборудование для энергопреобразующих систем с R744 выпускают ведущие мировые фирмы [17].

Система тригенерации для фермерского хозяйства

Рассмотрим возможность реализации системы тригенерации малой энергетической установки на частном примере фермерского сельскохозяйственного производства [18].

Тепло, утилизируемое в малой энергетической установке фермерского хозяйства  $Q_{ут}$  (рис. 7), согласно энергетическому балансу:

$$Q_{ут} = Q_{от} + Q_{мк} + Q_{тв} + Q_{тп} + Q_{хол} + Q_{сб}, \quad (5)$$

может распределяться следующим образом:

- отопление жилых, производственных и подсобных помещений в холодное время года  $Q_{от}$  ;
- кондиционирование или поддержание микроклимата в жилых и производственных помещениях в теплое время года  $Q_{мк}$  ;
- круглогодичное получение теплой воды для бытовых и производственных нужд  $Q_{тв}$  ;
- сезонное отопление теплицы  $Q_{тп}$  ;
- сезонное охлаждение и низкотемпературное хранение скоропортящихся продуктов растительного и животного происхождения  $Q_{хол}$  ;
- обязательные тепловые сбросы в окружающую среду  $Q_{сб}$  .

Соотношение производительностей полезных эффектов и температурных режимов производства тепла и холода полностью зависит от потребностей конкретного производителя, напрямую определяются колебаниями температуры наружного воздуха и энергетической эффективностью установок, производящих каждый эффект (рис. 7).

Здесь следует отметить, что производство холода является очень важным фактором для фермерского хозяйства, поскольку позволяет производителю самостоятельно перерабатывать сырье и сохранять произведенный продукт, обеспечивая его поступление на рынок с высоким качеством в течение круглого года.

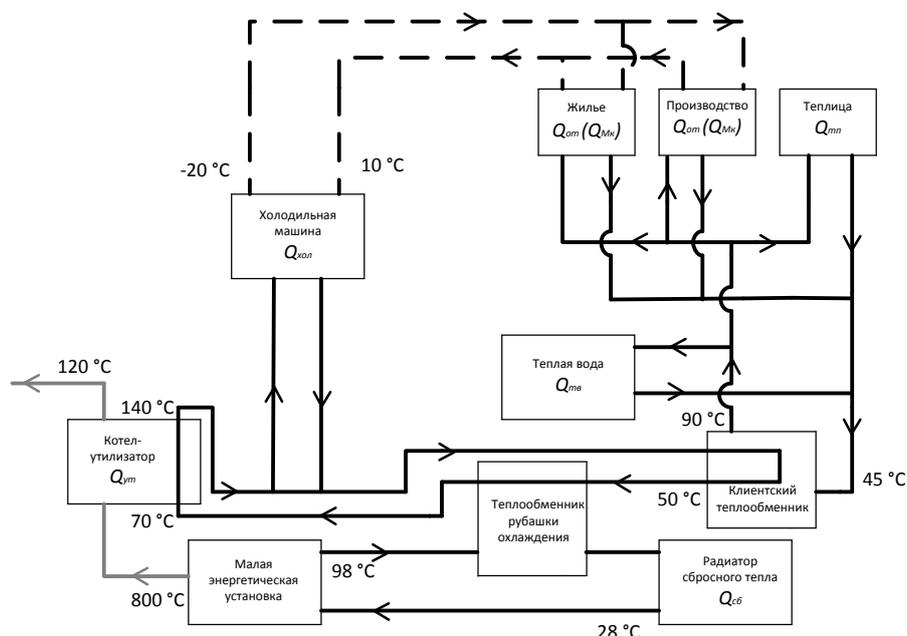


Рисунок 7 – Энергетические потоки в системе тригенерации фермерского хозяйства

Рассмотрим небольшое фермерское хозяйство, которое включает жилой дом общим объемом  $600 \text{ м}^3$ , хозяйственно-административное здание объемом  $1000 \text{ м}^3$ , теплицу объемом  $120 \text{ м}^3$  и хранилище для продуктов фермерского производства, состоящее из трех самостоятельных помещений общим объемом  $750 \text{ м}^3$ .

Основные климатические и технические данные, принятые в качестве расчетных:

- температура наружного воздуха в зимний период:  $t_{нз} = -10^\circ\text{C}$ ;
- температура наружного воздуха в летний период:  $t_{нл} = 28,6^\circ\text{C}$ ;
- температура наружного воздуха в весенне-осенний период:  $t_{нво} = 5^\circ\text{C}$ ;
- температура воздуха в жилых помещениях:  $t_{ж} = 20^\circ\text{C}$ ;
- температура в охлаждаемом объекте:  $t_{об} = 4^\circ\text{C}$ ;
- температура воздуха в теплице:  $t_{тл} = 15^\circ\text{C}$ ;
- температура горячей воды:  $t_{гв} = 70^\circ\text{C}$ ;
- температура водопроводной воды:  $t_{вв} = 20^\circ\text{C}$ .

Основные температурные данные, принятые в качестве расчетных для котла-утилизатора:

- температура отработавших газов:  $t_{ог} = 800^\circ\text{C}$ ;
- температура входящего теплоносителя (воды):  $t_{вх} = 80^\circ\text{C}$ ;
- температура выходящего теплоносителя (воды):  $t_{вых} = 140^\circ\text{C}$ ;

Расчет потребности в тепле и холоде во все периоды года осуществлялся с привлечением справочной технической информации и нормативных документов [19].

Результаты расчетов приведены в графической форме на рис. 8.

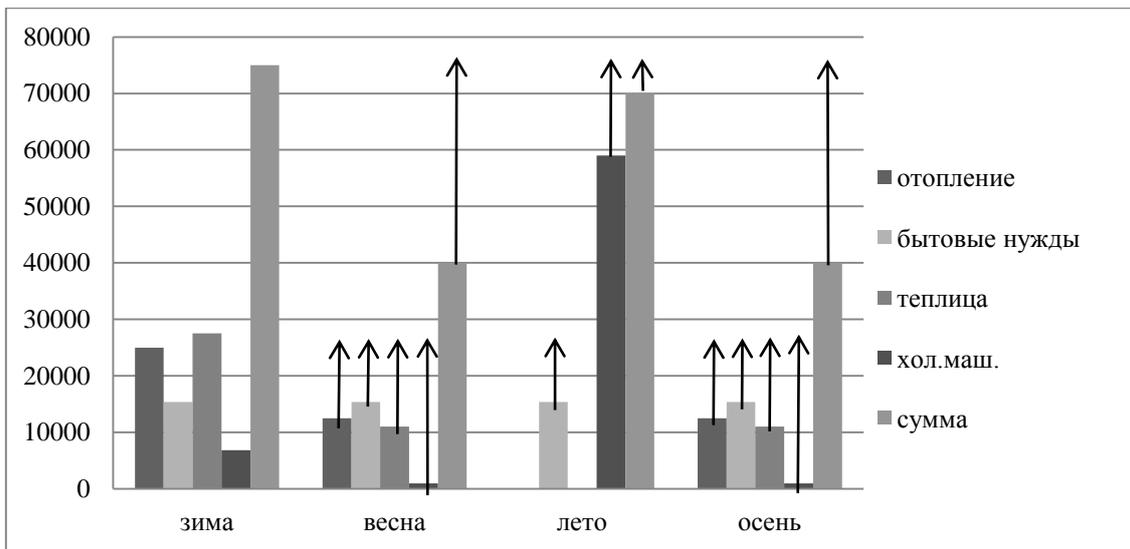


Рисунок 8 – Сезонная потребность в утилизации тепла

В соответствии с расчетами потребность в тепле в зимний период составляет 75 кВт, что является требуемой максимальной тепловой производительностью энергетической установки.

В весенне-осенний период потребность в тепле составляет 40 кВт. Резерв по теплу в количестве 35 кВт может быть востребован при температурах наружного воздуха, отличных от расчетных, как для отопления жилых помещений и теплицы (при понижении температуры), так и для поддержания температурного режима в охлаждаемых помещениях (при повышении температуры).

В летний период потребность в тепле составляет 40 кВт. Резерв по теплу в количестве 35 кВт может быть направлен на кондиционирование воздуха в жилых помещениях.

Полученные результаты теоретических исследований свидетельствуют о перспективности практической реализации систем тригенерации в малой энергетике.

В контексте следует отметить, что круглогодичное кондиционирование воздуха является потребителем первого порядка во многих странах мира и обеспечивает стабильную работу энергетической системы (увеличение спроса на охлаждение, совпадающее со снижением спроса на отопление). В организации тригенерации главным и важным является наличие потребителей тепла и холода с соответствующими соотношениями производительностей и температурных режимов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амерханов, Р. А. Теплотехника: учебн. для вузов / Р. А. Амерханов, Б. Х. Драганов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: 2006. – 432 с.
2. Морозюк, Л.И. Теплоиспользующие холодильные машины – пути развития и совершенствования [Текст] / Л. И. Морозюк // Холодильная техника и технология. –2014. – №5 (151). – С. 23-29.
3. Roselli, Carlo. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications [Text] / Giovanni Angrisani, Atsushi Akisawa, Elisa Marrasso, Carlo Roselli, Maurizio Sasso // International Journal of Refrigeration. – 2016. – Vol. 125, Issue 10. – P. 194-208.
4. Малая энергетика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/35/04.php>.
5. Клименко, В. Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Ч. 1-3: справ. пос. / В. Н. Клименко, А. И. Мазур, П. П. Сабашук. – Киев, 2008. – 560 с.
6. Почему газопоршневые мини-ТЭЦ, а не газотурбинные? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.genstab.com.ua/stati/1-statya-1>.
7. Использование топливных элементов для децентрализованного энергоснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nauchforum.ru/node/333>.
8. Топливные элементы [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://wiki.umsicht.fraunhofer.de/cometh-gu-wiki/index.php/Топливные\\_элементы](http://wiki.umsicht.fraunhofer.de/cometh-gu-wiki/index.php/Топливные_элементы).
9. Галимова, Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы: учеб. пособие / Л.В. Галимова. – Астрахань: АГТУ, 1997. – 226 с.
10. Бадьлькес, И. С. Абсорбционные холодильные машины / И. С. Бадьлькес, Р. Л. Данилов. – М.: Пищепромиздат, 1966. – 356 с.
11. Thermax [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://abxm-thermax.ru> – Дата обращения 11.01.2017
12. А. с. 12614 UA, МКИ F25B29/00. Теплосилова холодильна установка / Б.А. Минкус, Т.В. Морозюк, И.Г. Чумак (UA) – №94117789; заявл. 30.11.94; опубл. 28.02.97, Бюл. №1.

13. Блиер, Б. М. Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов / Б. М. Блиер, А. В. Вургафт. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 203 с.
14. Баренбойм, А. Б. Малорасходные фреоновые турбокомпрессоры / А. Б. Баренбойм. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.
15. Морозюк, Л. И. Термодинамический анализ теплоиспользующей холодильной машины с диоксидом углерода [Текст] / Л. И. Морозюк, Т. В. Морозюк, С. В. Гайдук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий [ЕЕJET]. – 2014. – № 2(8(68)). – С.36–44.
16. Kim, Y.M. Transcritical or supercritical CO<sub>2</sub> cycles using both low- and high-temperature heat sources [Text] / Y.M. Kim, C.G. Kim, D. Favrat // International Journal Of Energy Research. – 2012. – Vol. 43. – P. 402-415.
17. Каталог продукции: Сверхкритические компрессоры HG34 CO<sub>2</sub> [Электронный ресурс] – GEА Bock Compressors. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.gea.com/ru/products/hg-co2-compressors-transcritical.jsp>.
18. Амерханов, Р. А. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства: учебник для студентов вузов по агроинженерным специальностям / Р. А. Амерханов, Б. Х. Драганов. – Краснодар: 2006. – 200 с.
19. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. Одобрено: Научно-техническим советом Центра энергоресурсосбережения Госстроя России (протокол № 5 от 12.07.2002 г.). – Изд. 4-ое. – М.: 2002. – 89 с.

УДК 577.152.54:661.746.5

## **ФИТАЗА ASPERGILLUS NIGER – ПРОДУЦЕНТА ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПИЩЕВОЙ МИКРОИНГРЕДИЕНТ**

*Муста О.Н<sup>1</sup>, Шарова Н.Ю.<sup>1,2</sup>, доктор техн. наук*

*Университет ИТМО Базовая магистерская каф, «Технологий пищевых микроингредиентов»  
Российская Федерация*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок (ФГБНУ ВНИИПД) Россия*

*E-mail: nargul\_m@mail.ru, natalya\_sharova1@mail.ru*

Анализ научно-технической информации показал, что биодоступность необходимых минеральных веществ в пищевых продуктах из зерновых культур, в т. ч. в хлебобулочных изделиях, зависит от содержания фитиновой кислоты, которая снижает их пищевую ценность. В организме человека и животных усвоение минеральных веществ затрудняют нерастворимые соли – хелаты, образуемые фитиновой кислотой в комплексе с минеральными веществами. В семенах злаковых, бобовых и масличных культур содержится большая часть общего фосфора (60–80%). Высвобождение минеральных веществ может происходить в результате гидролитического расщепления эфирных связей фитиновой кислоты фитазами растительного, животного или микробного происхождения. Специфичность действия фитаз и их физико-химические свойства определяют направления их использования в различных отраслях промышленности [1].

Фитиновая кислота в пищевых продуктах отвечает за сниженную биодоступность существенных минеральных веществ, она может частично расщепляться фитазой во время переработки. Содержание фитиновой кислоты и фитазы в злаковых культурах различаются.

Так, среднее содержание фитиновой кислоты в зерне ржи составляет 8,18 мг/г, а в ржаной муке – 3,44 мг/г. Фитазная активность в зерне находится на уровне 3,7 ед/г, в муке 2,6 ед/г. При измельчении и шелушении ржи большая часть фитиновой кислоты и фитазы удаляется вместе со шротом и отрубями или с фракциями шелушения [2].

Фитаза, присутствующая в зерне, катализирует гидролиз эфирных связей фитиновой кислоты на инозит и свободный ортофосфат. Под действием фитазы, содержащейся в муке, особенно смолотой из зерна с примесью проросшего, инозитфосфорная кислота расщепляется на миоинозит и свободную ортофосфорную кислоту. Оптимум действия фитазы пшеничного зерна (муки) находится в области рН 5,8. Выделенный из зерна пшеницы ферментный препарат сокращает продолжительность времени расстойки тестовых заготовок и способствует улучшению качества хлеба в зависимости от его расхода и способа приготовления теста. При применении ферментного препарата формируется более мелкопористый мякиш и повышается эластичность мякиша хлеба. При переработке муки пшеничной хлебопекарной первого сорта с крепкой клейковиной и пониженной

амилолитической активностью оптимальный расход ферментного препарата составил 0,10–0,13 % от массы муки [3].

Фитазы микроорганизмов – грибные и большинство бактериальных – являются 3-фитазами, т. е. в первую очередь отщепляют фосфат при атоме С-3, образуя D-миоинозит 1,2,4,5,6-пентафосфат. Кислые фитазы (рН-оптимум действия от 2,5 до 6,0) высвобождают пять или даже шесть фосфатных групп фитата.

Фосфор – это один из основных минеральных элементов в питании прокариот и эукариот, также составляет основу нуклеиновых кислот, фосфолипидов, молекул-энергоносителей. Тем не менее, значительная часть фосфора в земле представлена фитатом - формой фосфорорганических соединений, которую не могут использовать в питании высшие эукариоты. Исходя из этого, учитывая снижающийся уровень доступных неорганических форм природного фосфата, все более актуальной в мировом земледелии становится проблема дефицита фосфора. Использование специфических микробных ферментов – фитаз, которые способны расщепить фитаты до легко усваиваемого остатка фосфорной кислоты и миоинозитола, является одним из путей для решения данной проблемы [4].

В различных направлениях биотехнологии становится наиболее перспективным использование щелочных  $\beta$ -пропеллерных фитаз, обладающих высокой специфичностью к субстрату и устойчивостью к высоким температурам [5].

Для производства ферментов в промышленных масштабах необходимо получение высокоэффективных штаммов-продуцентов. В связи с безопасностью использования дрожжевых систем экспрессии рекомбинантных белков их использование становится все более перспективным, помимо этого критерия, дрожжевые системы обладают быстрым ростом и высоким уровнем экспрессии. А также дрожжевые системы облегчают процесс очистки, позволяя получить целевые белки, секретируемые в среду [6].

Для пищевой отрасли наиболее востребованы ферменты, действующие при низких значениях рН. К ним относятся фитазы, синтезируемые представителями рода *Aspergillus*, которые являются промышленными продуцентами многочисленного ряда пищевых микроингредиентов [7].

В ФГБНУ ВНИИПД ранее проводилась оценка уровня фитазной активности в нативных растворах, полученных в результате культивирования штаммов микромицета *Aspergillus niger* – продуцентов лимонной кислоты. Фитазная активность выявлена при ферментации мелассной среды, традиционно используемой в промышленном производстве. В связи с указанным выше представляет интерес исследование биосинтеза фитазы микромицетом *Aspergillus niger* штамм Л-4, селекционированным в ФГБНУ ВНИИПД для ферментации мелассы в лимонную кислоту, на различных углеводсодержащих средах [8].

В результате исследований для корректной оценки уровня фитазной активности апробированы различные методы [2,3,5]. В итоге выбран метод, основанный на определении содержания неорганических фосфатов (РО), образующихся в результате действия фермента фитазы на субстрат – фитат натрия (натриевую соль фитиновой кислоты) – при определенных стандартных условиях, путем их связывания ванадиево-молибденовым реактивом с образованием фосфорнованадиево-молибденового комплекса желтого цвета [9].

Согласно методу, за единицу фитазной активности (1 ед) принимают количество фермента, катализирующего гидролиз фитата натрия с образованием 1 мкмоль неорганического фосфата за одну минуту в стандартных условиях (температура 37 °С, значение рН 5,5, продолжительность гидролиза 15 мин). Интенсивность окраски измеряют фотоколориметрическим методом при длине волны от 400 до 415 нм. Количество выделенных неорганических фосфатов определяют по градуировочному графику, построенному как функция оптической плотности от молярной концентрации фосфатов, в мкмоль/см<sup>3</sup>. Метод позволяет определять от 0,5 до 2,0 мкмоль/см<sup>3</sup> фосфатов. Диапазон измерений контролируемого показателя от 500 до 8000 ед. [10-13].

Значение рН исследуемых нативных растворов находится в диапазоне от 1,7 до 2,4. При таких значениях рН активность фитазы составляла 0,5-0,8 ед/см<sup>3</sup>. Для определения фитазной активности в условиях, оптимальных для проявления действия фермента, растворы подщелачивали раствором гидроксида натрия (0,1 М) до рН = (5,5 ± 0,1). В нативных растворах, полученных в результате культивирования штамма-кислотообразователя микромицета *Aspergillus niger* Л-4 на мелассной и сахарозоминальной среде, фитазная активность находилась на уровне от 1,1 до 2,5 ед/см<sup>3</sup> (таблица 1).

Таблица 1 – Фитазная активность в нативных растворах

Наименование среды	Фитазная активность, ед/см <sup>3</sup>			Содержание белка, мг/см <sup>3</sup>
	pH = 1,7 – 2,4	pH = 2,5 – 5,3	pH = 5,4 – 5,6	
Мелассная	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,7 ± 0,1
Сахарозоминаральная	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,1 ± 0,1

В сравнительном аспекте, полученный результат превышает активность фитазы, синтезируемой бактериальной культурой *Bacillus ginsengihumi* M2.11, фитазная активность 0,21 – 0,24 ед/см<sup>3</sup> [12]. Фитаза *phyA* из *Aspergillus niger* имеет низкую удельную активность, 100 ед/мг белка [13]. Выявленная в экспериментах удельная фитазная активность составила (710 ± 50) ед/мг белка на мелассной среде и (1095 ± 90) ед/мг белка – на сахарозоминаральной среде. По сравнению с рекомбинантными штаммами-продуцентами фитазы *phyA* из *Aspergillus niger* на основе дрожжей *Pichia pastoris* полученные результаты сравнительно ниже (64 ед/см<sup>3</sup> культуральной жидкости) [14].

Для увеличения продуктивности мицелия микромицета *Aspergillus niger* по фитазе необходимо провести ряд исследований по подбору состава питательной среды и разработке технологических режимов, обеспечивающих направленное получение фитазы в качестве дополнительного продукта микробиологического синтеза при продуцировании основного метаболита – лимонной кислоты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агабекян И.А., Трошагина Д.С. Штаммы *Bacillus* sp. с высокой фитазной активностью. Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, ИФМиБ, Россия, Казань.
2. Barbara Fretzdorff und Dorian Weipert. Bundesforschungsanstalt fuer Getreide- und Kartoffelverarbeitung, Schuetzenberg 12, D-4930 Detmold, Bundesrepublik Deutschland. Phitinsaeure in Getreide und Getreidezeugnissen.
3. Невский А.А., Дремучева Г.Ф., Бессонова Н.Г. Технологические свойства ферментного препарата с фитазной активностью в производстве хлебобулочных изделий из пшеничной муки. ФГБНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, Москва.
4. Редкозубов О. Фитаза. Что изменилось за последние 15 лет. // Комбикорма. - 2014. - №12. - С. 71 – 74.
5. Балабан Н.П., Сулейманова А.Д., Валеева Л.Р., Шакиров Е.В., Шарипова М.Р. Структурные особенности и механизм катализа β-пропеллерных фитаз бацилл (Обзор) // Биохимия. - 2016. - Том 81. - № 8. - С. 1011-1020.
6. Биотехнология и производство пищевых добавок // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2014. - № 8. - С. 24-26.
7. Шарова Н.Ю., Сафронова В.И. Генетическая паспортизация штамма *Aspergillus niger* Л-4 – промышленного продуцента лимонной кислоты с помощью геномного AFLP-фингерпринтинга // Сельскохозяйственная биология. - 2016. - том 51. - № 2. - С. 204-212.
8. Вардоян Г.С. Биосинтез фермента фитазы грибом *Aspergillus niger*. дисс...на соискание у. ст. канд.биол. наук по специальности 03.00.23 - биотехнология, 1999. 129 с.
9. Синтез внеклеточной фитазы грибом *Aspergillus niger* (Использование в пищевой промышленности) // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. Издательство: Центральная научная сельскохозяйственная библиотека (Москва) - 2001. - С. 545.
10. ГОСТ 31487-2012. Группа С09. Межгосударственный стандарт. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности фитазы. МКС 07.100.30 65.120. – Введ. 2013-07-01. - М.: Стандартинформ, 2012.
11. Патент 975799 РФ, МКИ С12N 15/00, С 12P 7/48 Штамм гриба *Aspergillus niger* Л-4 – продуцент лимонной кислоты/ Ермакова В.П., Щербакова Е.Я., Василинец И.М., Финько В.М., Шушкевич Т.Н., заявл. 13.06.80; опубл. 23.11.82.
12. Ахметова А.И., Мухаметзянова А.Д., Шарипова М.Р. Микробные фитазы как основа новых технологий в кормлении животных // Ученые записки Казанского университета. - 2012. - Том 154. - кн. 2. - С. 103 – 110.
13. Патент РФ № 2472855 МПК С12N9/16 С12N1/19. Мутантная рекомбинантная термостабильная фитаза (варианты), фрагмент ДНК, кодирующий указанную фитазу (варианты), штамм *Pichia pastoris* – продуцент указанной фитазы (варианты)/ Гордеева Т.Л., Борщевская Л.Н., Синеокий С.П., заявка: 2009146172/10 от 15.12.2009, опубл. 20.01.2013. Электронный ресурс: <http://www.findpatent.ru/patent/250/2504579.html>.
14. Патент РФ № 2504579 МПК С12N 1/19, С12N 9/14, Рекомбинантный штамм дрожжей *yeast* *lipolytica* – продуцент фитазы / Выборная Т.В., Юзбашев Т.В., Федоров А.С., Юзбашева Е.Ю., Ларина А.С., Синеокий С.П., заявка : 2012114468/10 от 12.04.2012, опубл. 20.01.2014, Бюл. № 2.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ НОВОСИБИРСКА ДЛЯ ВЫБОРА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

*Мухин А.И.<sup>1</sup>, канд. техн. наук., Зебер Р.А.<sup>2</sup>, магистрант., Саяпин К.М.<sup>2</sup>, магистрант  
Некоммерческое партнерство «Сибирская ассоциация инженеров по отоплению, вентиляции,  
кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике», Российская  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
Российская Федерация*

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха являются самыми энергоемкими системами жизнеобеспечения зданий. Необходимость повышения энергетической эффективности этих систем и снижения энергопотребления на климатизацию зданий продиктована законом Российской Федерации № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и другими нормативными актами. В конечном итоге, мероприятия по энергосбережению должны рассматриваться в контексте решения проблемы глобального потепления климата и сохранения окружающей среды.

Применение современных технически и экономически обоснованных решений для систем вентиляции и кондиционирования воздуха обладает высоким потенциалом энергосбережения по сравнению с традиционными системами, который по некоторым оценкам может достигать значения 50 – 80% [1]. Для реализации этого потенциала необходимы грамотный профессиональный анализ и технико-экономическое обоснование выбора принципиальных схемных решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха, которые бы основывались на сравнении не только сметной стоимости различных систем, но и их эксплуатационных показателей, и в первую очередь, их годового энергопотребления.

Вопрос повышения энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования в технической литературе обсуждается достаточно широко. В стандарте [2] установлены требования к системам и классы оборудования (вентиляторов, воздушных фильтров, чиллеров и насосов) по энергетической эффективности. В этом же стандарте перечислены исходные данные, необходимые для выбора схем вентиляции и кондиционирования. В состав этих данных включены не только расчетные параметры наружного воздуха, но и другие климатические показатели, например, градусо-сутки (градусо-часы) периодов отопления и охлаждения. Вместе с тем, отмечается, что основная сложность в определении удельного годового расхода холода в системах в кВт·ч/м<sup>2</sup> связана с зависимостью этого показателя от изменения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации за время работы системы охлаждения в теплый период года.

Нормативные и справочные документы по климату, используемые на практике при проектировании систем вентиляции и кондиционирования, содержат не всю информацию о климатических параметрах той или иной местности, необходимую для определения годовых показателей энергопотребления. В частности, в них не приводится информация о повторяемости различных сочетаний температуры  $t$ , °С и относительной влажности  $\varphi$ , % наружного воздуха. Такая информация может быть получена только дополнительно со станций метеонаблюдения. После обработки такой информации строится  $t - \varphi$ -диаграмма, с помощью которой наиболее точно и обоснованно можно производить технико-экономическое сравнение различных систем кондиционирования воздуха, определять продолжительность работы отдельных элементов системы и годовое энергопотребление, выбирать метод регулирования [3, 4].

В литературе можно найти результаты обработки данных о повторяемости параметров наружного воздуха для ограниченного числа населенных пунктов, причем не редко эти результаты являются не вполне актуальными, так как были получены на основе климатических наблюдений много лет назад. Например, для города Новосибирска последний раз эти данные представлялись Р.Н. Давыдовым в 1968 году [5]. Учитывая эти обстоятельства, авторами был восполнен данный пробел.

Исходные данные были взяты нами из архива наблюдений за погодными условиями, накопленного за период 2005-2012 годы на метеостанции «Огурцово» в Новосибирской области [6]. Они включают в себя показатели температуры и относительной влажности наружного воздуха, каждый из которых фиксировался восемь раз в сутки с интервалом в 3 часа.

С целью определения осредненной по годам повторяемости сочетаний параметров  $t$ , °С и  $\varphi$ , % за указанный период наблюдений, выраженной в часах за год, была разработана автоматизированная методика обработки климатических данных. В результате обработки получены три таблицы, представленные ниже. Таблицы отличаются тем, что для заполнения каждой из них обработаны выборки исходных климатических данных за разные интервалы времени: за целые сутки, в интервале 9.00 – 18.00 и в интервале 9.00 – 0.00 часов. Такая выборка, по нашему мнению, отвечает режимам работы систем кондиционирования, соответственно: круглосуточному, односменному и двухсменному. Два последних режима по временному интервалу наиболее вероятно соответствуют работе систем кондиционирования в административных зданиях (офисных и общественных).

В таблице 1 суммарная продолжительность сочетаний параметров имеет значение 8682,38 часа, что не соответствует продолжительности года. Такой результат связан с отсутствием в исходных данных, полученных от метеостанции, нескольких наблюдений, что, тем не менее, не может существенно повлиять на точность результатов обработки.

Таблица 1 – Повторяемость сочетаний климатических параметров для круглосуточного режима

Круглосуточные данные											
$\varphi$ , % $t$ , °С	0-10	10, 1-20	20, 1-30	30, 1-40	40, 1-50	50, 1-60	60,1-70	70,1-80	80,1-90	90, 1-100	Σчасов
-44...-40						1,13	9,38	1,88			12,38
-39...-35						1,50	30,75	50,25	2,25		84,75
-34...-30						1,50	28,13	112,88	27,38		169,88
-29...-25					1,13	7,13	36,75	199,13	64,13	2,25	310,50
-24...-20					0,75	9,00	42,38	169,50	171,75	9,38	402,75
-19...-15					2,63	22,13	81,00	216,38	227,63	25,50	575,25
-14...-10				1,50	12,75	48,75	100,88	191,63	213,75	51,38	620,63
-9...-5			1,13	12,75	30,00	60,75	104,25	148,13	207,00	109,88	673,88
-4...0			2,25	19,13	45,38	76,88	111,75	160,13	230,25	267,00	912,75
1...4			2,63	13,88	34,13	79,88	123,75	142,88	183,75	202,88	783,75
5...9		1,50	17,63	46,13	86,25	109,13	140,63	166,50	180,38	204,00	952,13
10...14		1,88	28,50	69,38	102,38	132,75	149,25	181,50	175,50	234,00	1075,13
15...19		4,88	45,75	101,25	148,88	150,00	143,25	165,00	182,25	175,88	1117,13
20...24		9,75	35,63	93,38	135,75	128,63	113,63	74,25	39,75	18,75	649,50
25...29		5,25	34,50	85,88	95,63	49,50	25,13	7,13	0,38		303,38
30...34		0,75	12,38	16,88	5,63	3,00					38,63
Σчасов	0,00	24,00	180,38	460,13	701,25	881,63	1240,88	1987,13	1906,13	1300,88	8682,38

Таблица 2 – Повторяемость сочетаний климатических параметров для односменного режима

Односменный режим с 9.00 до 18.00											
$\varphi$ , % $t$ , °С	0-10	10, 1-20	20, 1-30	30, 1-40	40, 1-50	50, 1-60	60, 1-70	70, 1-80	80, 1-90	90, 1-100	Σчасов
-44...-40							3,00	0,38			3,38
-39...-35						1,13	14,63	16,50	1,13		33,38
-34...-30						1,13	13,13	49,13	9,38		72,75
-29...-25					1,13	5,25	21,00	87,38	21,75		136,50
-24...-20					0,75	8,63	27,38	82,88	62,25	2,63	184,50
-19...-15					2,63	14,25	48,75	117,38	101,25	7,13	291,38

-14...-10				1,50	9,38	32,25	63,75	96,75	87,75	17,63	309,00
-9...-5			1,13	10,13	17,63	36,75	57,75	75,75	104,25	40,88	344,25
-4...0			1,50	16,50	28,50	50,25	58,88	72,38	101,63	102,38	432,00
1...4			1,88	10,50	21,75	46,13	59,63	70,13	80,63	76,50	367,13
5...9		1,50	12,38	30,75	51,00	60,75	70,50	81,00	75,00	69,75	452,63
10...14		1,13	22,13	46,13	62,63	74,25	78,00	86,25	73,88	70,50	514,88
15...19		4,13	34,50	73,88	91,13	80,25	69,00	79,88	77,25	63,75	573,75
20...24		7,88	26,63	60,75	90,75	73,13	61,88	39,75	20,25	9,00	390,00
25...29		3,75	27,00	65,63	63,75	27,00	13,50	4,50	0,38		205,50
30...34		0,75	10,50	13,88	4,13	1,88					31,13
∑часов	0,00	19,13	137,63	329,63	445,13	513,00	660,75	960,00	816,75	460,13	4342,13

Таблица 3 – Повторяемость сочетаний климатических параметров для двухсенного режима

Двухсенный режим с 9.00 до 0.00											
$\phi, \%$ $t, ^\circ\text{C}$	0-10	10,1-20	20,1-30	30,1-40	40,1-50	50,1-60	60,1-70	70,1-80	80,1-90	90,1-100	∑часов
-44...-40						0,38	7,50	1,50			9,38
-39...-35						1,13	22,88	37,50	2,25		63,75
-34...-30						1,13	21,00	82,50	19,13		123,75
-29...-25					1,13	6,38	28,13	143,25	52,13	1,88	232,88
-24...-20					0,75	8,63	34,13	120,75	129,00	7,13	300,38
-19...-15					2,63	18,00	64,88	158,25	173,25	21,38	438,38
-14...-10				1,50	11,25	39,38	79,13	137,63	152,63	39,00	460,50
-9...-5			1,13	10,13	20,63	46,50	73,50	111,75	161,25	84,75	509,63
-4...0			1,50	16,88	34,88	62,25	79,50	117,75	175,13	218,25	706,13
1...4			1,88	10,88	25,13	58,88	94,88	111,38	144,38	168,75	616,13
5...9		1,50	13,50	32,25	60,38	73,88	99,00	126,75	145,50	174,75	727,50
10...14		1,50	22,13	48,75	70,88	89,63	106,13	136,50	143,25	215,25	834,00
15...19		4,13	35,25	75,75	96,00	94,13	90,38	119,25	152,25	161,63	828,75
20...24		7,88	26,63	60,75	91,50	75,00	70,13	45,00	30,38	15,75	423,00
25...29		3,75	27,00	65,63	63,75	27,00	13,50	4,50	0,38		205,50
30...34		0,75	10,50	13,88	4,13	1,88					31,13
∑часов	0,00	19,50	139,50	336,38	483,00	604,13	884,63	1454,25	1480,88	1108,50	6510,75

Анализ полученных результатов по повторяемости сочетаний параметров наружного воздуха для Новосибирска позволяет сделать вывод о том, что за последние 50 лет произошло изменение климатических условий. В частности, длительность стояния сочетаний при низких отрицательных температурах (-39...-25 °С) по данным круглосуточных наблюдений увеличилась по сравнению с 1968 годом на 260 часов. Так же более чем на 210 часов увеличилась длительность стояния сочетаний при высоких температурах (15...34 °С). Одновременно с этим произошло существенное уменьшение продолжительности стояния сочетаний параметров для диапазона от умеренно холодных (-15 °С) до умеренно теплых (15 °С) температур и увеличение стояния более чем на 880 часов условий с относительной влажностью воздуха от 50 до 80%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что климатические условия изменились достаточно существенно, и эти изменения необходимо учитывать в технико-экономических расчетах при обосновании выбора систем кондиционирования воздуха. Полученная информация о повторяемости параметров наружного воздуха позволяет разделить всю область наружного климата на несколько характерных зон, для каждой из которых режимы обработки воздуха различными

системами кондиционированы, а значит и их энергозатраты, будут разными. Такой сравнительный анализ на основании предыдущих климатических данных был проведен в работе [7].

Кроме того, актуализированная информация о продолжительности стояния (повторяемости) сочетаний температуры и относительной влажности наружного воздуха позволяет построить  $t - \varphi$ -диаграмму для условий Новосибирска, а также рассчитать соответствующие значения энтальпии наружного воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка справочного пособия по лучшим отечественным и зарубежным практикам энергоэффективности инженерного оборудования, инженерных систем зданий и сооружений с использованием маркировки энергетической эффективности : Отчет о НИР. – Режим доступа к отчету: [www.label-ee.ru](http://www.label-ee.ru).
2. СТО НП «АВОК» 2.2.4-2015. Стандарт АВОК. Рекомендации по повышению энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: ООО ИИП «АВОК ПРЕСС», 2015. – 23 с. – ISBN 978-5-98267-091-5.
3. Сотников А.Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС. В 2 томах. Том 2 / А.Г. Сотников. – СПб.: Проектоптимум, 2013. – 436 с. – ISBN 978-5-9903217-2-4, 978-5-9903217-3-1.
4. Самарин О.Д. Вероятностно-статистическая взаимосвязь климатических параметров для оценки энергопотребления здания / О.Д. Самарин // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 146–152.
5. Давыдов Р.Н. Диаграмма наружного воздуха для г. Новосибирска / Р.Н. Давыдов // Наладка и проектирование систем промышленной вентиляции и кондиционирования воздуха, М.: Минмонтажсецстрой СССР, ЦБТИ. – 1970. – С. 23–27.
6. Погоода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. – режим доступа: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Огурцово](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Огурцово).
7. Кернерман Э.Я., Мухин А.И. Сравнение систем кондиционирования воздуха / Э.Я. Кернерман, А.И. Мухин // АВОК. – 2012. – № 7. – С. 68–76.

ӘОЖ 637.1

### БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСПАНЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМ АЛУ

*Мирашева Г.О.<sup>2</sup>, кандидат тех. наук., Мухитденова А.М.<sup>1</sup>, магистрант  
Государственный университет имени Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан*

Сүт өнімдерінің ішінде ертеден келе жатқандары сүтқышқылды өнімдер. Ешкі және қой сүтінен Греция мен Италияда III-IV ғасырларда сүтқышқылды өнімдерді дайындаған. И. И. Мечников адамды тамақтандыруда ашыған сүт өнімдерінің диеталық маңызын алғаш рет ғылыми негізде дәлелдегеннен кейін, XX ғасырдың басынан бастап оларды пайдалана бастады. Ол қартаю себептерінің бірі – ішекте қалған тағам қалдықтарының шірік микрофлораның әсерінен ыдырауының нәтижесінде пайда болатын зиянды заттардың организмге үздіксіз әсері екенін дәлелдеді.

Сүтқышқылды өнімдер микробиологиялық құрамы нәтижесінде аса маңызды диеталық қасиеттері бар, сондықтан балаларға, егде жастағы адамдарға және науқастарға ұсынылады. Сүтқышқылды өнімнің адам организміне диеталық және емдік әсері бастапқы немесе бұл өнімдердің ашу процесі нәтижесінде түзілген өнімнің құрамында әртүрлі сүтқышқылды бактериялардың, сүт қышқылының, көмірқышқыл газдың, спирттің, витаминдер, ақуыздар, майлар, ферменттің, микроэлементтер, антибиотиктің және т.б. болуымен анықталады [1].

Ешкі сүті — жоғары азықтық және биологиялық құндылығы бар ерекше тағам өніміне жатады. Өзінің физикалық-химиялық қасиеттері мен дәміне сай ешкі сүтінің сиыр немесе басқа да ауылшаруашылық жануарларының сүтімен салыстырғанда тиімді айырмашылықтары мол. Ешкі сүті де сиыр сүтіндей казеиндік топқа жатады. Бірақ ешкі сүтінде сиыр сүтіндегі аллергиялық серпіндердің көзі саналатын — альфа-1s-казеин жоқ. Сондықтан ол сиыр сүтіне аллергиясы бар адамдар үшін ұсынылады. Құрамында бета-казеин мол болуына байланысты, ешкі сүті әйелдердің емшек сүтіне жақын. Ешкі сүті нәруыздарының көпшілігінің құрамында альбуминнің мол көлемі болуына байланысты, құрамдас бөліктерге ыдырайды, яғни қорытылмаған күйінде сіңбей, ұсақ үлпектер түрінде ұюға ұшырайды. Сондықтан ол ағзаға жеңіл сіңіп, ас қорыту жүйесінің бұзылуына жол бермейді. Құрамында лактозаның төмен мөлшері (сиыр сүтінен 13% кем, әйелдердің емшек сүтінен

— 41% кем) болуы — бұл өнімді лактоза жеткіліксіздігі бар адамдар үшін қолдануға мүмкін етеді. Ешкі сүтіндегі май ағзаға жақсы сіңіріледі және 4,0-4,4% майлылықта ешкі сүті 100 пайыз сіңеді. Ешкі сүтінде адам ағзасының тіндерінде холестерин жиналуына қарсы тұратын ерекше метаболикалық қасиеті бар және ағзаның қорғаныс қызметін арттыратын қанықпаған майлы қышқылдардың 67 пайызы бар [2].

Жоғарыда келтірілген артықшылықтарынан басқа ешкі сүтінде көп кальций (143.0 мг), магний (14.0 мг), фосфор (89.0 мг), марганец (17.0 мкг), мыс (20.0 мкг), А (0.1 мг), В (0.04 мг), С (2.0 мг) және Д (0.06 мг) дәрумендері, аскорбин қышқылы бар. В12 дәруменінің құрамына кіретін және қан өндірімі үрдістеріне жауап беретін кобальттың мөлшері сиыр сүтімен салыстырғанда ешкі сүтінде 6 есе көп. Сүттің құрамында кальцийдің мөлшерінің мол болуы - жүрек-қан тамыр жүйесіне оңтайлы әсер етеді.

Ешкі сүтінің майы адам ағзасында 100 пайыз дерлік сіңіріледі, құрамында лактоза аз болуына сай, лактоза жеткіліксіздігі бар адамдарға ұсынылады. Құрамында аллергия тудырушы альфа-ls-казеин болмауына байланысты азықтық аллергиясы бар адамдарға қолдануға болады [3].

Жоғарыда айтылғанға байланысты ешкі сүтін балалардың сүт өнімдерін, сондай-ақ балалар айранының өндіруде қолдануға ұсынылады. Көптеген сүтқышқылды диеталық өнімдер сияқты айран жануар тектес ақуыздың жақсы көзі ретінде пайдаланылады. Бала организмінде оңай қорытылады және сіңіріледі, себебі құрамында барлық өмірлік маңызды аминқышқылдары бар. Ферментация процессінде патогенді микрофлораны жою қабілеті бар сүт қышқылы түзілуіне байланысты асқорыту жүйесін ынталандырады және қоректік заттардың сіңірілуін жақсартады [4].

Жұмыстың мақсаты биологиялық белсенді заттарды пайдалану арқылы сүтқышқылды өнімдердің биологиялық және тағамдық құндылығын арттыру

Сүтқышқылды өнім алу үшін биологиялық белсенді қоспа ретінде лактулоза қолданылды. Қазіргі кезде лактулоза маңызды бифидус фактор. Дисбиотикалық жағдайларда өте көптеген түрлі ауруларға қарсы, профилактикалық және терапевтік зат ретінде дүниежүзі мемлекеттерінде кеңінен қолданылуда. Биогенді активтілік және адамға қауіпсіздігі үшін лактулозаны тек балалар тағамы және т.б тағамдардан басқа –сүт, йогурт, май, кондитерөнімдері, алкогольсіз сусындарға, медицинада адамдардың асқазан жүйесін жақсарту үшін қолданылады. Әсіресе, лактулозаны гипераммонемияда, бауыр жетіспеушілігінде және порталды жүйенің энцефалоптиясы (ПЖЭ) кезінде кеңінен қолданатындығы белгілі. ПЖЭ-бұл орталық жүйке жүйесінің метаболизімінен туындайтын психологиялық және неврологиялық жағдайдың бұзылуы. Лактулозаны қабылдаудан қандағы глюкоза мөлшері көтерілмей, тіпті глюкозаның сіңірілуі баяулайтындығы айтылады. Сол себепті лактулозаны қант диабетін емдеуге пайдалану қарастырылған. Балалар тағамын өндіретін Ғылыми зерттеу институттарының ұсынысымен лактулозасы бар бұл тағамдарды емшек жасындағы балаларға ана сүті жетіспегенде, сондай-ақ балалар мен ересектерге (әсіресе қарттарға) асқазан жолдарының созылмалы және түрлі ауруларға емдік тағам ретінде беруді ұсынды [5].

Зерттеу жұмысында дайын өнімде кем дегенде 2,5 % май болуы үшін 5 л ешкі сүтін майдың массалық үлесі бойынша нормаландырдық. Алынған қоспаны температурасы 41°C дейін қыздырып ортадан тепкіш сүт тазалағышта тазалайды. Тазаланған қоспаны қысымы 12,5 МПа және 45°C температурада гомогендедік. Кейін қоспаны температурасы 85°C 15 мин ұстап пастерледік. Пастерленген қоспаны 18°C температураға дейін салқындаттық. Араластырғаш қосылу кезінде резервуарға орналастырылды, бірақ ақтта айранның саңырауқұлақ ашытқысын саламыз. Резервуар 15мин толғаннан кейін араластыруды тоқтаттық. Қышқылдығы 100°Т ақшыл ақуыздың жиынтығы түзілгенше қоспаны 18°C темепературада ашыттық. Ашыту тоқтағаннан кейін резервуардың рубашкасында температурасы 2±2°C суық суды қостық. Су 60 мин жіберілгеннен кейін араластырғышты қосамыз және бірыңғай консистенциялы жиынтық түзілгенше сүт жиынтығын 10мин араластырамыз. Үнемі араластыру барысында қоспаға лактулозаның 2-4 мас.% салғаннан кейін қоспаны тыныш күйінде 9 сағ қоядық. Уақыты өткеннен кейін араластырғышты 3 мин қостық. Алынған сүтқышқылды өнімді, яғни айранды мұздатқыш камерада 6±2°C температураға дейін салқындаттық. Кейін өңделген үлгіге органолептикалық, физико-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері бойынша салыстырмалы анализ жүргізілді.

Зерттеу нәтижесі бойынша қортынды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесі бойынша келесі ұсыныстар жасалынды: ешкі сүтін ерекше химиялық құрамына сай пайдалы тағам өнімдеріне жатқызуға болады. Халықтың жаппай тұтынатын өнімі ретінде түрлі жас топтары арасында қолданылуымен қатар, ешкі сүтінің түрлі аурулардың алдын алу шараларында да тиімділігін ескерген жөн. Ешкі сүтінің майы адам ағзасында 100 пайыз дерлік сіңіріледі, құрамында лактоза аз болуына сай, лактоза жеткіліксіздігі бар адамдарға ұсынылады. Құрамында аллергия тудырушы альфа-ls-казеин болмауына байланысты азықтық аллергиясы бар адамдарға қолдануға болады. Қарастырылған

үлгіде бөгде микрофлоралар болмады, сүтқышқылды микроорганизмдердің құрамы  $10^8$  құрады. Зерттеу жүргізу барысында лактулозаны пайдаланған кейінгі әсері келесідей:

- құрамында құрғақ заттардың ұлғаюымен қышқылдығы артады және ашу уақыты 1-2 сағ қысқарды;

- Сүтқышқылды өнімге тән дәм және түс береді (ақшыл-сары және тәтті дәм) энергия жұмсайтын қажу процесін қолданбайды

- Лактулозаның физико-химиялық қасиеттерінің артықшылығы тәттілігіне байланысты бифидогенді фактормен қантты ішінара алмастыруға болады.

Сондықтан лактулозаны қосу кейбір технологиялық процесстерді түзетуді талап етеді және өндірілген өнім функционалды тамақтану дәрежесімен сапасының жақсаруы сипатталады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Твердохлеб Г.В. Технология молока и молочных продуктов. М.: Агропромиздат, 1991. – 463с.
2. Остроумова Т.Л. Козье молоко – натуральная формула здоровья // Молочная промышленность. – 2005. – № 8. – С. 69-70.
3. Кузнецов В.В., Липатов Н.Н. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 6. Технология детских продуктов. СПб.: ГИОРД, 2005 –512с.
4. Матальгина О.А. Лечебные и профилактические возможности новых продуктов питания для детей на основе козьег молока // Вопросы современной педиатрии. – 2008. – Т. 7, – № 1– С. 71-81
5. Рябцева, С.А. Технология лактулозы / учебное пособие. – М.: ДеЛи принт, 2003.–232с.

УДК 621.362; 621.315.562

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ГЕНЕРАТОРЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Новотельнова А.В., к.т.н., доцент, Асач А.В., магистр, Тукмакова А.С., аспирантка  
Ережеп Д., магистрант, Козай В., магистрант, Гамова К.А., магистрант  
Университет ИТМО, Россия*

Термоэлектрические устройства представляют собой твердотельные преобразователи энергии [1]. Термоэлектрический генератор (ТЭГ) состоит из расположенного на керамических теплообменных пластинах набора ветвей, выполненного из разнородных полупроводниковых материалов *p*- и *n*-типа, соединенных термически параллельно, а электрически последовательно.

Коэффициент полезного действия (КПД) термоэлектрического устройства  $\eta$  зависит от внутреннего КПД термоэлемента  $\eta_v$  и КПД цикла Карно [2]:

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_k.$$

Внутренний КПД определяется как:

$$\eta_v = \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + \frac{T_c}{T_h}},$$

где  $T = \frac{T_h + T_c}{2}$ ,  $Z = S^2 \cdot \sigma / \kappa$  – термоэлектрическая добротность,  $S$  – коэффициент Зеебека,  $\sigma$

и  $\kappa$  – коэффициенты электро- и теплопроводности.

КПД цикла Карно:

$$\eta_k = \frac{T_h - T_c}{T_h},$$

где  $T_h$  – температура «горячей» стороны генератора,  $T_c$  – температура «холодной» стороны генератора.

Увеличение разности температур между «холодной» и «горячей» сторонами генератора во время эксплуатации вызывает повышение КПД устройства. Эксплуатация в условиях высоких перепадов температур между сторонами термоэлемента сопровождается термомеханическими

процессами в ветвях генератора и керамических пластинах. Материалы для ветвей термоэлементов  $p$ - и  $n$ - типа подбираются таким образом, чтобы их коэффициенты теплового линейного расширения  $\alpha$  были близки по величине. Из-за сложности подбора материалов ветвей с согласующимися значениями  $\alpha$  могут появляться неравномерные изменения линейных размеров термоэлектрических ветвей, вызывающие термомеханические напряжения в устройстве, что может уменьшать срок эксплуатации ТЭГ [3]. Прогнозирование возникновения термомеханических напряжений при создании изделий из новых материалов или модернизации конструкции термоэлектрических преобразователей является актуальной задачей.

Эта задача может быть решена путем создания компьютерной модели ТЭГ, позволяющей исследовать распределение тепловых и электрических полей и механических напряжений, возникающих в следствие теплового расширения.

Описание модели.

Компьютерное моделирование было проведено на примере термоэлектрического генератора ТГМ-127-1.0-1.3 [4], геометрические параметры которого представлены на рис. 1.

Генерируемая мощность устройства, приведенная в паспорте,  $P_{\text{exp}}$  составляет 3,8 Вт при  $T_{\text{г}} = 473 \text{ К}$  и  $T_{\text{х}} = 303 \text{ К}$ .

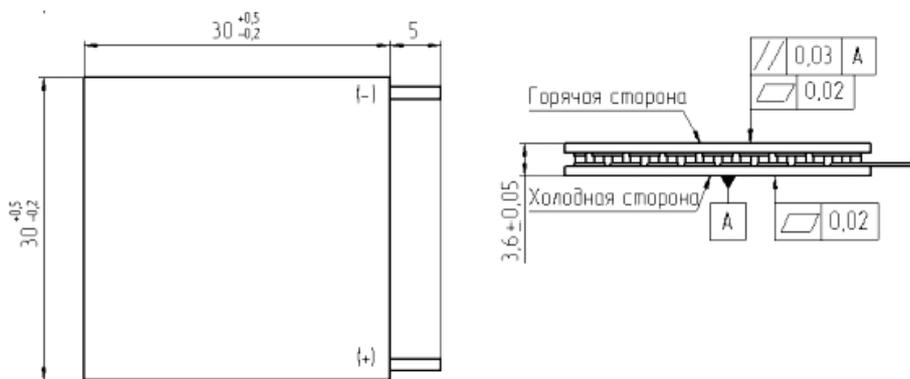


Рисунок 1 – Чертеж ТЭГ ТГМ-127-1.0-1.3.

Моделирование термоэлектрического модуля производилось методом конечных элементов с использованием программного продукта Comsol Multiphysics.

Основными уравнениями в модели являлись:

закон сохранения заряда:  $\text{div} \mathbf{j} = 0$ , энергии:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (\kappa \nabla T + PJ) = Q_b,$$

где  $\rho$  - плотность материала,  $c_p$  - теплоемкость при постоянном давлении,  $P = ST$  – коэффициент Пельтье,  $J$  – плотность тока,  $Q_e$  - Джоулево тепло рассчитывается по формуле:

$Q_b = JE$ , здесь  $E$ - напряженность электрического поля,:

$$\mathbf{J} = -\sigma(\nabla V + S\nabla T),$$

где  $V$  – напряжение электрического поля.

Относительное изменение линейных размеров тела определялось выражением:

$$\varepsilon_{th} = \alpha(T - T_{ref}).$$

Граничные условия.

Для верхней и нижней сторон керамических пластин были использованы граничные условия первого рода для тепловых величин. Температура нижней поверхности термоэлемента принималась постоянной и равной  $T_0 = 303 \text{ К}$ . К верхней пластине подводилась теплота мощностью  $P_{\text{под}} = 66, 5 \text{ Вт}$ .

Для остальных поверхностей модуля было принято граничное условие третьего рода – конвективный теплообмен с окружающей средой с коэффициентом теплоотдачи  $h = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Граничные условия для электрических величин приняты следующими: один из контактных выводов был заземлен  $U_0 = 0 \text{ В}$ ; на всех остальных частях устройства поверхности были приняты электроизолированными.

В качестве граничных условий для механических величин была задана механическая фиксация верхней и нижней поверхностей теплообменных пластин, а также контактных выводов.

Материалы.

При задании свойств материалов термоэлектрических ветвей были использованы электро- и теплофизические свойства сплава  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , легированного сурьмой (для ветви  $p$ -типа проводимости) и оловом (для ветви  $n$ -типа проводимости) [5].

Результаты.

Адекватность использованной модели проверялась путем сопоставления расчетных и фактических (паспортных) значений мощности выделяемой термогенератором. Для расчета электрической мощности и КПД устройства в состав модели была добавлена внешняя электрическая цепь с заданным значением электрического сопротивления  $R$  (рис. 2), равным 6 Ом.

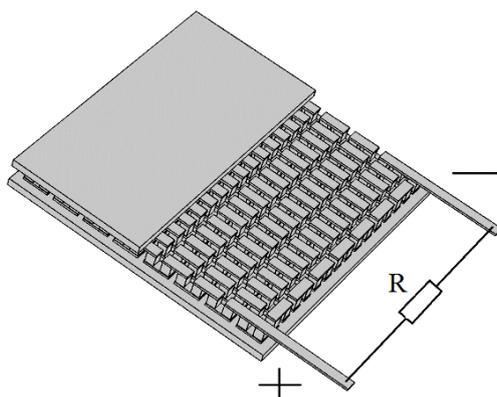


Рисунок 2 – Схематическое изображение моделируемого ТЭГ с подключенной внешней нагрузкой

Распределение температурного поля представлено на рис. 3. Приложенная тепловая нагрузка, заданная в виде мощности теплового потока, нагревает верхнюю керамическую пластину до 474 К.

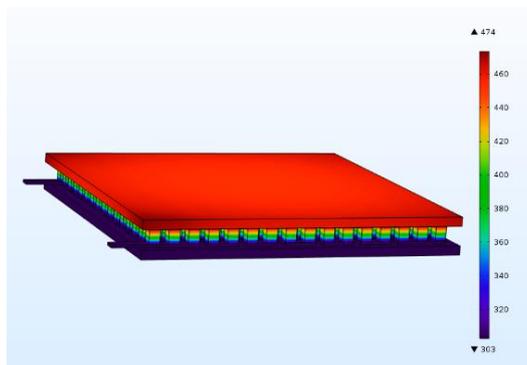


Рисунок 3 – Распределение температурного поля в объеме ТЭГ

Расчетная разность температур между верхней и нижней границами модуля составила 171 К (474К – 303К). Это соответствует разности температур, регламентируемой паспортными данными модуля в заданных условиях. Генерируемая мощность  $P_{exp}$  для ТЭГ, работающего при заданной разности температур, согласно паспортным данным, приведенным в таблице на рис. 1 составляет 3,8 Вт .

Расчетное значение мощности  $P_{calc}$ , определенное по результатам моделирования термоэлектрического генератора в заданных условиях составило:

$$P_{calc} = I_{calc}^2 R = 0.76^2 \cdot 6 = 3.5 \text{ (Вт)}$$

При сравнении расчетного и паспортного значений мощности ТЭГ относительная погрешность составила:

$$\delta = \frac{P_{exp} - P_{calc}}{P_{exp}} 100\% = \frac{3.8 - 3.5}{3.8} = 7.8\%$$

Расхождение расчетных и экспериментальных данных может быть объяснено идеализацией параметров, отсутствием учета влияния контактных сопротивлений между ветвями и медными пластинами.

КПД ТЭГ, определенный по данным моделирования составил:

$$\eta_{calc} = \frac{P_{calc}}{P_{nod}} 100\% = \frac{3,5}{66,5} 100\% = 5,3\%$$

Распределение поля механических напряжений, полученное методом компьютерного моделирования, приведено на рис. 4:

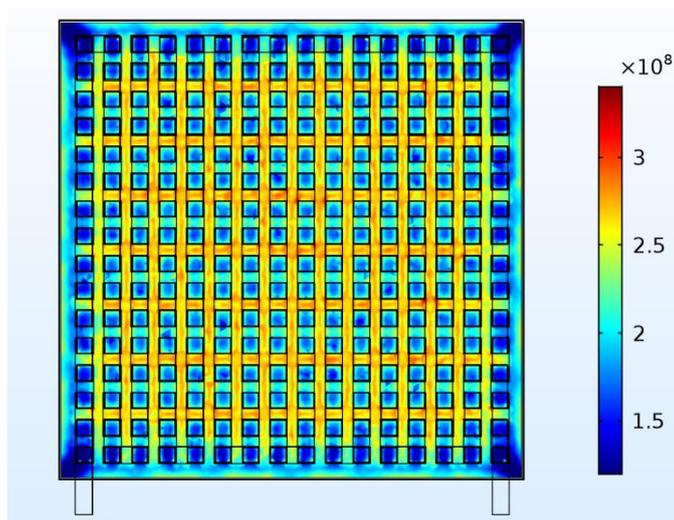


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных механических напряжений в верхней керамической пластине при температуре верхней границы пластины  $T = 350$  К

По данным расчетов была проанализирована связь механических напряжений со средней температурой эксплуатации модуля. На возникновение механических напряжений оказывают влияние как абсолютные значения температур, так и величина перепада температур по высоте модуля.

Зависимость максимальных напряжений  $\sigma_{max}$ , возникающих в керамических пластинах, от средней температуры эксплуатации модуля представлена на рис. 5. За среднюю температуру принималось значение  $T_{cp} = (T_r + T_x)/2$ .

Учитывая, что максимальное механическое напряжение, которое может выдержать теплообменная пластина без разрушения, равно  $\sigma_B = 650 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> [6] имеем запас прочности для рабочего диапазона температур  $150 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>.

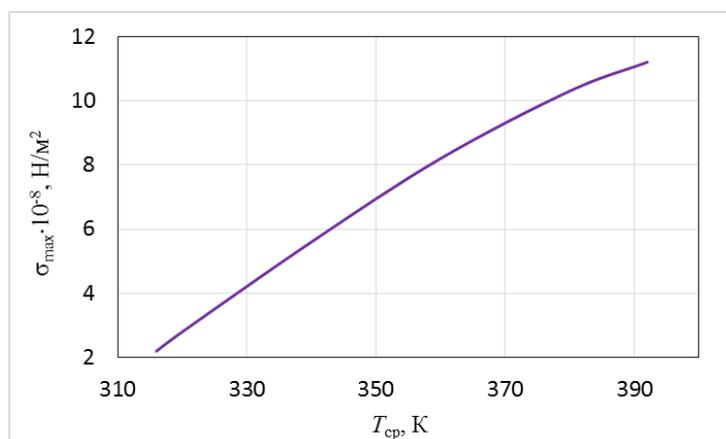


Рисунок 5 – Зависимость максимальных значений эквивалентных напряжений от среднего значения температуры ТЭГ

Полученная мультифизическая модель термоэлектрического генератора в полной мере отображает свойства реального устройства и может быть использована в качестве платформы для исследования ТЭГ.

Модель позволяет производить механико-прочностные расчеты при разработке и конструировании ТЭГ с любыми геометрическими и рабочими параметрами, и работающих на термоэлектриках широкого диапазона температур. Использование модели позволит значительно упростить и удешевить процесс разработки новых и модернизации существующих устройств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Soo, S. L. Direct energy conversion / S. L. Soo; Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1968. – 333 p. – ISBN 10: 0132147424 / ISBN 13: 9780132147422.
2. Марченко, О. В. Методы расчета термоэлектрических генераторов / О. В. Марченко, А. П. Кашин, В. И. Лозбин, М. З. Максимов; – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 222 с.
3. Анатычук, Л. И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Термоэлементы. Элементная база термоэлектричества./ Л. И. Анатычук; – Киев: Институт термоэлектричества, 2003. – 376 с.
4. Производство термоэлектрических модулей [Электронный ресурс]: каталог продукции компании «Криотерм», 2017. – режим доступа к журн.: <http://kryothermtec.com/standard-single-stage-thermoelectric-coolers.html>.
5. Jaegle, M. Multiphysics Simulation of Thermoelectric Systems - Modeling of Peltier Cooling and Thermoelectric Generation/ M. Jaegle. // M. Proceedings of COMSOL Conference/ 4 – 6 November 2008. – Hannover, 2008.
6. Григорьев, М.В. Исследование механических свойств корундовой керамики при изменении пористости и размеров кристаллитов / М. В Григорьев, С. Н. Кульков // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2011.- Т.1.- № 4.- С. 113 – 120.

УДК 621.514

### **РАБОТА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ПЛАВАЮЩИМ ДАВЛЕНИЕМ КОНДЕНСАЦИИ С ВИНТОВЫМ КОМПРЕССОРОМ ПРИ ПОЛНОЙ И ЧАСТИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

*Носков А.Н., д.т.н., Тарасенков Д.С., магистр  
Университет ИТМО, Россия  
E-mail: dn.noskoff@rambler.ru, d.tarasenkov@mail.ru*

При использовании воздушного конденсатора температура конденсации зависит от параметров наружного воздуха, при понижении температуры которого эффективность работы холодильной машины повышается. Однако в этом случае возникают проблемы в работе терморегулирующих вентилей ТРВ [1,2,3]. При слишком низком давлении конденсации происходит неустойчивая работа дросселирующего устройства, что приводит к неравномерному, в течение времени, заполнению испарителя. Чтобы обеспечить работу ТРВ искусственно поддерживают температуру конденсации не ниже определенной величины. По данным фирмы Danfoss температуру конденсации необходимо поддерживать не ниже 30°C в среднетемпературной системе, и не ниже 20°C в низкотемпературной [2]. Это приводит к излишним затратам энергии на сжатие пара в компрессоре.

В работе [3] рассмотрена схема работы холодильной машины, представленная на рис. 1. Между конденсатором и регулирующим вентилем установлен насос, повышающий давление жидкого хладагента до величины, соответствующей давлению насыщения хладагента при температуре 30 °С, что обеспечивает устойчивую работу регулирующего вентиля. При понижении температуры конденсации давление в конденсаторе понижается, что приводит к повышению эффективности работы холодильной машины. Работа, затраченная насосом на повышение давления жидкого хладагента значительно меньше дополнительной работы на сжатие пара в компрессоре. Такая схема позволяет работать с низким давлением конденсации при понижении температуры окружающего воздуха. Была дана оценка эффективности такой схемы при работе с поршневым или спиральным компрессором.

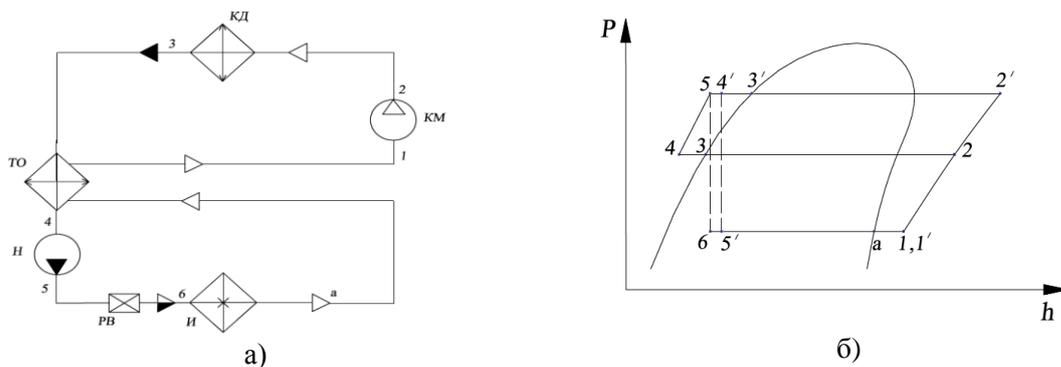


Рисунок 1 – Схема (а) и цикл работы (б) паровой холодильной машины

КМ – компрессор; КД – конденсатор; ТО – теплообменник; Н – насос; РВ – регулирующий вентиль; И – испаритель; цикл работы без насоса 1' - 2' - 3' - 4' - 5'; цикл работы с насосом 1-2-3-4-5-6

Работа холодильной машины с винтовым маслозаполненным компрессором при полной и частичной производительности имеет свои особенности. Одним из достоинств ВКМ является возможность регулирования производительности с помощью встроенных устройств. При регулировании производительности одним золотником вместе с уменьшением производительности уменьшается и геометрическая степень сжатия  $\varepsilon_r$ , что приводит к увеличению потерь работы связанных с недосжатием пара хладагента [4,5]. В работе [6] предложен регулятор, состоящий из золотника и двух поворотных заслонок. Такая конструкция регулятора позволяет регулировать геометрическую степень сжатия  $\varepsilon_r$  при полной производительности и получить произвольные законы изменения  $\varepsilon_r$  при уменьшении производительности.

Для оценки работы холодильной машины с ВКМ по схеме с насосом перед регулирующим вентилем необходимо произвести расчеты холодопроизводительности, эффективной мощности и холодильного коэффициента при полной, 75% и 50% производительности компрессора.

Для этого были использованы экспериментальные характеристики холодильного маслозаполненного винтового компрессора, работающего на фреоне R22. Экспериментальные характеристики получены на кафедре холодильных машин и низкопотенциальной энергетики Университета ИТМО [4].

Геометрические характеристики экспериментального компрессора. Соотношение числа зубьев ведущего и ведомого винтов 4/6; внешний диаметр ведущего и ведомого винтов 160 мм; длина винтов 144 мм; ход ведущего вита 144 мм; частота вращения ведущего винта  $49 \text{ c}^{-1}$ ; теоретическая объемная производительность при полной нагрузке  $0,085 \text{ м}^3/\text{с}$ ; профили зубьев винтов типоразмерного ряда СКБК [7]. Регулирование производительности осуществлялось золотником и поворотными заслонками [6].

На рис. 2 приведены зависимости эффективных КПД  $\eta_e$  компрессоров от внешней степени повышения давления  $\pi_H$  при работе с полной производительностью и относительной производительностью  $V_{тн}/V_T = 0,75$  и  $V_{тн}/V_T = 0,5$  при температуре кипения хладагента  $t_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

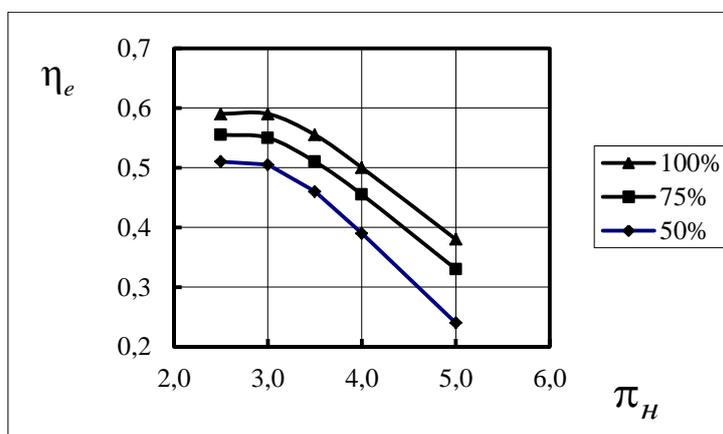


Рисунок 2 – Зависимость эффективного КПД  $\eta_e$  винтового компрессора от наружной степени сжатия  $\pi_k$

На рис. 3,4,5 представлены зависимости холодопроизводительности  $Q_0$  потребляемой мощности  $N_e$  и холодильного коэффициента холодильной машины с винтовым компрессором  $\epsilon_e$  от относительной производительности  $V_{Ti}/V_T$  при различной температуре конденсации  $t_k$  при полной, 75% и 50% производительности. Температура кипения хладагента  $t_0 = -20^{\circ}\text{C}$ .

Из приведенных зависимостей видно, что холодильный коэффициент холодильной машины при поддержании температуры конденсации в соответствии с температурой окружающей среды увеличивается.

Так при уменьшении температуры конденсации с  $t_k = 31^{\circ}\text{C}$  до  $t_k = 12,6^{\circ}\text{C}$  холодильный коэффициент увеличивается при полной производительности с  $\epsilon_e = 1,47$  до  $\epsilon_e = 3,9$ , при 75% с 1,28 до 3,64, а при 50% производительности с  $\epsilon_e = 0,93$  до  $\epsilon_e = 3,34$ .

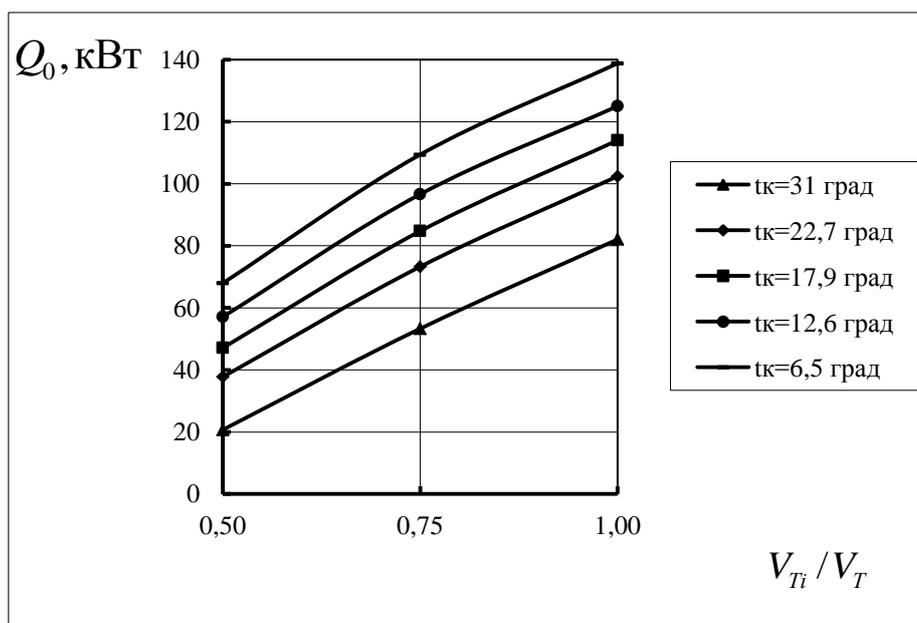


Рисунок 3 – Зависимость холодопроизводительности компрессора  $Q_0$  от относительной производительности  $V_{Ti}/V_T$ . Обозначения такие же, как и на рис. 2

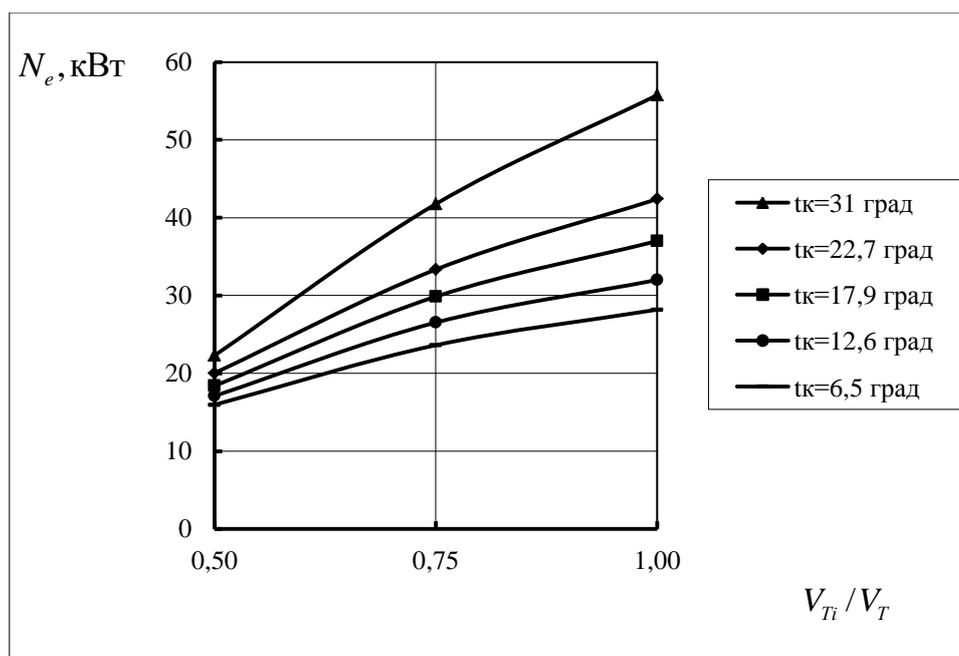


Рисунок 4 – Зависимость эффективной мощности компрессора  $N_e$  от относительной производительности  $V_{Ti}/V_T$ . Обозначения такие же, как и на рис. 2

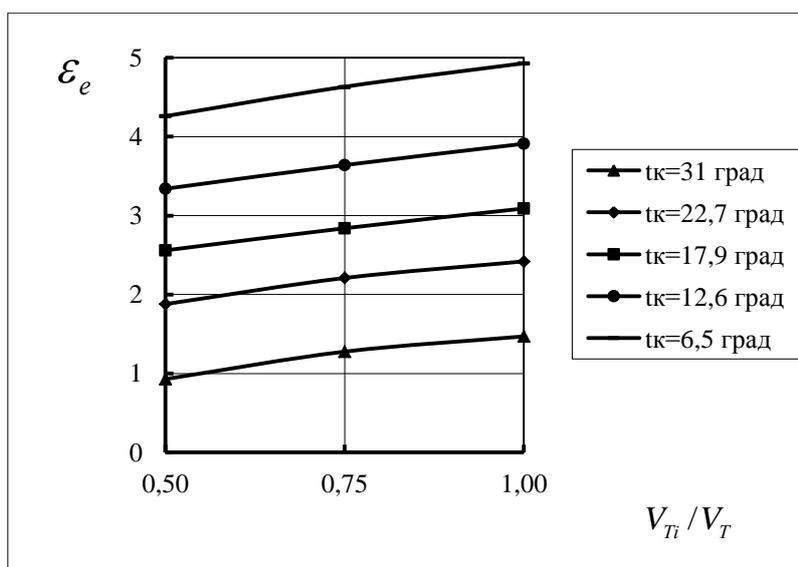


Рисунок 5 – Зависимость холодильного коэффициента компрессора  $\epsilon_e$  от относительной производительности  $V_{Ti}/V_T$ . Обозначения такие же, как и на рис. 2

Повышение эффективности работы холодильной машины происходит прежде всего, за счет уменьшения работы сжатия пара в компрессоре, так как затраты энергии на повышение давления жидкости при этом несравнимо меньше затрат на сжатие пара. Мощность насоса не превышает 2,5% от мощности компрессора.

Использование схемы паровой холодильной машины с винтовым компрессором и насосом позволяет существенно повысить энергетическую эффективность работы при снижении температуры наружного воздуха, как при полной, так и частичной производительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодильные машины: Учебник / Под редакцией Л.С. Тимофеевского. – СПб: Политехника, 2006. – 944 с.
2. Проспект фирмы «Danfoss» (Дания).
3. Жердев А.А., Колесников А.С., Фролов Ю.Д. Цикл парокомпрессионной холодильной машины с плавающим давлением конденсации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2010. – Вып. 1-2. – С. 137-146.
4. Пекарев В.И., Ведайко В.И., Алексеев А.П., Носков А.Н. Повышение эффективности работы винтового компрессора при уменьшении производительности с помощью подвижного золотника // Процессы холодильных машин и установок низкопотенциальной энергетики: Сб. научн. тр. – СПб.: СПбГАХИТ, 1992. – С. 24-27.
5. Носков А.Н. Регулирование геометрической степени сжатия винтового компрессора при изменении производительности // Компрессорная техника и пневматика. – 1997. – Вып. 1-2. – С. 63-66.
6. Носков А.Н., Зимков А.А. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора золотником и поворотными заслонками // Вестник международной академии холода. – 2008. – № 3. – С. 10-13.
7. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И., Верный А.Л. Винтовые компрессорные машины: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1977. – 256 с.

УДК 577+637

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСГЛУТАМИНАЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

*Шлейкин А.Г.<sup>1</sup>, д.м.н., Данилов Н.П.<sup>2</sup>, к.т.н., Нусупова А.Е.<sup>3</sup>, магистрант  
Университет ИТМО, Россия*

*E-mail: arginbaeva\_azhar@mail.ru, shleikin@yandex.ru, danilov2005@ya.ru*

Перспективы применения трансглутаминазы в производстве кисломолочных продуктов.

Трансглутаминаза (ТГ) – фермент, обладающий способностью сшивать белки между собой, модифицируя таким образом структуру пищевой системы. Постоянно растущее количество исследований свидетельствует об успешности применения ТГ для получения различных видов

кисломолочных продуктов. Наибольшее количество работ посвящено использованию ТГ в производстве йогурта. Так, Зобкова З.С. и др (2014а) изучали структурно-механические характеристики йогурта при внесении ТГ в (0,8 ед./г) вместе с закваской (*S. termophilus* и *L. bulgaricus*) в обезжиренное молоко, нормализованное по белку до 3,2 % и сквашивании в течение 4,25 – 4,5 ч. до кислотности 81 – 83 °Т. Результаты показали, что под действием механической нагрузки вязкость контрольного образца снижается на 50 %, в то время как вязкость образца с ТГ – лишь на 7 %. Кроме того, было показано, что дополнительное внесение в молоко КСБ в количестве 0,25 % с целью модификации консистенции и улучшения органолептических свойств получаемого кисломолочного продукта приводит к ещё более заметному снижению вязкости при действии нагрузки: 58 % для контрольного опыта и 9 % для образца с ТГ, соответственно. Следует отметить, что для включения сывороточных белков в сгусток необходимо проводить предварительную обработку молока (в частности, применять тепловую денатурацию, например, при 85 °С – 5 – 20 мин., при 90 °С – 1,5 – 6,5 мин.). Для получения йогурта рекомендуется диапазон концентраций ТГ 0,02 – 0,025 % масс. (0,6 – 0,8 ед./г белка). Использование ТГ вместо сухого молока или молочного-белковых концентратов (а также балластных полисахаридов, применяемых для стабилизации консистенции) позволяют улучшить реологические свойства без риска получения неоднородной консистенции, ухудшения органолептических свойств и превышения содержания лактозы и минеральных веществ в продукте (Зобкова и др., 2013).

По данным Зобковой З.С. и др. (2014б) применение ТГ в производстве кефира позволяет не только улучшить его реологические и органолептические свойства, но и отказаться от добавления сухого молока для увеличения прочности сгустка; кроме того данная технология способствует выработке собственного лактоферрина микроорганизмами кефирных грибков до 1100 мг/л (контроль 300 мг/л). Лактоферрин является естественным антиоксидантом, предотвращающим раннее старение организма и способствующим сохранению здоровья. Согласно полученным данным для максимальной генерации лактоферрина количество вносимой ТГ составляет 0,02 – 0,03 %, а концентрация закваски не должна быть выше 2,0 %. Предполагается, что каталитическое действие ТГ приводит к активации анаболизма микробной ассоциации и, таким образом, содействует увеличению лактоферрина в готовом продукте (Пономарёв и др., 2014). Немаловажным является и то, что лактоферрин служит источником олигопептида лактоферрицина, который обладает бактерицидной активностью и замедляет порчу молочной продукции (Зобкова и др., 2014б). Этот аспект особенно важен, поскольку увеличение сроков годности пищевых продуктов является актуальной задачей для обеспечения полноценным функциональным питанием населения отдалённых регионов страны.

Изучалось применение ТГ для производства сметаны 10 % жирности. Установлено, что ТГ в концентрации 0,02 % (8 ед. на г белка) увеличивает коэффициент эффективной вязкости в 1,87 раза (до 20,0 Па\*с) по сравнению с контрольным опытом (Харитонов и др., 2016). Отмечаются также пониженный синерезис и замедленное нарастание кислотности продукта при хранении по сравнению с контрольным образцом, полученным без применения ТГ. Изучали также влияние добавки СБ на реологические свойства получаемой сметаны. При увеличении количества сывороточного белка в сквашиваемом сырье наблюдали снижение эффективности действия фермента: коэффициент эффективной вязкости возрастал в 1,32 раза (казеин:СБ = 80:20) и в 1,12 раза (казеин: СБ = 70:30). При увеличении доли СБ и изменении соотношения казеин:СБ более чем 60:40, возникают пороки консистенции. Использование ТГ в производстве творога позволяет повысить выход продукта на 10 – 15 % и снизить количество остаточного белка в подсырной сыворотке. (Шлейкин и Данилов, 2015).

При получении сыра из цельного пастеризованного коровьего молока использовали добавление ТГ (2 ед./л молока) двумя способами: 1) одновременно с химозином; 2) после действия химозина и нарезки полученного сгустка. В обоих случаях выход сыра и влагосодержание были выше, чем в контрольном образце. Содержание белка значительно увеличивается только во втором случае: с 33,8 % в контроле до 39,5 % в опыте. Установлено, что среди молочных белков  $\beta$ -казеины наиболее вовлечены в формирование перекрёстных связей. В случае же одновременного действия ТГ и химозина  $\alpha_{S1}$ -казеины вовлекаются в формируемую матрицу сгустка до образования параказеинатного коагулума. Под действием ТГ снижается степень протеолиза сыра во время созревания, что, предположительно, обуславливает повышение твёрдости сыра с ТГ по сравнению с контролем (Di Pierro et al., 2010). При производстве полутвёрдого сыра ТГ (0,01 % с активностью 40 – 65 EU) способствует улучшению цвета и повышению выхода продукта (Darnay et al., 2017). Сообщается об успешности применения ТГ для получения нежирного (0,12 %) сыра Чеддер при добавлении ферментного препарата в количестве 2 ед./г через 7 минут после введения химозина. При

этом повышается выход сыра за счёт включения в сгусток сыворотки, а также более высокое удержание белка и жира в сгустке по сравнению с контрольным. Использование ТГ также улучшает свойства текстуры низкожирных сыров малой выдержки (Hu et al., 2013).

Одной из задач государственной политики в области здорового питания является производство функциональных молочных продуктов с целью сохранения и укрепления здоровья населения. Для получения таких продуктов может использоваться молочная основа, обогащённая растительным компонентом. В частности, нами показана успешность применения ТГ для производства термостатного (Shleikin & Danilov, 2015) и резервуарного (Shleikin et al., 2016) йогуртов с амарантом в качестве растительного компонента.

#### Приготовление образцов йогурта

Для проведения экспериментов использовали йогурт, полученный из ультрапастеризованного молока (Пятигорский молочный комбинат, Пятигорский, Россия). Содержание белка в молоке 2,8 %, содержание жира 3,2 %. Закваска (ООО «Зеленые линии», Красногорск) – сухие культуры термофильных стрептококков и болгарской палочки AiBi 22.11 R3 (лиофилизированный концентрат *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus* –  $5.0 \cdot 10^{10}$  КОЕ/г). ТГ использовалась в форме препарата TG Next с заявленной активностью 100 ед./г. Амарантовая мука (Российская олива Лтд, Воронеж, Россия) с высокой концентрацией белка (30 % белка, 10 % жиров, 40 % углеводов) была добавлена как растительная основа.

#### Постановка эксперимента

Молоко нагревают до 90 °С, выдерживают при данной температуре 5 мин, затем охлаждают до температуры заквашивания 40 °С и выливают в образцы. Далее добавляют амарантовую муку в количестве 1 %, 2 %, 3 % и перемешивают до образования однородной массы. Затем ТГ была добавлена в образцы в количестве 0,5 ед/г, 1 ед/г, 2 ед/г и перешивали в течении 5 мин. Заквасочные культуры были добавлены в количестве 1 % и перемешаны. Готовые образцы были помещены в термостат при температуре 40 °С в течении 7 часов при pH 4.6 - 4.7. Полученный продукт был охлажден до температуры 4 °С. Образцы были пронумерованы и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Маркировка образцов йогурта

Amaranth flour concentration, % w/v	TG concentration, U/g			
	0	0.5	1	2
0	1	2	3	4
1	5	6	7	8
2	9	10	11	12
3	13	14	15	16

#### Определение активности ТГ

Для анализа брали навеску препарата ТГ массой 1 г, затем она растворялась в 100 мл фосфатно-солевого буфера с pH 7,0. Полученный раствор центрифугировался в течение 10 мин при 3000 об/мин для удаления нерастворенных частиц. Супернатант использовался для определения активности ТГ.

Таблица 2 – Определение активности ГТП в препарате ТГ

Образцы	Оптическая плотность, ед	Активность ТГ, нмоль/(с*л)
1	D=0,012	418
2	D=0,030	823
3	D=0,058	1457
4	D=0,140	2325
5	D=0,18	3106
опыт	D=0,033	913

#### Влияние добавок на вязкость йогурта

Вязкость йогурта с добавлением амарантовой муки без добавления трансклотаминазы в зависимости от времени вращения ротора представлена на рис. 1.

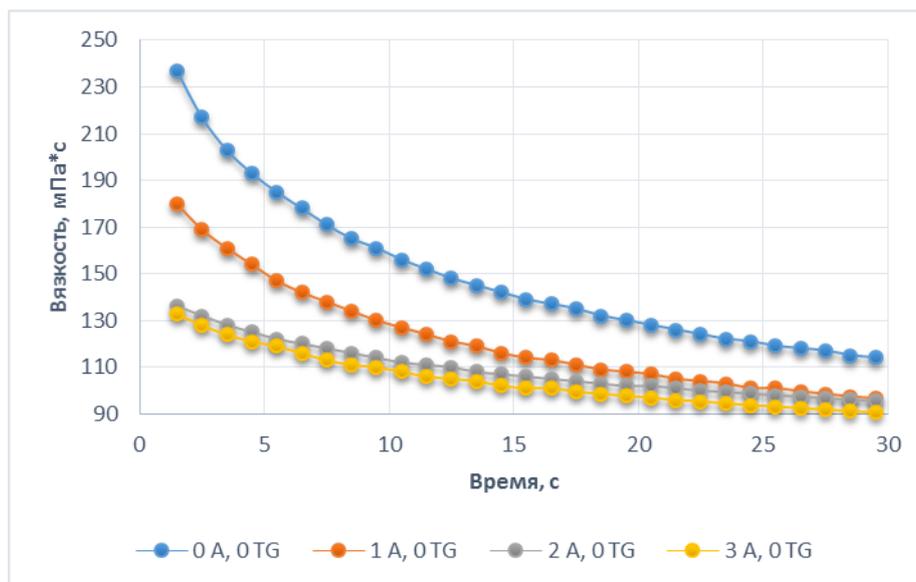


Рисунок 1 – Вязкость йогуртов с добавлением амарантовой муки без добавления ТГ, в зависимости от времени вращения ротора

Из фиг. 2 видно, что увеличение концентрации ТГ сдвигает кривые вязкости в верхней части графика. Использование ТГ, следовательно, позволяет повысить вязкость готового продукта. Зависимость вязкости йогуртов от концентрации амарантовой муки представлена на рис.3.

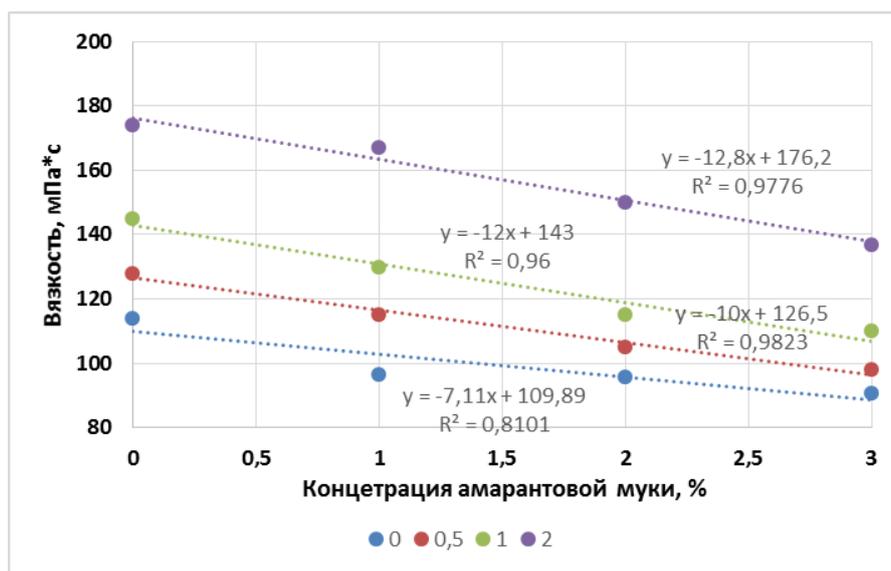


Рисунок 3 – Вязкость йогуртов с добавлением ТГ (см. условные обозначения 0, 0.5, 1, 2 ед/г) в зависимости от концентрации амарантовой муки.

Как видно из фиг. 3, использование муки амаранта снижает вязкость йогурта. Зависимости описываются линейными уравнениями вида  $y = kx + b$ , где  $k$  – это угол наклона прямой, характеризует скорость изменения зависимой переменной. Как видно из графиков на фиг. 3, скорость изменения вязкости йогурта в зависимости от концентрации муки амаранта колеблется от 7 до 12 МПа\*с/% при концентрациях амарантовой муки 0 – 3%.

Зависимость вязкости йогуртов от концентрации ТГ представлена на рис. 4.

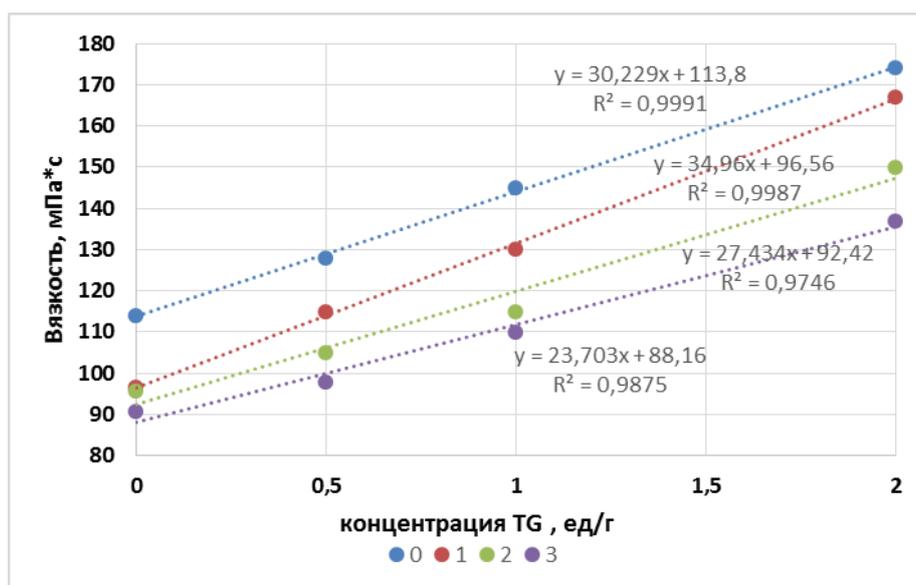


Рисунок 4.- Зависимость вязкости йогуртов от концентрации ТГ

Как видно из рис. 4, использование ТГ повышает вязкость йогурта. Зависимости описываются линейными уравнениями вида  $y = kx + b$ . Как видно из графиков на рис. 4, скорость изменения вязкости йогурта в зависимости от концентрации ТГ составляет от 23 до 30 МПа\*с/(ед/г) в диапазоне концентраций ТГ 0 – 2 ед/г. Анализируя данные рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что среди исследуемых использовать образцы ТГ дает больший положительный эффект на вязкость йогурта из-за влияния связывающего белка. В сравнении с этим, негативное влияние амарантовой муки, связанное с истонченностью эффекта балластных веществ муки, – главным образом, полисахаридов – было меньше. Иными словами, применение ТГ позволяет переопределить негативное влияние амарантовой муки на вязкость конечного продукта и получить йогурт требуемых вязкостных параметров.

Биологическая ценность продуктов, полученных с использованием ТГ.

Медико-биологическая оценка продуктов, полученных с использованием ТГ, показала их высокую пищевую ценность, безопасность и безвредность в экспериментах, проведённых на животных, получавших различные рационы питания, содержащие, или не содержащие продукты с ТГ. При этом коэффициент биологической эффективности оказался выше в группе подопытных животных, кормленных творогом с ТГ, по сравнению с контролем (Зобкова и др., 2016). Авторы установили, что продукт, произведённый с использованием ТГ, превосходит контрольный по показателям продуктивности белка. В опытах не было выявлено значительного влияния ТГ на клеточный состав крови, но косвенные данные указывают на активацию иммунных реакций у подопытных животных. Известно, что некоторые фракции казеина и  $\beta$ -глобулины молока обладают аллергенной активностью. В работах ряда зарубежных учёных установлено, что модификация молочных белков с помощью ТГ приводит к снижению их аллергенности. Применение этого фермента в производстве йогурта, кефира и творога рекомендуется для получения функциональных продуктов, предназначенных для людей с повышенной чувствительностью к молоку или аллергической настроенностью к отдельным его компонентам. Одним из показателей биологической ценности продукта является его безвредность. Увеличивающиеся объёмы производства наиболее востребованных населением молочных продуктов, и прежде всего, творога, с применением ТГ, поставили вопрос о безвредности ферментной технологии для человека. С этой целью учёные ВНИМИ совместно с Московской государственной академией ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина провели токсикологическую оценку творога, изготовленного с добавлением ТГ. По результатам их исследования получено заключение о том, что творог, произведённый с применением ферментного препарата ТГ, не обладает токсичностью, то есть безвреден при его употреблении (Зобкова и др., 2015).

Применение ТГ в технологиях производства молочных продуктов позволяет повысить рентабельность производства за счёт снижения вносимых загустителей и других регуляторов консистенции, а также – вследствие удерживания в образующемся сгустке сывороточных белков. Молочные продукты, при изготовлении которых использовалась ТГ, имеют более высокую

биологическую ценность и не обладают токсичностью. Для отдельных видов молочной продукции, полученной с применением ТГ, получены данные о снижении их аллергенности. Использование ТГ обосновано в производстве пищевых продуктов сложного сырьевого состава. Перспективным направлением дальнейших работ являются более масштабные исследования по разработке ферментных технологий производства функциональных продуктов на основе молока, предназначенных для лечебно-профилактического питания, получения биологически активных веществ, а также для изготовления продуктов длительного хранения. Представленный здесь краткий обзор показывает наличие научных заделов и теоретических предпосылок для реализации инновационных технологических задач пищевой индустрии при использовании ТГ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Применение трансглутаминазы в производстве пищевых продуктов // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», Материалы конференции. - 2015. - № 2. - С. 358-361.
2. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Продукт 21-го века: Амарант как источник биологически активных веществ // VI Международная научно-техническая конференция «Казахстан-Холод 2016» (1-2марта 2016г.): сборник докладов конференции - 2016. - С. 104-107.
3. Shleikin A.G., Danilov N.P., Argymbaeva A.E., The use of transglutaminase for stirred yoghurt production with a first grade amaranth flour addition // 29th EFFoST International Conference: Food Science Research and Innovation: Delivering sustainable solutions to the global economy and society, 10-12 November 2015, Athens, Greece: Conference proceedings – 2015.- Vol. 2.- PP. 1930.
4. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Изучение влияния препарата ТГ на структурные свойства йогурта // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2015.
5. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е. Модификация структуры йогурта с помощью амарантового экстракта и трансглутаминазы // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств.- 2015.- № 2.
6. Шлейкин А.Г., Баракова Н.В., Петрова М.Н., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Влияние сахарного сиропа, меда и злаков на реологические свойства йогурта // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2015. - № 2. - С. 24-34.
7. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Красникова Л.В. Влияние трансглутаминазы на связывание сывороточных белков // Пищевая промышленность. № 7. -2009.- С. 9.
8. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Рыков С.В. Улучшение структурных свойств йогурта с помощью амарантового экстракта и трансглутаминазы // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых продуктов», 2015. -№ 3. -С. 4-21.
9. A.G. Shleikin, D.V. Zipaev, N.T. Zhilinskaya, N.V. Barakova, N.P. Danilov, A.E. Argymbaeva. Structure properties of stirred yoghurt made with transglutaminase and amaranth. Carpathian Journal of Food Science and Technology, 2016, Vol. 8, No. 2.- P. 71 – 80.

УДК 637.03

#### УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МЯСА И МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

*Ребезов М.Б.<sup>2,3</sup>, д.с-х.н., Оксханова Э.К.<sup>1</sup>, PhD-докторант., Асенова Б.К.<sup>1</sup>, к.т.н., PhD.  
Государственный университет имени Шакарима г. Семей, Казахстан  
Уральский государственный аграрный университет, Россия  
Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса, Россия  
E-mail: eleonora-okushan@mail.ru, assenova1958@mail.ru, rebezov@ya.ru*

На современном этапе развития пищевой индустрии большое значение уделяется совершенствованию технологий и интенсификации технологических процессов за счет внедрения безотходных технологий, биотехнологических, электрических, физических и др. методов обработки с целью расширения ассортимента и обеспечения высокого качества продукции из сырья животного и растительного происхождения.

Одним из таких методов обработки является применение акустических методов, при котором обработка сырья происходит за счет звуковых колебаний. Акустические колебания делятся на следующие области: инфразвуковая  $0 \div 20$  Гц; звуковая  $20 \div 2 \cdot 10^4$  Гц; ультразвуковая  $2 \cdot 10^4 \div 10^8$  Гц; гиперзвуковая  $> 10^8$  Гц [1].

За последнее десятилетие ультразвуковая обработка получила широкое распространение в пищевой промышленности как альтернативный метод обработки без воздействия высоких температур. Ультразвуковая обработка пищевых продуктов считается перспективной технологией для ускорения технологического процесса без нарушения качества пищевых продуктов [2].

Ультразвук - это упругие колебания и волны с частотой от 15-20 кГц до  $10^9$  Гц, которые подразделяются на: низкочастотные (20-100 кГц); среднечастотные (100 кГц – 1 МГц) и высокочастотные (1-10 МГц) [3]. Ультразвуковые волны обладают большой энергией и способны распространяться в твердых, жидких и газообразных средах. Ультразвуковые колебания способны изменять агрегатное состояние вещества, диспергировать, эмульгировать его, изменять скорость диффузии, кристаллизации и растворение веществ, активизировать реакции, интенсифицировать технологические процессы [4, 5].

Методы ультразвуковой обработки распространены и в мясной промышленности. Так, применение ультразвука позволяет менять физические, биохимические и микробиальные характеристики мяса и мясных продуктов [6]. Ультразвуковое воздействие применяют при посоле мяса для увеличения степени диссоциации ионов поваренной соли и выхода готовых изделий; при обработке эмульсий для уменьшения размера жировой фазы; для улучшения структурно-механических, функционально-технологических свойств мясного сырья [7, 8].

Ультразвук в комбинации с другими методами позволяет улучшить основные показатели качества мяса, такие как нежность, функциональные свойства белков, срок хранения и структуру. Вдобавок, применение ультразвукового воздействия при посоле снижает количество соли, влияет на выход продукта и инактивирует микроорганизмы в мясе и мясных продуктах. Как было сказано выше, ультразвуковое воздействие положительно влияет на нежность мяса, разрушая мышечную целостность и изменяя структуру коллагена. Ультразвуковая обработка уменьшает время посола без отрицательного влияния на качество мяса, при этом улучшая растворимость соли [9].

Большинство исследований по применению ультразвуковой обработки отмечают положительное воздействие ультразвука на качественные показатели мяса и мясных продуктов. К примеру, в работе Dolatowski Z. J., Stadnik J. установлено, что при воздействии ультразвуком наблюдается повышение показателя влагоудерживающей способности (ВУС) почти в два раза по сравнению с контрольным образцом мяса без обработки ультразвуком [10]. В работе Mason описано, что ультразвуковое воздействие во время посола улучшает водосвязывающую способность, цвет и увеличивает выход продукта [11].

Антиповой Л.В. и Глотовой И.А. при подготовке коллагенсодержащего сырья для производства колбасной оболочки для повышения эффективности гидролиза балластных белковых фракций использовали ультразвуковую обработку коллагенсодержащего сырья. При этом было установлено, что рациональное время обработки составляет – 5-10 мин при частоте вибрации в интервале 16-20 кГц. Кратковременное воздействие ультразвуком перед обработкой сырья ферментами способствует разрыхлению нативной структуры тканей, разрушению белково-углеводных и белково-липидных комплексов, обеспечивая лучший доступ ферментов к реакционно-способным участкам субстратов и более полный гидролиз балластных компонентов [12].

Исследованиями Цирульниченко Л.А. экспериментально установлены оптимальные параметры воздействия ультразвука на рассол, используемый в производстве натуральных и рубленых полуфабрикатов из мяса цыплят-бройлеров (ЦБ). Воздействие ультразвука позволяет улучшить функционально-технологические свойства, влияет на ВУС, причем наблюдается рост значения показателя уже на первой стадии посола: для мяса ЦБ, изготовленного из охлажденного сырья, он составляет 82%, для мяса ЦБ из замороженного сырья - 80%, для мяса ЦБ из дефростированного сырья - 75%. ВУС при использовании УЗ повышается в среднем на 20% относительно продукта по прототипу. Для сырья второй и тощей категории упитанности отмечается увеличение ВУС на 6% и увеличение выхода на 4% [8].

Яричевской Н.Н. были проведены исследования по обработке ультразвуком крабового сырья в ходе, которого установлено, что ультразвуковая обработка обеспечивает увеличение нежности мяса, влагосвязывающей способности (ВСС) и способствует минимизации потерь массы сырья при варке [13].

Шлыков и др. (2013) выявили положительно влияние ультразвукового акустического поля на функционально-технологические свойства модельных фаршей. В работе отмечается, что ультразвуковая обработка привела к увеличению выхода и показателей стабильности эмульсии и ВСС модельных фаршей с молочно-белково-углеводными препаратами. Оптимальные параметры ультразвуковой обработки по данным авторов, находятся в пределах 15-19 мин и при частоте 18-20 кГц [14].

В работе Chang и др. изучено влияние ультразвукового воздействия на качество и структуру мяса говядины. В результате исследований выявлено, что ультразвук незначительно влияет на цвет мяса, уменьшая желтизну мяса при обработке в течение 30 мин. Ультразвуковое воздействие уменьшает диаметр мышечных волокон Semitendinosus - полусухожильной мышцы [15].

Ультразвуковая обработка применяется при извлечении коллагена. В работе Li и др. (2009) были проведены исследования по извлечению коллагена из мышечных сухожилий говядины, используя пепсин под воздействием ультразвука. Результаты показали, что воздействие ультразвука повышает экстракцию коллагена на 124% и снижает время обработки [16].

Поздняковой Ю.М. и др. исследовано влияние ультразвуковой обработки на выход экстрактивных веществ при водной экстракции мышечной ткани трепанга (морского беспозвоночного животного). Авторами отмечено, что ультразвуковое воздействие разрушает структуру белков соединительной ткани, что способствует более глубокой степени гидролиза при обработке ферментными препаратами. Наилучшими условиями проведения ультразвуковой обработки следует считать 5 мин при мощности 200 Вт/см<sup>2</sup> или 10 мин при мощности 100 Вт/см<sup>2</sup> [5].

Стоит отметить антимикробный и бактерицидный эффект ультразвукового воздействия на сырье растительного и животного происхождения. Данный эффект зависит от интенсивности звука и кавитации. Под действием ультразвука быстро погибают грамположительные и грамотрицательные анаэробные и аэробные, патогенные и непатогенные бактерии. Весьма чувствительны к ультразвуку палочковидные, кокковые, лучистые грибки и другие микроорганизмы [1, 6].

По результатам обзора научных трудов по применению ультразвуковой обработки мяса и мясных продуктов следует отметить его положительное влияние на функционально-технологические и структурно-механические характеристики, сокращая при этом длительность проведения некоторых технологических процессов (посол, экстракция, эмульгирование, гидратация и др.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов: справочник / Под ред. И.А. Рогова. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 288 с.
2. Alarcon-Rojo A.D., Janacia H., Rodriguez J.C., Paniwnyk L., Mason T.J. Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, Volume 107, September 2015, P. 86-93.
3. Chandrapala, J. Low intensity ultrasound applications on food systems. *International Food Research Journal* 22(3): 888-895 (2015).
4. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 178 с.
5. Позднякова Ю.М., Ким Г.Н., Ковалев Н.Н., Перцева А.Д. Биоконверсия мышечной ткани трепанга методом ультразвуковой обработки и ферментативного гидролиза // *Вестник КрасГАУ*. 2015. №4. – С. 54-59.
6. Jayasooriya SD, Bhandari BR, Torley P, D'Arcy BR (2004) Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *Int J Food Prop* 7(2):301–319.
7. Рогов И.А. Физические методы обработки пищевых продуктов /Горбатов А.В.// М.: Пищевая промышленность, 1974.- 380с.
8. Цирульниченко Л.А. Формирование улучшенных потребительских свойств продуктов переработки мяса птицы, выработанных с использованием эффектов ультразвукового воздействия на основе водоподготовки: дис. канд. техн. наук: 05.18.15 // ЮУрГУ (Национальный исследовательский университет). – Орел, 2014. – 182с.
9. Declan J. Troy, Kumari Shikha Ojha, Joseph P. Kerry, Brijesh K. Tiwari. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview // *Meat Science* . - 2016.- №120. - P. 2-9.
10. Dolatowski Z. J., Stadnik J. Effect of sonication on technological properties of beef *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2007. 15(1). P. 220-224.
11. Mason, T. J., 1998. Power ultrasound in food processing. The way forward. In: Povey, M.J.V., Mason, T.J. (Eds.), *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic and Professional, Thomson Publishing, UK, pp. 105-127.
12. <http://www.findpatent.ru/patent/209/2096966.html>
13. Яричевская Н.Н. Обоснование и разработка технологии мороженой продукции из крабов с использованием ультразвука: автореферат канд. техн. наук, 05.18.04 – ФГУП «ВНИРО». – Москва, 2013. – 24с.
14. Шлыков С.Н., Омаров Р.С., Вобликова Т.В. Исследование влияния ультразвукового акустического поля на эмульгированные фаршевые системы и качественные показатели готового продукта // *Научный журнал КубГАУ*. — 2013. — №93 (09). — <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/61.pdf>
15. Hai-Jun Chang, Xing-Lian Xu, Guang-Hong Zhou, Chun-Bao Li, Ming Huang. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing // *Food Bioprocess Technol.* — 2012. — №5. — С. 285-297.
16. Li, D., Mu, C., Cai, S. and Lin, W. 2009. Ultrasonic irradiation in the enzymatic extraction of collagen. *Ultrasonics Sonochemistry* 16(5): 605-609

## ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF SOLAR ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEM FOR DOMESTIC APPLICATION

*Ostapenko Oleksii, Candidate of Sciences., Yakovleva Olga, Candidate of Sciences.,  
Khmelniuk Mykhailo, Doctor of Sciences  
Odessa National Academy of Food Technology, Ukraine  
E-mail: ostapenko\_alexei@outlook.com*

In recent years' heat pumps market is growing rapidly. It is directly linked to increasing energy needs of humanity and the simultaneous depletion of traditional non-renewable energy resources in the world as a whole and in individual regions. Heat pumps are widely used in the chemical and food industries, housing and communal services. Most of the power equipment has high emission rates of energy flows to the atmosphere (refrigeration plants condensation heat, waste water enterprises, the flue gases from internal combustion engines and boilers). The use of heat pumps allows reducing greenhouse gas and carcinogenic substances emissions and, thus reducing human impact on the environment.

The heat pump performance is based with following factors: the temperature of heat source, schematic diagram of the heat pump, climate conditions of the region, working fluids of heat pump (refrigerants and intermediate coolants), heat pump elements (type of compressors, heat exchangers, control systems). There are various types of heat pumps, such as: vapor compression, adsorption, absorption and ejector heat pump systems which are able to use a variety of low-grade heat sources. Due to a simple circuit design vapor compression heat pumps are widely used, especially for domestic applications.

In 2008 more than 25% of European heat pump market share was represented by ground-source heat pumps (Forsén 2008). According to EUObserver (2007) and EHPO (2008) more than 690,000 heat pump units with 7,300 MWt of capacity were installed in Europe in 2006. The total installed capacity has been increasing in recent years and in 2013 reached 24 GW with estimate useful energy production of 13 TWh. Integration of renewable energy sources in heating and cooling applications was approximately 8,26 TWh avoiding 2,12 Mt of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions. The global installed capacity has reached about 15,400 MWt, and annual energy use is estimated to be 87,500 TJ (Lund 2005). The worldwide GSHP capacity has seen high growth recently. According to Le Feuvre (2008) annual growth rates have exceeded 10% over the last 10 years, mostly in North America and European countries. According to European Heat Pump Market and Statistics Report the number of installed heat pumps was more than 7,5 million units in 2015. Geothermal energy is available everywhere and Ukraine has a potential to effectively use geothermal energy. Nowadays ground- source heat pumps are a small but growing fraction of the global installed base of space- conditioning equipment [1-3].

### 2. Refrigerant Selection

As working substance refrigerant R410A was selected. When just considering the compressor COP, R410A does not seem to be the best solution. As soon as we extend the scope of the analysis and consider the complete heat pump system immediate advantages are highlighted. Focusing first on the condenser, where the hot water is produced, we can see, that due to the fact that R410A has no glide the dew condensing temperature is lower than with R407C by an average of 2K, leading to higher system efficiency. The sub-cooling effect plays an important role. R410A with zero glide is able to maintain a constant sub-cooling of 3.5K without a liquid receiver. R407C systems need a liquid receiver to keep a stable sub-cooling of 1.5K. In the air coil the same evaporating temperature is used for R410A and R407C. One additional effect of the absence of glide is that the unit will need less defrost cycles but this effect has not been taken into account in this paper because it strongly depends on the fin and air flow design [4].

### 3. Solar assisted heat pump design

Approximately 1/3 of the total energy consumption comes from heating buildings in Ukraine. Energy-saving building technologies, as well as the cost of the heating system can significantly reduce energy consumption, thereby helping to save natural resources and protect the earth's atmosphere. Considerable savings potential lies in the system of hot water. Thus, the solar collectors in combination with the ground-source heat pump in our latitudes, it is in the summer months represent the most interesting alternative to the use of the conventional heating systems.

Following system was proposed for a house about 200 m<sup>2</sup> floor areas. Home has two heating system: conventional natural gas heater and a ground-source heat pump. The study period was considered 170 days (average heating period). A schematic diagram of the ground source heat pump system is given on fig. 1.

Many techniques have been recently proposed in order to improve the cycle performance, more details are given by Wang, 2000, Chap.9 (Wang, 2000). In the current work, a heat exchanger has been added between the suction line and liquid line[5].

The model and assessment was performed using research methodology applied earlier by Rosen and Dincer (2007), Ozgener, O., Hepbasli, A. (2005) to a solar assisted GSHP system. The analysis of ground-source heat pump unit is partly described in this paper [6-7].

Energy, exergy and mass flows balances are provided for the system and all its components.

A general mass balance can be expressed in rate form as:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

where  $\dot{m}$  is the mass flow rate, and the subscript *in* stands for inlet and *out* for outlet.

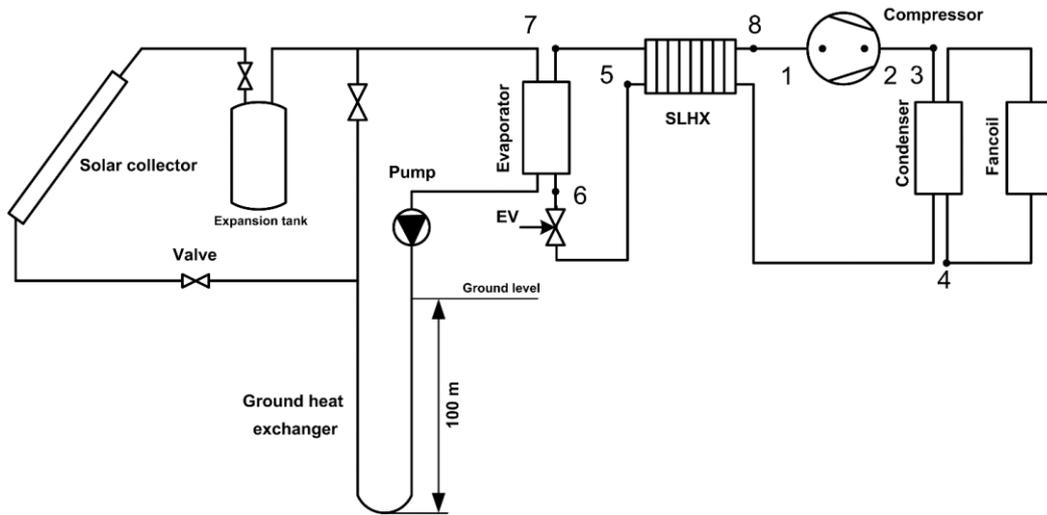


Figure 1 – Schematic diagram of the heat pump system components

Energy and exergy balances, equating total energy (exergy) inputs to total energy (exergy) outputs, can be written as follows:

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (2)$$

$$\sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} - \sum \dot{E}x_d = 0 \quad (3)$$

#### 4. Solar collector energy model

Oriented to the south and set at an angle of 30 ° to 65 ° to the horizon, solar collector is able to receive the yearly maximum amount of radiant energy. But even noticeable deviations from the above-mentioned conditions (the orientation of the south-west to south-east, the angle of inclination from 25 to 70 degrees), the solar system will run at peak efficiency (Fig. 2).

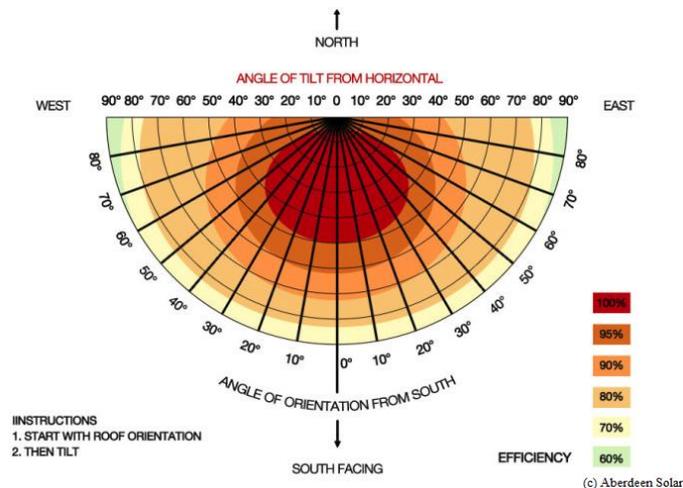


Figure 2 – Influence of orientation, inclination and shade on the received radiant energy

A smaller angle is optimal in the event that the surface of the collector cannot be oriented to the south. In this case, the solar collector, located at an angle of 30 degrees, even if the orientation is south-west, with an azimuth of 45 ° will still provide up to 95% of the optimal solar power. And even when the orientation is east or west, you can still receive up to 85% of energy, with a roof inclination angle of 25 ° to 40 °. If the angle of the collector is greater, higher amount of incoming energy will be received through the year. Therefore, collectors used for the maintenance of heat pump system, installed at a large angle. This reduces the amount of excess heat in the summer, while the efficiency of the collectors in winter sunlight falling under a smaller angle optimized. Vacuum tube collectors with heat pipes should not be set at an angle less than 20 °, since in this case device will not work effectively due to lack of effect of natural convection.

When installing on an inclined roof angle of the collector is determined by the steepness of the roof. The absorber reservoir may take the maximum amount of energy if the collector plane perpendicular to the direction of the sun (Fig. 3).

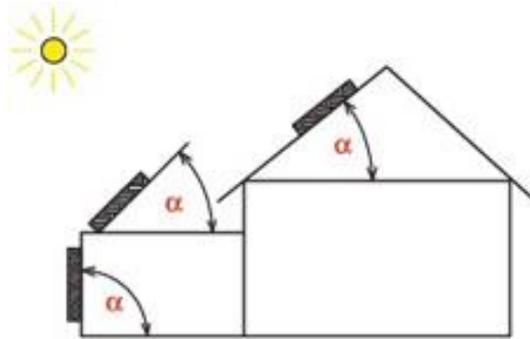


Figure 3 – Solar collector installation angle

Since the insolation in the middle of the day is the most intense, the collector plane should be oriented as far as possible to the south. However, good results can be achieved in case of deviations from the south to 45 ° south-east or south-east. Larger deviations can be compensated by a slight increase in the surface area of the reservoir. Solar collectors can be mounted and fixed on the surface of any buildings, structures or directly on the ground. Therefore, the minimum allowable angle at which they should be installed, is 25 °.

Insolation is a flow of energy, the sun emitted uniformly in all directions. On the outer surface of the Earth's atmosphere is constantly affected part of the flow of radiant energy output of 1.36 kW / m<sup>2</sup>. This value is called the solar constant. When passing through the earth's atmosphere due to solar radiation is attenuated reflection effects, absorption and scattering of dust particles and gas molecules. Part of the radiation which passes unimpeded through the atmosphere, falls directly onto the surface of the Earth; This so-called direct radiation. Part of the solar radiation that is reflected or absorbed by dust particles and gas molecules, hits the Earth's surface non-directionally; this so-called scattered radiation. The sum of direct and diffused solar radiation is called the total radiation Unit. Under optimal conditions (cloudless sky, the middle of the day) it reaches the max. 1000 W / m<sup>2</sup>. Solar collectors can, depending on their type and dimensions of the installation, use about 75% of total solar radiation.

The collected useful energy is transferred to the hot liquid storage tank and the evaporator of the heat pump is supplied with input thermal energy. Necessary equations for calculating the solar radiation,  $I_T$ , are taken from [8-9].

The total irradiance on a tilted surface under clear sky conditions is calculated by the equations depending upon  $R_b$  which is the ratio of the instantaneous direct solar radiation on a tilted surface to the instantaneous direct solar radiation on a horizontal surface:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta} \quad (4)$$

Table 1 – The average annual amount of solar energy falling on a daily basis on a horizontal surface in different regions of Ukraine.

The average figure for the last 22 years (According to NASA)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year avg.
Odessa, Latitude 46.30 N, Longitude 30.46 E	1.08	1.78	2.68	3.87	5.4	5.7	6.39	5.63	3.96	2.45	1.06	0.87	3.41

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + (I_b + I_d) \rho \frac{1-\cos\beta}{2} \quad (5)$$

Solar collectors are modeled with the formulation as suggested by Duffie and Beckman [8-9]:

$$\dot{Q}_u = A_c I_T \eta_c \quad (6)$$

where  $Q_u$  is the useful energy collected in system collectors,  $A_c$  – the collector area, and the collector efficiency,  $\eta_c$ , is:

$$\eta_c = F_R \left[ (\tau\alpha) - U_L \frac{T_{in} - T_0}{I_T} \right] \quad (7)$$

In this equation,  $T_{in}$  is the collector inlet temperature and  $T_0$  – the environment temperature. A water storage tank is placed after the solar collectors as shown in fig. 1. Perfect mixing within the tank is assumed. If the rate of heat addition and removal for a reasonable time period of  $\Delta t$  are assumed to be constant, equations can be written for each time interval as suggested by Duffie and Beckman [8-9]:

$$T_{st,new} = T_{st,old} + \frac{\Delta t}{(mc_{vw})_s} [\dot{Q}_u - \dot{Q}_e - (UA)_s (T_{st} - T_0)] \quad (8)$$

In eq. (8)  $Q_{evap}$  is the extracted energy from the storage tank in the evaporator,  $T_s$  – the main storage temperature for the period, and  $m$  – the storage tank mass.  $(UA)_s$  is taken as 11.1 W/K [8-9].

5. Energy and exergy analysis.

For analysis purposes, the following assumptions were made:

1. The storage tank temperature, which is connected to storage tank mass, collector type and area, is calculated for hourly input from 08:00 to 18:00.
2. All processes are steady-state and steady-flow with negligible potential and kinetic energy effects and no chemical or nuclear reactions.
3. Heat transfer to the system and work transfer from the system are positive.
4. In this study, the reference state is taken to be the state of environment at which the temperature and the atmospheric pressure on 15 July 2016 were 30°C and 101.3 kPa, respectively. The thermodynamic properties of water, air and R410A are found using the REFPROP software package.

The mass balances of the solar collector can be calculated as:

$$m_1 = \dot{m}_7 = \dot{m}_{w,col} \quad (9)$$

Energy balances can be determined as follows.

Heat balance of the storage tank:

$$Q_t = \dot{Q}_e = \dot{m}_{w,st} \cdot c_{p,w} (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (10)$$

Heat balance of the solar collector:

$$Q_{col} = \dot{m}_{w,st} \cdot c_{p,w} (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (11)$$

The conventional parameter that has been used to describe the heat pump performance is COP (Coefficient of Performance), which is the ratio of the quality of the useful heat output to the quantity of work driving the compressor:

$$COP_{GSHP} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{comp}} \quad (12)$$

in terms of electrical input

$$COP_{GSHP} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{comp,e}} \quad (13)$$

for the whole system

$$COP_{sys} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{comp} + \dot{W}_{pumps} + \dot{W}_{fans}} \quad (14)$$

for the whole system in terms of electrical input,

$$COP_{sys} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{comp,e} + \dot{W}_{pumps,e} + \dot{W}_{fans,e}} \quad (15)$$

The specific flow exergy of refrigerant, air or water is evaluated as

$$ex = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (16)$$

where  $h$  is enthalpy,  $s$  is entropy, and the subscript zero indicates properties at the dead (reference) state (i.e., at  $P_0$  and  $T_0$ ).

The exergy rate can be determined as:

$$Ex = \dot{m} \cdot ex \quad (17)$$

The exergy efficiency is expressed as the ratio of total exergy output to total exergy input:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Ex}_{output}}{\dot{Ex}_{input}} \quad (18)$$

where “output” refers to “net output” or “product” or “benefit” or “desired value”, and “input” refers to “driving input” or “fuel”.

The exergetic coefficients of performance of the GSHP unit and whole system are as follows:

$$COP_{ex,GSHP} = \frac{\dot{Q}_c(1-\frac{T_0}{T_c})}{\dot{W}_{comp,e}} \quad (19)$$

$$COP_{ex,sys} = \frac{\dot{Q}_c(1-\frac{T_0}{T_c})}{\dot{W}_{comp,e} + \dot{W}_{pumps,e} + \dot{W}_{fans,e}} \quad (20)$$

The exergy efficiency of the heat exchanger (condenser or evaporator) is determined as the increase in the exergy of the cold stream divided by the decrease in the exergy of the hot stream, on a rate basis, as follows:

$$\varepsilon_{HE} = \frac{\dot{E}x_{cold,out} - \dot{E}x_{cold,in}}{\dot{E}x_{hot,in} - \dot{E}x_{hot,out}} = \frac{\dot{m}_{cold}(ex_{cold,out} - ex_{cold,in})}{\dot{m}_{hot}(ex_{hot,in} - ex_{hot,out})} \quad (21)$$

Exergy destruction in solar collector:

$$Ex_{d,col} = \dot{m}_{w,col}(ex_9 - ex_{10}) - A_c I_T \left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right) \quad (22)$$

Exergy efficiency of solar collector:

$$\varepsilon_{col} = \frac{\dot{E}x_{out} - \dot{E}x_{in}}{A_c I_T \left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right)} = \frac{\dot{m}_{w,col}(ex_{out} - ex_{in})}{A_c I_T \left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right)} \quad (23)$$

## 6. Results and discussion

Ground-source heat pump was calculated according to European Standard EN 14511-2:2013. Heat pump operation modes were selected B0/W35 and B0/W55. The European Standard EN 14825 was used for the domestic hot water production in the seasonal efficiency calculation. A strength of standard prEN14825 is that it includes all kinds of heat pumps (except exhaust air heat pumps). The model treats heat pumps both in heating and cooling operation. The fact that the heat pump is tested in exactly part load should result in more sufficient results compared to degradation coefficient etc. The model is foreseeable and quite easy to follow, though it is not completely clear with its definitions of part loads.

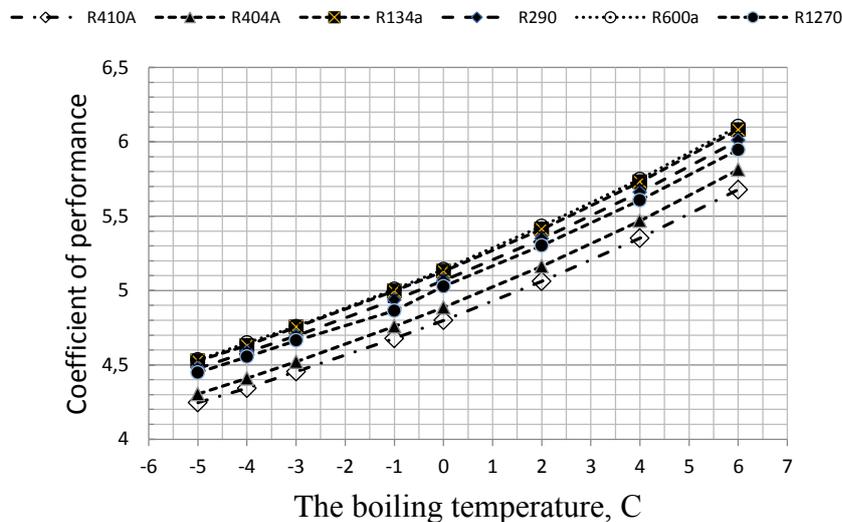


Figure 4 – Coefficient of performance from refrigerants boiling point dependence  $COP=f(t_0)$

For analysis purposes different refrigerants were considered such as: R134a, R404a, R410A, R290, R600a, R1270. Coefficient of performance from refrigerants boiling point dependence is shown on figure 4. Results show that the maximum thermodynamic efficiency of the heat pump corresponds to R600a and R134a as a working fluid, the minimum - R410a. In the case of R600a and R134a heat pump COP is 7.6% higher in comparison with refrigerant R410a. These results are also connected with molecular weight of different refrigerants [10-11]. Large values of evaporation enthalpy are found for substances with light molecule weight and the energy losses across a compressor’s valves are high when the molecule weight is high. The thermal transformation coefficient for R290 and R1270 are practically the same range. Analysis of the of R134a and R600a performance shows that in terms of ease of use and maintenance R600a is more preferred. Refrigerant R600a is a natural working substance, in the case of depressurization of the system can be easily refueled in contrast to the blend refrigerant R134a.

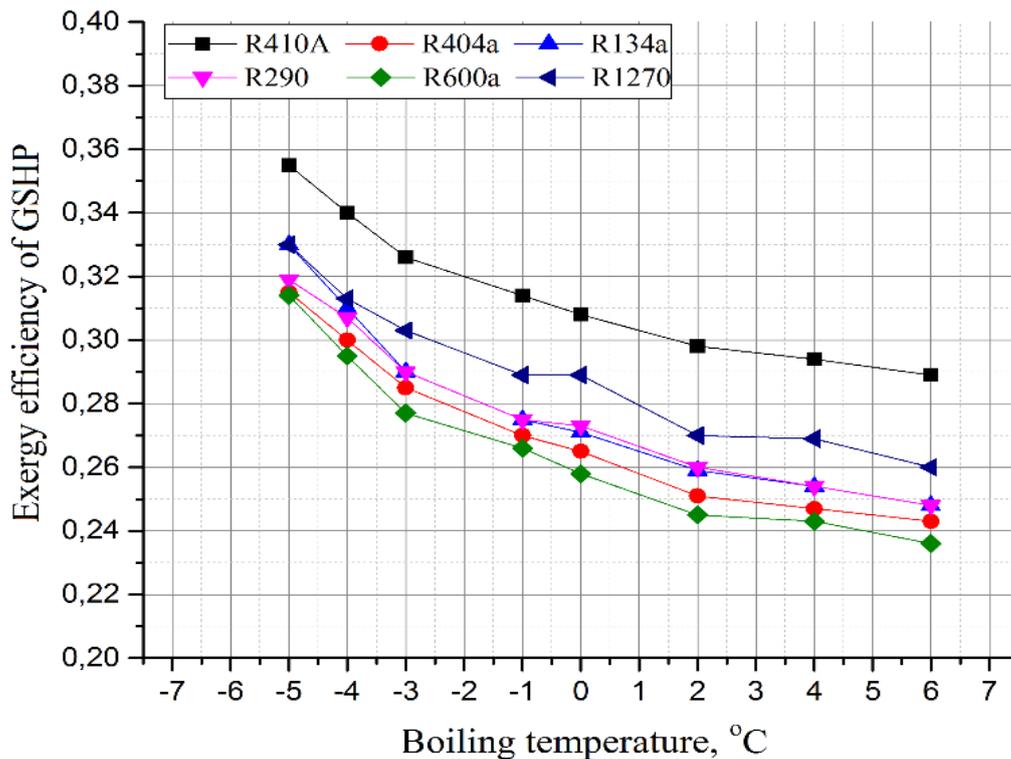


Figure 5 – Exergy efficiency of ground source heat pump unit.

Figure 5 presents exergy efficiency data for GSHP unit at different boiling temperature for all considered in Table 1 refrigerants. From this graph, the lowest value of exergy efficiency for the GSHP unit are for R600a in the range from 23.4% to 31.7% and highest for R410A in the range 29% to 35.6% respectively at the boiling point  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  and reference state temperature  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 7. Conclusions

"Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035" provides radical changes in the structure of heat sources. The main factor that causes these changes is a sharp increase in world prices for natural gas, oil and petroleum products. Therefore, it is forecasted the gradual replacement of natural gas boilers and CHP plants majority that currently provide the vast proportion of the thermal energy production with new technologies, including the use of environmental heat, renewable energy sources (solar, wind, water, geothermal heat) and especially heat pumps. This research of the solar assisted heat pump allows us to analyze efficiency of the solar assisted ground-source heat pump system and determine efficiency of solar collector. In this paper, solar assisted ground source heat pump system with indirect expansion for space heating using a working fluid R410A was investigated. The discharge temperature of R410 is perfect for high temperature applications (domestic hot water production). In this case, it can be said that this simulation is reliable for determining the sizing and selection of system requirements such as collector type and area and storage tank mass for domestic application in south Ukrainian region. Insolation data was provided for last 22 years' period.

The exergy analysis allows to evaluate the amount of exergy destroyed for each component of the system and determine which component weights more on the overall system inefficiency. Depending on the selected collector type and area, storage tank mass and condenser capacity, exergetic analysis can be applied on the system and exergy destruction rate, improvement potential and exergy efficiencies of the system components can be estimated. Before installation of the system, the equipment which have the high irreversibility values may be improved and so overall performance of the system can be increased. As a result, the simulation and results is a helpful guide to engineers for design of solar assisted heat pump systems.

## REFERENCES

1. Goetzler W., Zogg R., Lisle H., Burgos J. Ground- Source Heat Pumps: Overview of Market Status, Barriers to Adoption, and Options for Overcoming Barriers. 2009, - Navigant Consulting, Inc. – 14-18 p.
2. Angelino L., Dumas P., Latham A. EGEN Market Report Update December 2014. European Geothermal Energy Council. – 2014. 24p.

3. GROUND-REACH. Inventory of EU Legislation on Ground Coupled Heat Pumps (GCHPs). 2008. – 164p.
4. Emerson Climate Technologies. R410A - R407C A Refrigerant Analysis for Air to Water Heat Pump Applications. 2010, 8p.
5. Kharseh M. Ground-Source Heat Pumps and Energy Saving, Heat Exchangers - Basics Design Applications, 2012. – Dr. Jovan Mitrovic (Ed.), ISBN: 978-953-51-0278-6, InTech, 459-476p.
6. Hepbasli, A., Dincer, I., and Rosen, M.A.: Exergy Analysis of Heat Pump Systems for Residential Applications, Proceedings, 7th International HVAC+R Technology Symposium, Istanbul, Turkey, (2006), 8-10 May.
7. Hepbasli, A.: Thermodynamic Analysis of a Ground-source Heat Pump System for District Heating, International Journal of Energy Research, 7, (2005), 671-687.
8. Duffie, J. A. , Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Process, University of Wisconsin, Madison, John Wiley and Sons, Interscience Publications, New York, USA, 1980
9. Atmaca, I., Kocak, S.: Theoretical Energy and Exergy Analyses of Solar Assisted Heat pump Heating System, THERMAL SCIENCE, Year 2014, Vol. 18, Suppl. 2, pp. S417-S427
10. Winandy, Eric and Hundy, Guy, "Refrigerant and Scroll Compressor Options for Best Performance of Various European Heat Pump Configurations" (2008). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 895. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/895>
11. O. Ostapenko, P. Stoyanov, O. Yakovleva, M. Khmelniuk HEAT PUMP TECHNOLOGY – POTENTIAL IMPACT ON ENERGY EFFICIENCY PROBLEM AND CLIMATE ACTION GOALS WITHIN UKRAINIAN ENERGY SECTOR, Refrigeration engineering and technology, 51(6), Odessa, Ukraine, 2015. – 66-71p. DOI: /10.15673/0453-8307.6/2015.44781
13. EUROPEAN STANDARD BS EN 14511-2 (2013), Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 2: Test conditions, published by CEN on 31 August 2013
14. Final Report IEA HPP Annex 28. Test procedure and seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space and domestic hot water heating. 2005. – 114p.
15. EUROPEAN STANDARD BS EN 14825 (2016), Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling — Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance, published by CEN on March 2016.

УДК 697: 662. 99

## **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАННЫХ ВОДНЫХ ПОТОКОВ И СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Петраш В.Д., д.т.н., Поломаный А.А., аспирант., Даниченко Н.В., к.т.н., Гераскина Э.А., к.т.н.  
Академия строительства и архитектуры, Одесса Украина  
E-mail: petrant@ukr.net, alex.odessa.ukr29292929@gmail.com, dank.imars@ukr.net, poselok@te.net.ua*

Использование солнечной энергии с утилизацией теплоты отработанных водных потоков для теплоснабжения зданий плавательных бассейнов является одним из перспективных направлений по энергосбережению [1], которое способно обеспечить снижение расхода сжигаемого традиционного топлива и охрану окружающей среды от газопылевого и теплового загрязнения.

Схема со структурно-функциональным устройством предлагаемой системы, которая разработана на основе [2], представлена на рис 1. Характеристики и потенциал отработанных водных потоков, поступающих от указанных подсистем, изложены в [3].

Система содержит парокompрессионный контур для отбора теплоты из отработанных водных потоков в испарителе И1, а также для отбора энергии солнечного излучения от циркулирующего энергоносителя после бака-аккумулятора в испарителе теплового насоса И2, где происходит дальнейшее снижение его температуры.

Известно [4], что эффективность использования энергии солнечного излучения в парокompрессионных системах теплоснабжения существенно возрастает со снижением среднего температурного уровня циркулирующего энергоносителя в гелиоконтуре.

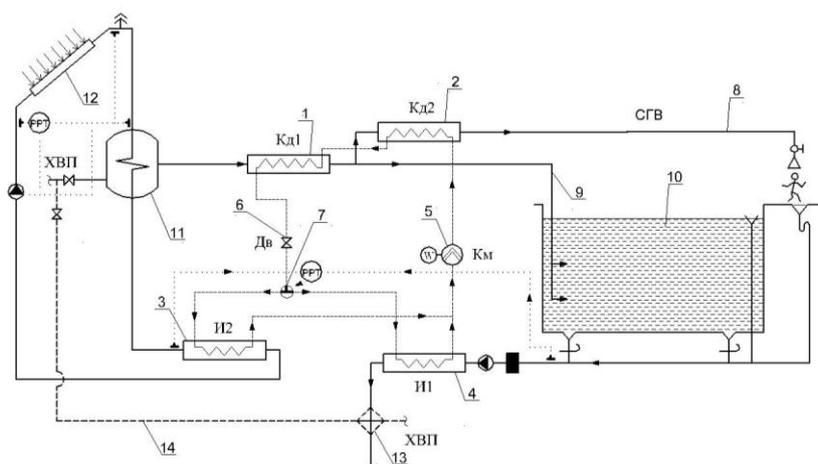


Рисунок 1 – Схема теплонасосной системы теплоснабжения на основе энергии солнечного излучения и отработанных водных потоков. Условные обозначения: 1 – конденсатор; 2 – форконденсатор; 3 – испаритель отбора теплоты солнечного излучения; 4 – испаритель отбора теплоты отработанных водных потоков; 5 – компрессор; 6 – дроссельный вентиль; 7- регулирующее устройство; 8 – система горячего водоснабжения душевых; 9 – система наполнения бассейна; 10 – бассейн; 11 – теплообменник; 12 – гелиоколлектор; 13 – теплообменник утилизации теплоты сточных вод при бездействии ТНУ; 14 – хозяйственно-питьевой водопровод.

Поэтому устройство теплонасосной системы с двумя испарителями предусматривает возможность сбалансированного снижения температур энергоносителя после испарителя И2 в гелиоконтуре и отработанного водного потока в испарителе И1 до предельно низких положительных температур. Для этого в структуре парокомпрессионного контура предусмотрен также трехходовой регулятор рабочего тела 7, обеспечивающий распределение его пропорционально соответствующим тепловым потокам в параллельно соединенных испарителях И1 и И2.

В результате интеграции энергии анализируемых низкопотенциальных источников с применением теплонасосной установки [4] повышается эффективность использования солнечной энергии и КПД коллектора в процессе низкотемпературного нагрева циркулирующего энергоносителя в гелиоконтуре. Такое решение позволяет расширить период полезной работы системы с увеличением общего объема вырабатываемой теплоты в суточном и годовом интервалах. Работа предложенной системы теплоснабжения также обладает возможностью преобразования солнечного излучения с утилизацией теплоты отработанных водных потоков по традиционной рекуперативной схеме без функционирования теплового насоса в часы максимальной интенсивности солнечной энергии в теплый период года.

В основном бинарном режиме интегрированного использования энергии солнечного излучения и утилизируемой теплоты отработанных водных потоков обеспечивается двухуровневый нагрев воды для плавательных бассейнов и горячего водоснабжения, что связано со снижением эксергических потерь в системе.

Предлагаемое техническое решение позволяет разрабатывать как новые, так и реконструировать существующие системы, которые ранее были предусмотрены только для традиционного солнечного нагрева воды, будучи дополненными возможностью утилизации теплоты сточных вод. Очевидно, что анализируемая система в большинстве случаев позволяет практически полностью отказаться от использования сжигаемого топлива в традиционных теплогенераторах для теплоснабжения зданий аналогичного назначения.

Из анализа структурно-функционального устройства системы следует, что в периоды повышенной интенсивности солнечного излучения при заниженных расходах холодной воды, температура энергоносителя после КСЭ может значительно превышать допустимый ее уровень на входе в испаритель И2 относительно установленного по условиям безопасной работы компрессора теплового насоса. Поэтому главной функцией теплообменника 11 является отбор теплоты со снижением температуры энергоносителя на входе в испаритель И<sub>2</sub> до установленного уровня для обеспечения номинального режима работы компрессора, прежде всего при экстремальном солнечном излучении в теплый период года. В связи с изложенным возникла необходимость поиска условий

стабилизации рационального уровня температуры энергоносителя и нагреваемой воды после теплообменника 11 [5,6]

Определим рациональное соотношение температур греющей и нагреваемой среды в работе рекуперативного теплообменника. Начальная температура энергоносителя  $t_r^r$  на выходе из КСЭ определяется на основе [7] равенства воспринятой части солнечного излучения  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>, поверхностью коллектора  $A_k$ , м<sup>2</sup>, и теплоты его нагрева с общим расходом  $G^r=q_y A_k$ , при соответствующем удельном значении  $q_y$ , кг/(с · м<sup>2</sup>), согласно зависимости

$$t_r^r = t_0^r + \frac{A_k I \eta}{G^r c_r} = t_0^r + \frac{I \eta}{q_y c_r} \quad (1)$$

Из анализа условий работы парокомпрессионной системы теплоснабжения, рис.1, следует, что энергоноситель, после доохлаждения в испарителе И2 на входе в КСЭ 12, даже с антифризными свойствами при эксплуатации должен исключать возможность замораживания нагреваемой воды в элементах теплообменника 11, в связи с чем логична его расчетная температура  $t_0^r = 5^\circ\text{C}$ . Указанное условие связано также с необходимостью проведения пусконаладочных работ и регулирования систем при запуске в холодный период года.

Диапазон возможного изменения начальной температуры энергоносителя  $t_r^r$  после КСЭ, согласно (1), иллюстрируется графиками, представленными на рис.2, в зависимости от изменения его расхода, обеспечивающего возможность продления периода работы гелиоконтур в условиях снижающейся интенсивности солнечного излучения.

Отметим, что для систем солнечного теплоснабжения с коллекторами традиционных конструкций удельный расход энергоносителя рекомендуется 54л/(ч м<sup>2</sup>) [7].

Представленными графиками для климатических условий Южного региона Украины иллюстрируется зависимость температуры нагрева энергоносителя в КСЭ, поступающего с начальной температурой  $t_0^r = 5^\circ\text{C}$ , от его расхода при экстремальных значениях интенсивности солнечного излучения ( $I=1000$  и  $200\text{Вт/м}^2$ ) с различной эффективностью ее преобразования  $\eta$ .

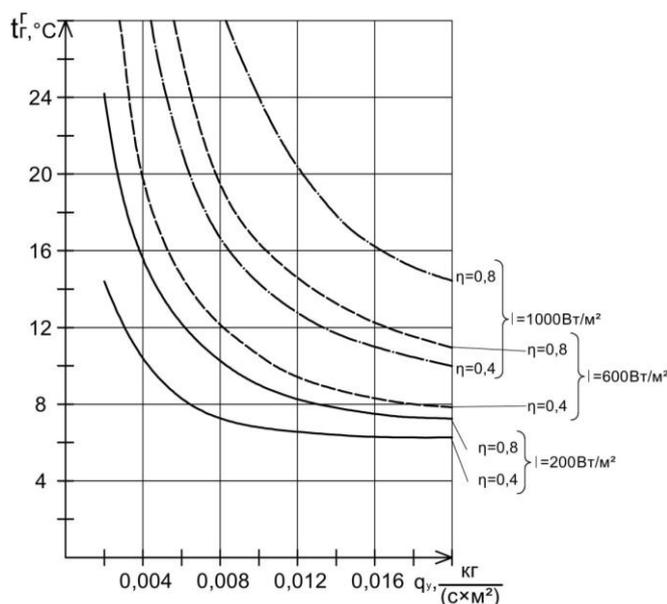


Рисунок 2 – Зависимость температуры энергоносителя после коллектора от изменения удельного расхода при экстремальных значениях интенсивности солнечного излучения. Условные обозначения:

————— -  $I=200\text{Вт/м}^2$ ; - - - - -  $I=600\text{Вт/м}^2$ ; - . . . -  $I=1000\text{Вт/м}^2$ .

Графики отражают верхний и нижний уровни повышения температуры нагрева энергоносителя в коллекторе при снижении его расхода (от 0,015 до 0,0075 кг/(с · м<sup>2</sup>)), обеспечивающим продление периода нагрева холодной воды, поступающей в теплообменник 11 в холодный и теплый периоды года с соответствующими средними температурами от (9-13) °С при  $I=200\text{Вт/м}^2$  до (13-23) °С при  $I=1000\text{Вт/м}^2$  [8].

На примере средней интенсивности солнечного излучения ( $I=600\text{Вт/м}^2$ ) при снижении удельного расхода энергоносителя с 0,015 кг/(с · м<sup>2</sup>) до 0,0075 кг/(с · м<sup>2</sup>) также иллюстрируется возможность повышения средней его температуры с 8,5÷13,2 °С до 13÷20,8 °С при соответствующих значениях  $\eta$ , равными 0,4 и 0,8.

Из анализа системы, представленной на рис.2 также следует, что при работе рекуперативного теплообменника 11, прежде всего в теплый период года при максимальной интенсивности солнечного излучения, температура энергоносителя на входе в испаритель может быть снижена по теплотехнологическим требованиям до предельного уровня  $t_1^r=30^\circ\text{C}$  для обеспечения номинального режима работы компрессоров наиболее успешно освоенных среднетемпературных тепловых насосов в анализируемых системах теплоснабжения.

В промежуточном теплообменнике 11 происходит предварительный нагрев общего потока поступающей воды, необходимой для горячего водоснабжения с расходом  $G_{гв}$  и бассейна  $G_б$ , циркулирующим энергоносителем через КСЭ с расходом  $G_r$ , исходя из чего следует равенство соответствующих тепловых потоков

$$Q_{11}=(G_{гв}+G_б)\cdot c\cdot(t_{x1}-t_x)=G_r\cdot c_r\cdot(t_r^r-t_1^r), \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $t_{x1}$  и  $t_x$  – конечная на выходе и начальная температура нагреваемой холодной воды на входе в теплообменник,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_r^r$  и  $t_1^r$  – температура греющего энергоносителя на выходе из КСЭ и после теплообменника 11;

$c$  и  $c_r$  – средняя теплоемкость нагретой воды и энергоносителя в КСЭ,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ .

Из равенства тепловых потоков греющего энергоносителя  $Q_r$  и нагреваемой воды в теплообменнике 11  $Q_{аб}$  согласно (2) с учетом уравнения (1), а также принятого соотношения расходов в гелиоконтуре и отработанных водных потоков  $\gamma=G_r/(G_{гв}+G_б)$ , следует закономерность изменения температуры предварительного нагрева исходной холодной воды после теплообменника 11, поступающей в конденсатор КД1, в виде

$$t_{x1} = t_x + \Delta t_{x1} = t_x + \gamma \frac{c_r}{c} (t_0^r + \frac{I_n}{q_{уд}c_r} - t_1^r), \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Очевидно, что по уравнению (3) может быть определена температура предварительного нагрева воды  $t_{x1}$  в анализируемой системе при известной температуре холодной воды  $t_x$  в соответствующий период года в зависимости от наиболее существенного фактора – соотношения расходов циркулирующего энергоносителя в гелиоконтуре И2 и удаляемых водных потоков через И1.

Отметим, что на основе результатов аналитического исследования [4] была получена зависимость для определения температуры нагрева холодной воды  $t_{x1}$  после анализируемого теплообменника 11, исходя из предварительно установленной средней температуры нагреваемой воды в баке-аккумуляторе  $t_a$ , в виде упрощенной зависимости

$$t_{x1}=2t_a-t_x, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Учитывая многофакторную взаимосвязь процессов преобразования неравномерного потока солнечного излучения в условиях переменного теплогидравлического режима, а также соотношение температур используемых низкопотенциальных источников и абонентского теплоснабжения, логично полагать, что концептуальный подход в дальнейшем исследовании в анализируемых условиях должен базироваться на минимальном превышении конечной температуры греющего энергоносителя над температурой нагреваемой воды на выходе из теплообменника 11.

Учитывая, что основное функциональное назначение теплообменника 11 заключается в ограничении температуры энергоносителя на входе в испаритель И<sub>2</sub>, прежде всего в периоды экстремальной интенсивности солнечного излучения в теплый период года при повышенной температуре холодной воды, закономерно следует, что температура ее предварительного нагрева низкотемпературным энергоносителем должна поддерживаться с минимальным превышением  $\Delta t_1=5,^\circ\text{C}$ , определяемом техническими характеристиками традиционных средств теплотехнологического измерения с поддержанием необходимого перепада температур при автоматическом регулировании расхода энергоносителя, исходя из чего

$$t_{x1} = t_x + \Delta t_1. \quad (5)$$

В части конечной температуры греющей среды следует, что предельная температура энергоносителя  $t_1^r$  после теплообменника 11 должна быть ограничена с минимальным превышением  $\Delta t_1^r$  над конечной температурой нагреваемой воды  $t_{x1}$  по вышеотмеченным теплотехнологическим требованиям, являясь зависимой от уровня теплогидравлического совершенства анализируемого теплообменника 11, обычно  $(5\div 10)^\circ\text{C}$ , поэтому

$$t_1^r = t_{x1} + \Delta t_1^r, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (6)$$

Следовательно, для теплообменников современных конструкций, для которых рекомендуется  $\Delta t_1^r=5^\circ\text{C}$  согласно [9], температура греющего энергоносителя  $t_1^r$  на выходе из теплообменника 11 в зависимости (6) представляется также в виде

$$t_1^r = (t_x+10), \text{ }^\circ\text{C}. \quad (7)$$

Очевидно, что соотношения анализируемых температур является определяющим в разработке функциональной схемы автоматизации анализируемой системы теплоснабжения.

Из структурно-функционального устройства системы также следует, что при максимальной интенсивности солнечного излучения в теплый период года, в условиях снижения абонентского теплопотребления, может быть обеспечен нагрев воды для абонентских подсистем до требуемой температуры только за счёт энергии солнечного излучения с традиционной рекуперацией утилизируемой теплоты отработанных водных потоков без постоянного функционирования теплового насоса.

Изложенный подход в организации низкотемпературного нагрева энергоносителя при инверторным регулировании его расхода в предложенной системе открывает потенциальные возможности для повышения эффективности преобразования энергии солнечного излучения в КСЭ, расширяя диапазон применения компрессоров наиболее успешно освоенных среднетемпературных тепловых насосов по допустимой начальной температуре энергоносителя на входе в испаритель И<sub>2</sub> в системе с переменным теплогидравлическим режимом абонентского теплопотребления.

1. В результате анализа известных теплонасосных схем, а также методов их расчета, разработан вариант интегрированной системы теплоснабжения на основе энергии отработанных водных потоков и солнечного излучения для бассейнов аквапарков, предприятий бытового обслуживания и аналогичных зданий.

2. Предложенный подход низкотемпературного нагрева энергоносителя в гелиоконтуре создает не только возможность стабилизирующего ограничения его температуры по теплотехнологическим требованиям для поддержания номинального режима работы оборудования наиболее успешно освоенных среднетемпературных тепловых насосов, но и открывает перспективу повышения эффективности преобразования солнечного излучения с продлением периода полезной работы системы при снижении общих циркуляционных затрат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартыновский В.С.. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов.– М.:Энергия,1977. – 280 с.
2. Петраш В.Д., Басист Д.В. Условия энергоэффективной работы теплонасосной системы солнечного теплоснабжения // Промышленная теплотехника. – т. 30. – №2. – 2008. ИТТФ. – С. 86-89
3. Петраш В.Д. Теплонасосные системы теплоснабжения. – БМБ: Одеса, 2014. – 556 с.
4. Даффи Дж. А., Бекман У.: Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М: Мир, 1977. – 420 с.
5. Петраш В.Д., Поломаный А.А., Басист Д.В. Условия высокоэффективной трансформации солнечного излучения в системе теплоснабжения на основе интегрируемой энергии характерных низкотемпературных источников. Вісник ОДАБА № 56 Одеса. – С. 181-192 .
6. Петраш В.Д., Поломаный А.А. Теплоснабжение плавательных бассейнов на основе пароконпрессорной трансформации утилизируемой теплоты отработанных водных и воздушных потоков // Научно – технический сборник «Энергоэффективность в строительстве и архитектуре». Выпуск № 7. – К.: КНУБА, 2015. – С. 198-204.
7. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж.А. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
8. Справочник проектировщика Внутренние санитарно-технические условия. – Ч.1. Отопление / под ред. И.Г. Старовойра и Ю.Н. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990.
9. Теплообменные аппараты холодильных установок / Под общ. Ред. Даниловой Г.Н. –М.: Машиностроение, 1986. – 303 с.

УДК 641.528.6

#### **К РАСЧЕТУ ЭФФЕКТИВНОЙ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ**

*Потапов В.А., д.т.н., Семенюк Д.П., к.т.н., Грицюта Е.С., магистрант  
Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина  
E-mail: potapov@bigmir.net*

Замораживание является на сегодняшний день наиболее распространенным способом хранения скоропортящихся пищевых продуктов. Потери продукции во всем мире из-за недостатка холодильных мощностей составляют 20...30%. Эффективное применение холодильной обработки

позволяет максимально исключить или замедлить изменение пищевой и биологической ценности продукта при минимальных энергозатратах. В тоже время затраты энергии на холодильную обработку продуктов по данным Международного института холода составляют от 5 до 10 % от стоимости продукта. Поэтому правильный выбор холодопроизводительности оборудования может ощутимо изменить стоимость конечного продукта.

Как известно, ключевым моментом в расчетах теплоты, отводимой от продукта в процессе его холодильной обработки, является расчет эффективной удельной теплоемкости. Расчет её теоретического значения чрезвычайно сложен, поскольку процессы, протекающие в пищевых продуктах при их замораживании, включают в себя сопряженные процессы теплопереноса, структурно-механические изменения, химические и биохимические реакции. Поэтому существующая простая и достаточно адекватная модель эффективной теплоемкости при замораживании построена на предположении, что пищевой продукт представляет собой гетерогенную систему из сухого вещества и воды с растворенными в ней веществами. Эффективная теплоемкость включает в себя теплоту фазового перехода и другие тепловые эффекты, возникающие в процессе замораживания. Температурная зависимость эффективной удельной теплоемкости вызвана двумя конкурирующими процессами: кристаллизацией воды в продукте с образованием кристаллов льда, и концентрированием растворенных веществ в жидкой фазе, доля которых увеличивается вплоть до эвтектической температуры. Соответственно с этим представлением эффективная удельная теплоемкость является аддитивной функцией теплоемкости сухих веществ, воды и льда, а также скорости изменения концентрации растворенных веществ, которую принято выражать через скорость изменения доли вымороженной влаги. В области ниже криоскопической температуры эффективная удельная теплоемкость определяется следующим уравнением [1]

$$c_e(t) = c_0 - (c_g - c_l)w_0\omega(t) + q_{пл}w_0 \frac{d\omega}{dt}, \quad (\text{при } t < t_{кр}) \quad (1)$$

где:  $c_e$  – эффективная удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$c_0$  – удельная теплоемкость при температурах  $t$  выше криоскопической  $t_{кр}$ , Дж/(кг·К),

$c_g$  – удельная теплоемкость воды,  $c_g = 4190$  Дж/(кг·К);

$c_l$  – удельная теплоемкость льда,  $c_l = 2100$  Дж/(кг·К);

$q_{пл}$  – удельная теплота плавления льда (кристаллизации воды),  $q_{пл} = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг;

$w_0$  – начальная влажность в долях от общей массы;

$\omega$  – доля вымороженной влаги по отношению к общей массе воды;

$t$  – текущая температура, °С.

Основным фактором, определяющим температурную зависимость удельной теплоемкости, является скорость вымораживания (кристаллизации). В классическом представлении этот процесс рассматривается, как процесс замерзания истинного раствора сравнительно небольшой молекулярной концентрации, содержащий соли, белки и другие компоненты. На основании этих представлений используется уравнение Рауля для расчета доли вымороженной влаги и удельной теплоемкости продукта в процессе замораживания. Однако такая модель пищевого продукта далека от реальных процессов, которые происходят при замораживании, поэтому экспериментальные данные по количеству вымороженной влаги хорошо описывают только начальный этап замораживания вблизи криоскопической температуры. Для практических расчетов используются более точные эмпирические уравнения Латышева [1], Чижова [2], Гейнца [3]. Однако даже их использование при расчете эффективной теплоемкости показывает расхождение с экспериментом. В частности, характерным отличием экспериментальных данных является более широкий криоскопический интервал, в котором наблюдается фазовый переход, смещение максимума скорости кристаллизации влаги и криоскопической температуры с уменьшением влажности образца в область более низких температур, меньшая скорость изменения теплоемкости в криоскопической области. По нашему мнению, одной из причин существенного расхождения экспериментальных и расчетных данных является использованием закона Рауля (или эмпирических уравнений уточняющих этот закон) для описания изменения концентрации раствора при вымораживании воды в пищевом продукте.

В связи с этим целью данной работы является вывод аналитического уравнения для эффективной удельной теплоемкости в процессе замораживания на основе теории термодинамики фазовых переходов.

Объектом исследования является температурная зависимость эффективной теплоемкости влажных материалов (пищевых продуктов) в процессе замораживания. Понятие эффективной удельной теплоемкости является альтернативной в математической формулировке задачи о

теплообмене с фазовым превращением. Классическая формулировка такой задачи, как известно, использует граничное условия Стефана, которое содержит источник теплоты на подвижной границе контакта двух температурных полей для охлажденного и замороженного слоя продукта. Профессором Онищенко В.П. [4] показано, что поскольку реально такой границы при замораживании пищевых продуктов не существует, то при математическом моделировании процессов холодильной обработки следует использовать понятие эффективной удельной теплоемкости в качестве основного теплофизического параметра, описывающего процессы замораживания-размораживания. Введение этого теплофизического параметра существенно упрощает уравнение теплопроводности и соответствующие краевые условия.

Одно из аналитических решений данной задачи получено в работе [5]. Авторами получено аналитическое выражение для определения энтальпии двухкомпонентных растворов с учетом теплоемкости растворенных веществ и фазовых превращений, Вывод уравнения основан на втором законе Рауля

$$\Delta T = \frac{x_s}{\Delta h \cdot \mu_w} \cdot R \cdot T_0^2, \quad (2)$$

где:  $\Delta T = T_0 - t_{кр}$ ;

$T_0$  – температура плавления чистого льда  $T_0 = 273$  °C;

$t_{кр}$  – начальная криоскопическая температура;

$\mu_w$  – молярная масса воды;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$\Delta h$  – скрытая теплота плавления льда;

$x_s$  – мольная доля растворенных веществ, которая согласна определению равна

$$x_s = \frac{\frac{m_s}{\mu_s}}{\frac{m_w}{\mu_w} + \frac{m_s}{\mu_s}}. \quad (3)$$

Мольная доля растворителя (воды содержащейся в продукте) определяется следующим образом

$$x_w = \frac{\frac{m_w}{\mu_w}}{\frac{m_w}{\mu_w} + \frac{m_s}{\mu_s}}. \quad (4)$$

При этом, выполняются нижеследующее соотношение между мольными долями

$$x_w + x_s = 1, \quad (5)$$

где  $m_w, m_s$  – масса воды и растворенных веществ в продукте соответственно;

$\mu_w, \mu_s$  – молярная масса воды и растворенных веществ соответственно.

На основании уравнений (2)-(4) в работе [5] получено следующее уравнение для энтальпии в области фазового перехода

$$\Delta H = \left[ c_i \cdot M - c_s \cdot m_s - (c_w - c_i) \cdot \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot m_s \right] \cdot (t - t_{cr}) + (c_w - c_i) \cdot \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot m_s \cdot t_R \cdot \ln \left( \frac{t}{t_{cr}} \right) - \Delta h \cdot \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot m_s \cdot \frac{t_R}{t_{cr}} \cdot \left( 1 - \frac{t_{cr}}{t} \right), \quad (6)$$

где:  $M$  – общая масса воды и льда (постоянная в процессе замораживания);

$c_s$  – удельная теплоемкость растворенного вещества;

$t_R$  – температура Рауля (для воды ( $t_R = -170$  °C));

$$t_R = \frac{R \cdot T_0^2}{\Delta h \cdot \mu_w} - T_0, \quad (7)$$

Дифференцируя выражение (6) для энтальпии по температуре, получаем уравнение для температурной зависимости эффективной теплоемкости

$$C(t) = c_i \cdot M - c_s \cdot m_s - \left( 1 - \frac{t_R}{t} \right) \cdot \Delta c \cdot \left( \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot m_s \right) - \Delta h \cdot \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot m_s \cdot \frac{t_R}{t^2}. \quad (8)$$

Проанализируем, полученное выражение (8). Очевидно, что использование закона Рауля ограничивает применимость этого уравнения областью небольших отклонений от криоскопической температуры (областью линейной зависимости между температурой и концентрацией растворенных веществ согласно уравнению 2). Вторым недостатком полученного выражения заключается в том, что эффективная теплоемкость (8) не зависит от начальной криоскопической температуры, что очевидно не соответствует известным экспериментальным фактам. Очевидно, что такой результат вызван использованием закона Рауля для вывода этих уравнений. Поэтому для получения температурной зависимости эффективной теплоемкости воспользуемся более общим термодинамическим соотношением, известным как уравнение Шредера и ван Лаара [6].

$$\ln(x_w) = -\frac{\Delta h(T)}{R \cdot T_0} \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1\right). \quad (9)$$

Это уравнение определяет кривую кристаллизации раствора, если раствор идеален, смешанные кристаллы не образуются и разность теплоемкостей жидкого и твердого состояния достаточно мала по сравнению со скрытой теплотой плавления чистого компонента при его температуре плавления. Как отмечалось, именно эти предположения достаточно хорошо отражают процесс замерзания пищевых продуктов. Поэтому его использование обосновано.

Из уравнений (3)-(5) найдем связь между массой воды в материале и текущей температурой материала

$$m_w(T) = m_s \cdot \frac{\mu_w}{\mu_s} \cdot \frac{1}{e^{\frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \left(\frac{T_0}{T} - 1\right)} - 1}. \quad (10)$$

Далее найдем долю вымороженной воды, определив ее следующим образом

$$\omega_i(T) = \frac{m_w(T_{cr}) - m_w(T)}{m_w(T_{cr}) - m_w(T_{evt})}, \quad (11)$$

где:  $\omega_i$  – доля вымороженной воды (льда) в материале при текущей температуре;

$m_{cr}$  – массы воды в материале при криоскопической температуре  $T_{cr}$ ;

$m_{evt}$  – массы воды в материале при эвтектической температуре  $T_{evt}$ .

Согласно уравнению (11) доля вымороженной воды при криоскопической температуре равна 0, а в эвтектической точке – 1. Уравнение (11) можно упростить, учитывая порядок отношения величин, стоящих в знаменателе, считая, что при эвтектической температуре жидкой воды нет, т.е.  $m_w(T_{cr}) \approx 0$ , получаем

$$\omega_i(T) = 1 - \frac{m_w(T)}{m_w(T_{cr})}. \quad (12)$$

Подставляя в последнее выражение уравнение (10) при соответствующих температурах находим

$$\omega_i(T) = 1 - \frac{e^{\frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \left(\frac{T_0}{T_{cr}} - 1\right)} - 1}{e^{\frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \left(\frac{T_0}{T} - 1\right)} - 1}. \quad (13)$$

Последнее уравнение описывает долю вымороженной влаги по всем диапазонам температур от криоскопической до эвтектической и, соответственно, как для слабых растворов так и для эвтектических.

Покажем, что уравнение (13), как частный случай включает в себя уравнение для доли вымороженной влаги, полученное на основе закона Рауля. Условие сильно разбавленного раствора выполняется в окрестности температуры замерзания чистой воды  $T_0$ , поэтому полагаем малыми величины  $(T_0 - T_{cr})/T_0$  и  $(T_0 - T)/T_0$ , разложим в ряд по этим малым параметрам выражение (13) и, ограничиваясь только линейными членами, получим

$$\omega_i = \frac{T_{cr} - T}{T_0 - T}. \quad (14)$$

Переходя от абсолютных температур к шкале Цельсия ( $T = T_0 + t$ ), получаем классическое выражение для доли вымороженной влаги на основе закона Рауля.

$$\omega_i = 1 - \frac{t_{cr}}{t}. \quad (15)$$

Теперь получим уравнение для эффективной удельной теплоемкости. Для этого найдем скорость изменения доли вымороженной влаги. Дифференцируя (13) по температуре, получаем

$$\frac{d\omega_i}{dT} = -\frac{1}{2} \cdot \left[ e^{\frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \left( \frac{T_0}{T_{cr}} - 1 \right)} - 1 \right] \cdot \left[ \frac{\frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \cdot \left( \frac{T_0}{T} \right)^2}{\cosh \left[ \frac{\Delta h}{R \cdot T_0} \cdot \left( \frac{T_0}{T} - 1 \right) \right] - 1} \right]. \quad (16)$$

Подставляя выражения для доли вымороженной влаги (13) и скорости изменения доли вымороженной влаги (16) в уравнение (1), получаем искомое уравнение для расчета эффективной удельной теплоемкости в области ниже криоскопической температуры.

Получены уравнения для расчета эффективной удельной теплоемкости при замораживании, которые учитывают полную кривую кристаллизации идеального раствора от криоскопической до эвтектической температуры на основании уравнения Шредера и ван Лаара. Как следует из полученных уравнений (1), (13), (16) эффективная теплоемкость в явном виде зависит от значения криоскопической температуры, в отличие от уравнения (8), полученного на основе закона Рауля.

Получено уточненное уравнение (13) для расчета доли вымороженной влаги во всем температурном диапазоне от криоскопической до эвтектической температуры. Показано, что это уравнение при малом отклонении от начальной криоскопической температуры переходит в классическое уравнение для доли вымороженной влаги, полученное на основе закона Рауля.

Полученные в настоящей работе уравнения могут быть использованы как для расчетов процесса замораживания бинарных растворов, так и для конденсированных пищевых систем. В этом случае мольную долю растворенных веществ (3) следует рассматривать, как усредненную концентрацию всех растворимых веществ, входящих в пищевую систему.

Предложенное уравнение для эффективной удельной теплоемкости может быть использовано при решении краевой задачи о замораживании, а также при обработке экспериментальных данных с целью определения теплофизических характеристик пищевых продуктов в процессе замораживания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов, И. А. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / И. А. Рогов, В. Е. Куцакова, В. И. Филиппов, С. В. Фролов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Колос, 1999. – 176 с.
2. Чижов, Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – М. : Пищ. пром-сть, 1979. – 271 с.
3. Дакурт, Р. Б. Вода в пищевых продуктах / Р. Б. Дакурт. – М. : Пищ. пром-сть, 1980. – 575 с.
4. Оніщенко, В. П. Наукові основи процесів та апаратів холодильної технології харчових продуктів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.14 : захищена 12.03.01 : затв. 15.08.01 / Оніщенко Володимир Петрович. – Одеса, 2001. – 415 с.
5. Баранов, И. В. Палешко В. О. Аналитические зависимости для определения теплофизических свойств двухкомпонентных растворов с учетом фазовых превращений [Текст] / И. В. Баранов, В. О. Палешко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы аппараты пищевых производств», 2012. – выпуск 2(14). С. 30–33
6. Пригожин, И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Р. Дефей. – Новосибирск : Наука, 1966 – 498 с.

UDC 606 : 662.756.3

#### BIODIESEL AS ALTERNATIVE FUEL WITH POSITIVE ENVIRONMENTAL IMPACT

*Сламбаева М.Ж.*

*Государственный университет имени Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан*

*E-mail: gemini1891@bk.tu*

Energy production is the driving force for any developing country as the more energy, the wealthier the country is. Energy consumerism has increased in the last 40 years, and the industrial revolution had an effect on this. This growth is also associated with the three following factors:

1. The worldwide financial improvement;
2. The rising growth of population;
3. The evolution from an agrarian society to an affluent one.

As these factors will continue to rise, the energy demand is expected to have an upward trend. This demand leads to deficiency of energy sources (i.e. fossil fuels) which can be overcome by turning to alternative energy sources such as biofuels. Mankind has already reached the peak oil, and as a result in the distant future the finite sources such as oil, gas, coal etc. will be exhausted [2]. The current global energy

expenditure can be approached by an exponential growth, which has caused significant changes in carbon dioxide amounts in the atmosphere from 280ppm in 1750 to 390ppm in 2011 [1].

The rising energy demand and growing population require investigation of more sustainable, as well as economically feasible sources of biofuels that will be a partial replacement to the petroleum based analogy. Therefore, we are proposing a preliminary design of a microbial oil production from biodiesel glycerol for bioferiney processes by using soybean crops. The soybean is chosen as a raw material, which is particularly sprouted in the central part of Brazil at Mato Grosso, a plants-harvesting state. The reasons for choosing soybean as raw material is based on the following: is not expensive to grow; has a rich nutrient base and is very common among the suppliers. The place (i.e. Mato Grosso, central Brazil) was chosen according to the harvesting area and compared data with other suppliers in biodiesel market. Also, by comparing the production capacity of microorganisms from the oleaginous family, for this project *Cryptococcus curvatus* was selected. Consequently, the design on biodiesel production with following conversion of glycerol to the microbial oil at this place will be beneficial for the local government by providing the new job places among other economic benefits.

Biodiesel has been targeted as a medium-term alternative to diesel obtained from fossils fuels. Being produced from renewable resources, lower produced emissions of carbon and sulphur dioxide, biodegradability, non-toxic and safer to handle are characteristics, which make biodiesel a potential biofuel. The main production process of biodiesel (transesterification) produces as by product crude glycerol containing a complex mixture of components such as esters, alcohol, reaction catalysts, and salts. Biodiesel industries are not economically favoured to purify this glycerol to the requirements (analytical grade purity) of main glycerol consuming industries such as cosmetics, soaps and pharmaceuticals. Currently, the crude glycerol co-produced in biodiesel industries is mostly used to generate heat by burning it in industrial furnaces and boilers. In other cases like Brazil, due to the high biodiesel production rates, there have been large accumulations of glycerol in biodiesel plants (Figure 1) [4].

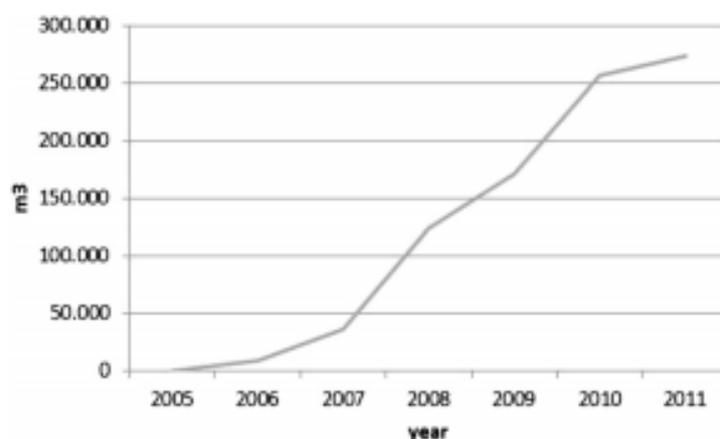


Figure 1 – Glycerine generated in the production of biodiesel (B100) in Brazil: 2005 to 2011, (Schultz et al., 2014).

Therefore, since there is a trend of continue increasing the consumption of biodiesel, it is necessary to search different technological approaches, which allow to convert industrial by products such as glycerol into more valuable products in order to add value to the biodiesel productive chain. Crude glycerol can be used as raw material for the production of value-added products through chemical, biochemical or thermo-chemical routes [4].

Land utilisation: the total available area was fixed at 314.16 km<sup>2</sup> (20 km diameter). The main assumptions were the following: Net area for cultivation: 28 274 ha (total area minus 10% for plant space); harvest efficiency: 95%; oil seed yield: 3.12 ton seeds/ha; 335 days of plant operation; seeds storage system. The available amount of oil extracted from the seeds per day is 36 148.4 kg oil/day (calculation basis for subsequent stages).

The main process consists in a chemical transformation of extracted soybean oil to biodiesel with the cogeneration of glycerol. Due to the difficulties to exhaustively purify glycerol and the apparent increase in biodiesel production, it is therefore proposed to design a bioprocess, which enables the microbial conversion of biodiesel glycerol to microbial oil. The microbial oil, favoured by its similar composition to vegetable oil and suitability for chemical transesterification, which is proposed to be fed into the biodiesel production chain by the use of the same processing facilities.

This stage is carried out with soybean oil and alkaline catalyst to produce methyl oleate using methanol which is recovered at the end of the process along with glycerol (by-product). The process starts with a transesterification reaction by mixing (Tank R-101) soybean oil from storage, methanol, and catalysts (NaOH) at 60° C. After the chemical reaction, biodiesel (-90%), glycerol (-10%) and unreacted soybean oil are firstly separated by centrifugation (FF-101). After a neutralization step (V-101), the biodiesel is recovered by vacuum flash distillation (D-101). Unreacted soybean oil is further transesterified (R-102 & V-102). Centrifugation with heavy stream (FF-104) is used to purify glycerol from residual stream (Free fatty acids, soap and salts), followed by a distillation to recover unreacted methanol and process water (T-101 & T-102). The production of glycerol per day is 3 686.7 kg/day (35 585 kg biodiesel/day) taking into account 98% of overall process efficiency. For the transesterification reaction, 100% excess of methanol as well as an amount of NaOH equivalent to 1% of the oil weight was considered

*Cryptococcus curvatus* was chosen as potential oil producer yeast for large-scale operations for microbial conversion of glycerol into oil due to its minimal nutritional requirements, wide usage of carbon sources, high oil accumulation (up to 60% dry weight) and oil composition resemblance to vegetable oil. The large-scale operations begin with culture medium (crude glycerol, (20 kg/m<sup>3</sup>), yeast extract and minimum salts) preparation (V-201) under the assumption of excess of carbon source and limiting nitrogen source (C/N=30) to induce lipid accumulation. The medium is continuously sterilized (130°C) in a heat exchangers network (Heating phase E-201; temperature maintenance E-202; cooling phase E-203) and bioreactors (R-201; 12 bioreactors for carousel configuration [semi-continuous]) filled partially (Nominal Volume: 220m<sup>3</sup>). After inoculation with a seed tank (10% v/v), the fermentation process (T=28°C; 0.5 VVM; 900rpm) is operated in exponential fed-batch mode during 11 days, reaching modelled conditions (63.4 Kg biomass/m<sup>3</sup> and theoretical intracellular oil concentration of 28.3 Kg Oil/m<sup>3</sup> disrupted broth; Final operational volume of 177 m<sup>3</sup>). Having ended the culture, the broth stream is forced to circulate through heat exchanger (E-204) for thermal enzymatic inactivation and filtered (VE-201) to retain intact oleaginous cells, which are ultimately dried (DE-201). The dried cells are suspended in hexane and mechanically disrupted through homogenizer (HG-301). After a solid-liquid extraction process (cells-hexane) in an extractive decanter (DS-301), the oil is present in organic phase and recovered by evaporating hexane in a single effect evaporator (V-302). Approximately 90% of the microbial oil produced in the biocatalysis stage (5000kg /batch is recovered after the downstream processing (4508 kg/batch with 99% purity).

Overall, the proposed process aligns to the aim of biorefinery engineering to valorise all fractions of biomass and by-products derived to achieve a further reduction in the cost of the biodiesel production technology.

Based on microbial systems grown on crude glycerol, the yeast *Cryptococcus curvatus* showed to present the best productivities, cultivation and scale-up feasibility to produce microbial oil among other oleaginous microbial species. As an optimisation of microbial fermentation, an exponential fed batch culture was proposed and modelled to achieve considerable productivities for the process. Other optimization conditions in bioprocessing such as cell-engineered cells through genetic and metabolic engineering, C:N ratio in culture medium, substrate and oxygen supply show a promising way to enhance lipid accumulation in cells. A technological platform for transesterification process for biodiesel production and a complete platform for bioprocessing of microbial oil was also proposed as an integrated process, in which glycerol is recycled as newly produced oil to minimize the net by-product generation during biodiesel production. Through an economic feasibility analysis, estimations of the production units, fixed capital investment and operation costs were calculated.

The production process is determined by its high cost, which is mainly fueled by the overpriced raw materials and the fermentation process. However, a further reduction of the overall production cost can be achieved by the exploitation of both waste-food as raw material (i.e. bread) and genetically modified yeasts. What is more, through innovative reactors, the production might be boosted and the operation costs can be significantly reduced. Furthermore, this process is competitive to the current biodiesel industry, as the price that is proposed for the biodiesel per litre is similar in value with the trade market. Concluding, based on the economic analysis that is presented in this project, its feasibility is overstated as a profit exists.

## REFERENCES

1. Michaelides, E. (2012). *Alternative energy sources*. Berlin, Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20951-2>.
2. Murphy, D.J. & Hall, C.A.S., 2011. Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219, pp.52–72.
3. Research, A. (2015). Second Generation Biofuels Market is Expected to Reach \$23.9 Billion, Global, by 2020 - Allied Market Research. [online] Prnewswire.com. Available at: <http://www.prnewswire.com/news-releases/second-generation-biofuels-market-is-expected-to-reach-239-billion-global-by-2020---allied-market-research-286225291.html> [Accessed 19 Mar. 2015].

4. Schultz, E., De Souza, D., Triches, M. Te glycerol biorefinery: a purpose fro Brazilian biodiesel production. Chemical and biological technologies in Agriculture. 1:7
5. Make Biofuel, (2015). Making Biodiesel - Make Biofuel. [online] Available at: <http://www.makebiofuel.co.uk/making-biodiesel> [Accessed 19 Mar. 2015].
6. Koizumi Tatsuji. 2014. Biofuels and Food Security: Biofuel Impact on Food Security in Brazil, Asia and Major Producing Countries. Ed. Springer.
7. Langeveld, H., Dixon, J., & van Keulen, H. (2014). Biofuel cropping systems. Carbon, land and food (First ed.). New York: Routledge.
8. Koutinas, A., Chatzifragkou, A., Kopsahelis, N., Papanikolaou, S., & Kookos, I. (2013). Design and techno-economic evaluation of microbial oil production as a renewable resource for biodiesel and oleochemical production. Fuel, 116, 566-577.

УДК 620.97

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА В ТЕПЛООБМЕННИКЕ С ГРАНУЛИРОВАННОЙ НАСАДКОЙ**

*Ряшко Г.М., к.т.н., Солодкая А.В., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: a\_solodkaya@mail.ru, rina257@gmail.com*

Промышленные производства, непосредственно связанные с термообработкой, таких как обжиг извести, керамических изделий, производстве кирпича, стекла, огнеупоров и других изделий, а также в ряд пищевых производств, отличаются высокими потерями теплоты, которые могут достигать 40...50 % от подводимой мощности [1,2]. Рабочие температуры тепловых выбросов в технологических процессах этих отраслей колеблются в пределах 50...200 °С, что говорит о наличии потенциала для утилизации теплоты. Повысить эффективность производственных процессов можно за счет утилизации их вторичных энергоресурсов, общий потенциал которых для химической, пищевой и строительной промышленности оценивается в несколько миллионов тонн условного топлива [3,4]. Наибольшую популярность в системах утилизации теплоты получили регенерационные теплообменники различных конструкций [3]. Главными задачами при их проектировании и эксплуатации становятся определение целесообразных конструктивных и режимных параметров, позволяющих достигать максимального значения теплоты, полученной единицей массы воздуха. Подобные задачи сталкиваются с проблемой их решения при использовании известных методов расчета, в которых вместо актуальных значений температур теплоносителей прибегают к значениям, осредненным по длине канала и времени цикла, а также ряд других обобщающих допущений. Преимущественно это относится к нетрадиционным конструкциям регенеративных теплообменников, позволяющих преодолеть существующие технологические ограничения [5].

К одному из типов таких теплообменников относится регенератор с гранулированной насадкой [6, 7, 8]. Он характеризуется тем, что в нем поток сыпучего материала сначала проходит через камеру нагрева, поглощая теплоту горячего газа и нагревается, а затем через камеру охлаждения, где передает полученное тепло поступающему холодному воздуху и нагревает его, после чего снова элеватором подается в камеру нагрева. Достоинства применения гранулированной (дисперсной) насадки обусловлены такими свойствами, как развитая поверхность межфазного теплообмена, высокие коэффициенты теплоотдачи, способность частиц к самоочистке от загрязнений и т.д. [8]. Однако недостаточная изученность межфазных процессов теплообмена в слое дисперсного материала не позволяет разработать методику инженерного расчета теплоутилизаторов подобного типа, что препятствует их широкому распространению в промышленности.

К задачам исследования относились: экспериментальное изучение процессов теплообмена между нагретым воздухом и гранулированным материалом, помещенным в рабочую камеру, обоснование выбора материала при конструировании теплоутилизаторов с гранулированными насадками, а также формулировка рекомендаций к установлению рациональных режимов.

Определение эффективности теплообмена между слоем гранулированного материала как основы теплообменника-теплоутилизатора проводилось на основе экспериментальных данных, получаемых на установке (рис. 1), разработанной непосредственно для данных исследований.

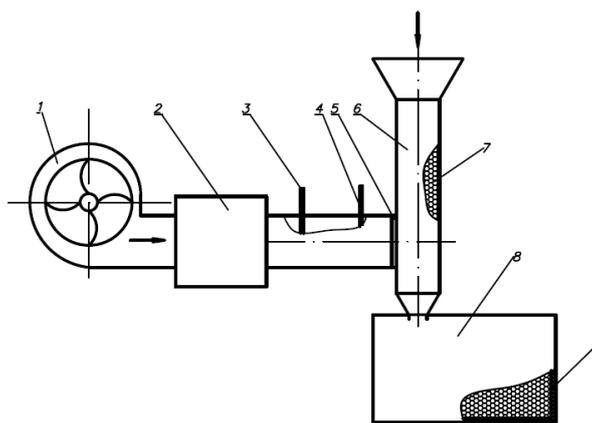


Рисунок 1 – Установка для экспериментального исследования теплообмена в плотном слое гранулированного материала, 1 – вентилятор; 2 – нагреватель; 3 – термометр; 4 – датчик скорости воздуха; 5 – сетка; 6 – бункер; 7 – дисперсный материал; 8 – емкость сбора дисперсного материала; 9 – изоляция

Эксперименты проводились с неподвижной и движущейся в виде плотного слоя насадкой при различных режимных параметрах: температуры воздуха на входе, температуры материала, скорости движения слоя и воздуха. Оценка энергетической эффективности процесса теплообмена проводилась на основании тепловых расчетов по методикам [9] и известным зависимостям для расчета тепловых потерь и определения теплофизических характеристик [10].

В качестве гранулированного материала исследовался керамзит и гравий (размер частиц: 10...20 мм).

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. В рабочую камеру 6 загружался гранулированный материал. Включался вентилятор 1 и нагреватель 2, после которого нагретый воздух поступал в рабочую камеру. Контролировалась температура воздуха на входе и скорость потока, температура воздуха на выходе. Температура материала определялась в течение опыта с помощью термопары, расположенной в центре камеры. Эксперимент проводился с трехкратным повторением. Средняя скорость фильтрации воздуха составляла  $w = 0,9...3,5$  м/с, диаметр воздуховода  $d = 0,1$  м.

Исследования проводили для двух видов материалов предполагаемой насадки для теплоутилизатора: керамзит и гравий с диаметром частиц 0,02...0,03 м [11]. Схема движения теплоносителя и гранулированного материала при исследовании движущегося слоя – противоток.

На рис. 1 представлены результаты измерения температур керамзита для движущегося (рис. 1а) и неподвижного (рис. 1б) слоя на входе в рабочую камеру и воздуха – на выходе из нее. Сплошной линией указана температура воздуха на входе. Скорость движения слоя материала:  $W_m = 0,00067$  м/с, средняя скорость движения воздуха:  $W_v = 0,85$  м/с.

На основе предыдущих экспериментальных исследований [11] была получена зависимость температуры насадки на выходе камеры нагрева при различной высоте слоя материала, которая позволила определить оптимальное значение высоты канала, которое находится в пределах 0,4...0,5 м. Высота засыпки гранулированного материала была одинакова:  $L = 0,50$  м.

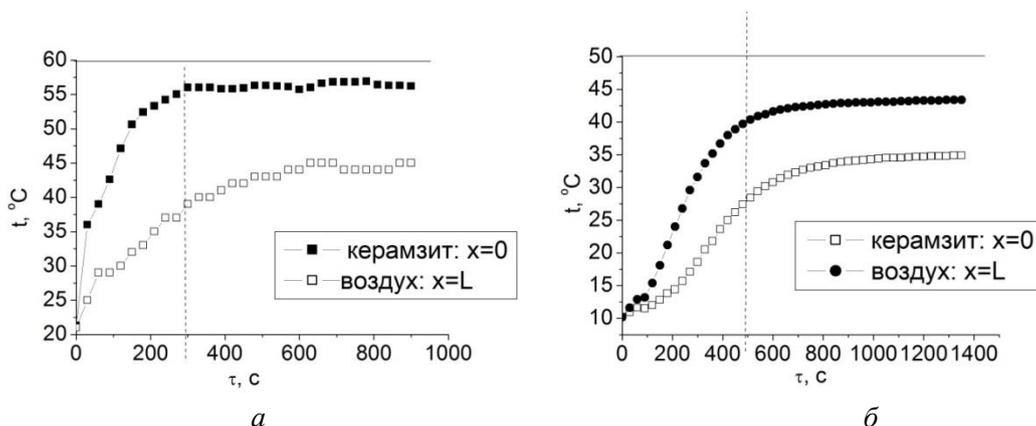


Рисунок 2 – Изменение температур воздуха и керамзита во времени. а – движущийся слой, б – неподвижный слой.

Видно, что, начиная с определенного промежутка времени, устанавливается стационарный режим, при котором температуры материала практически не меняются. Для движущегося слоя этот режим начинается при  $\tau = 300$  с, для неподвижного – при  $\tau = 500$  с (на графике отмечены пунктирной линией). Можно сделать вывод, что интенсивность теплообмена выше для движущегося слоя. Следует отметить существующее различие в разности температур между температурой материала и воздуха в одном сечении для движущегося и неподвижного слоя.

В процессе работы температура воздуха на выходе повышается, т.е. эффективность теплообмена снижается, что для практического применения является нежелательным явлением, которое следует учитывать при выборе рабочих параметров теплоутилизатора.

На рис. 2 представлены результаты экспериментов по нагреву гравия в движущемся (рис. 2а) и неподвижном (рис. 2б) слое.

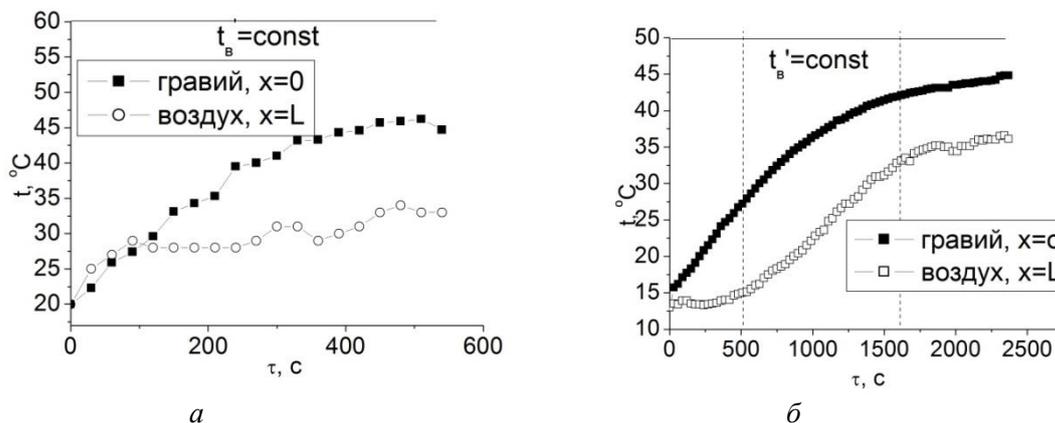


Рисунок 3 – Изменение температур воздуха и гравия во времени. а – движущийся слой, б – неподвижный слой

В отличие от опытов с керамзитом (рис. 2), участка тепловой стабилизации не наблюдалось, что свидетельствует о более продолжительном во времени участке нестационарного теплообмена.

Как свидетельствует график рис. 3б, в неподвижном слое можно выделить три участка температурной зависимости для воздуха (отмечены пунктирными линиями):

1. до 500 с температура воздуха на выходе повышалась очень незначительно ( $\Delta t_{\text{неп.1}} = 15 - 13 = 2$  °C).
2. 500...1530 с температура повысилась на  $\Delta t_{\text{неп.2}} = 31,6 - 15 = 16,6$  °C,
3. 1540...2370 с – повышение температуры на  $\Delta t_{\text{неп.3}} = 36,1 - 31,6 = 4,5$  °C.

Интенсивность теплообмена на каждом из этих участков различна.

На рис. 3 представлены температурные кривые для сравнительного анализа интенсивности нагрева гравия и керамзита в движущемся (рис. 4а) и неподвижном (рис. 4б) слое.

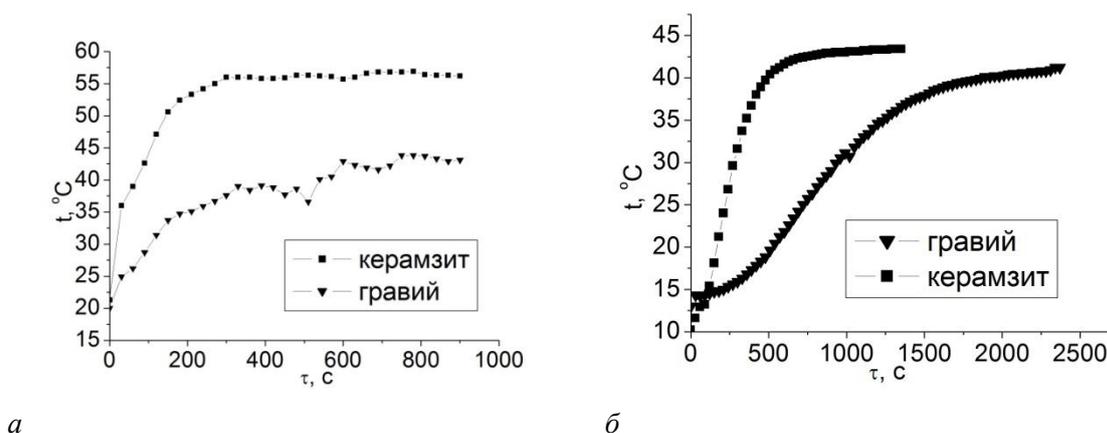


Рисунок 4 – Изменение температур керамзита и гравия во времени: а – движущийся слой, б – неподвижный слой

Видно, что, как в движущемся, так и в неподвижном слое керамзит нагревался интенсивнее гравия, что поясняется их разными физическими свойствами – теплоемкостью и плотностью материала.

На основе тепловых расчетов по методикам [9] был произведен расчет коэффициента теплоотдачи для гравия и керамзита в движущемся и неподвижном слое (рис. 5).

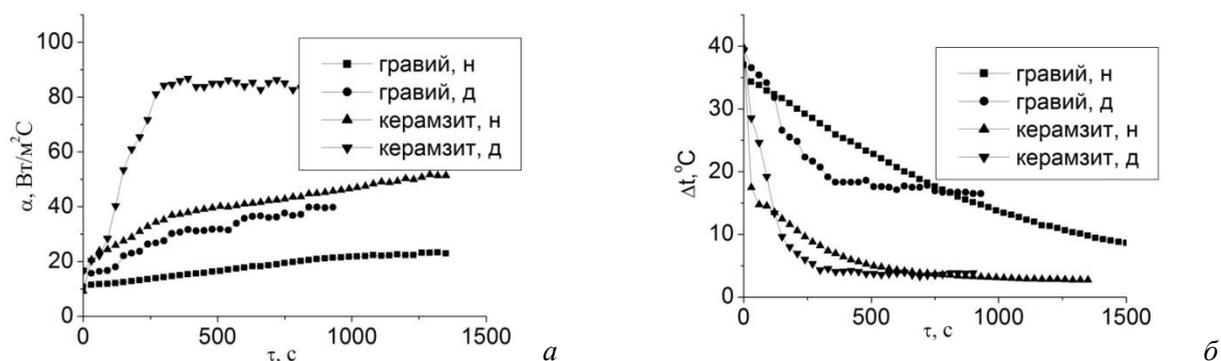


Рисунок 5 – Изменение коэффициента теплоотдачи (а) и температурного напора (б) между воздухом и плотным слоем керамзита и гравия во времени: д – движущийся слой, н – неподвижный слой

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что экспериментальные данные удовлетворительно коррелируются с теоретическими для движущегося и неподвижного слоя гранулированного материала.

Экономия энергетических ресурсов промышленных производств является определяющим фактором повышения конкурентоспособности продукции и снижения загрязняющего воздействия на окружающую среду. Использование теплообменника-утилизатора с гранулированным наполнителем позволяет частично решить эту проблему за счет интенсификации передачи тепла при большой совокупности дисперсных частиц, которые участвуют в теплообмене.

Конструкция и принцип работы предложенного теплообменника-теплоутилизатора делает его многофункциональным и позволяет обойти ряд проблем, присущих для существующих теплообменных утилизаторов.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать к использованию в теплообменнике-теплоутилизаторе материал с достаточным значением плотности и теплоемкости типа керамзита и гравия. При этом керамзит предпочтителен, поскольку показывает более высокие значения теплоотдачи в процессе проведения экспериментальных исследований. Интенсивность теплообмена выше для движущегося слоя гранулированного материала, поэтому дальнейшие исследования будут направлены на разработку метода расчета регенеративного теплообменника с дисперсными системами и внедрение его в производство.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курчев, А.О. Моделирование тепловых процессов в регенеративных утилизаторах теплоты с фазовыми переходами в насадке [Текст] / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.17.08- Процессы и аппараты химических технологий. – Иваново: 2010. – 19 с
2. Ковалёв, А. В. Эффективность утилизации теплоты и экономия топлива в хлебопекарных печах [Текст] / А.В. Ковалев, В.А. Анистратенко, В.Ю. Осауленко // Хлебопечение России. – 2003. - № 5. – С. 8 – 40.
3. Комаров, В. И. Проблемы использования вторичных сырьевых ресурсов отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности и их влияние на окружающую среду [Текст] / В.И. Комаров, Е.И. Лебедев, Т.А. Мануйлова // Хранение и переработка сельхозсырья. - 1998. - N2. - С. 6-10
4. Медведев, В.Б.. Моделирование и расчет тепловых процессов в регенеративных утилизаторах теплоты с циркулирующей гранулированной насадкой / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.17.08- Процессы и аппараты химических технологий. – Иваново: 2009. – 17 с.
5. Астановский, Д.Л. Использование теплообменных аппаратов новой конструкции в теплоэнергетике [Текст] / Д.Л. Астановский, Л.З. Астановский. // Теплоэнергетика. – 2007. – №7 – С.46 – 51.
6. Горбис З.Р., Календерьян В.А. Теплообменники с проточными дисперсными теплоносителями. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
7. Фалеев, В. В. Исследование межфазного теплообмена в регенеративном теплообменнике с дисперсной насадкой [Текст] / В. В. Фалеев, А. В. Бараков // Промышленная энергетика. - 2003. - N 6. - С. . 35-37.

8. Прутских Д. А. Гидродинамика и теплообмен в регенераторе с дисперсной насадкой / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.14.04- Промышленная теплоэнергетика. – Воронеж: 2009. – 22 с.
9. Календерьян, В. А. Тепломассоперенос в аппаратах с плотным дисперсным слоем [Текст] / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова // Монография. – К., 2011. – 184 с.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
11. Солодкая А.В., Бошкова И.Л. Исследование эффективности теплообмена в теплообменниках-утилизаторах с гранулированной насадкой [Текст] / И.Л. Бошкова, А.В. Солодкая, // Proceeding of the Int. Conf. "Energy of Moldova – 2016. Regional aspects of development" 29 Sept. – 01 Oct., 2016 - Chisinau, Republic of Moldova. – p. 373-377.

УДК 697.9

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПРИТОЧНОЙ СТРУИ НАСТЕННОЙ СПЛИТ-СИСТЕМЫ

*Тимофеевский А.Л., к.т.н., Рябова Т.В., Неганов Д.В., Сулин А.Б., д.т.н.  
Университет ИТМО Россия*

*E-mail: alt1960@mail.ru, rjabova\_tatjana@mail.ru, glorynewfound@gmail.com, miconta@rambler.ru*

Циркуляция воздуха в помещении и распределение параметров воздуха по рабочей зоне в значительной мере определяются способом подачи воздуха при вентиляции с искусственным побуждением, т.е. приточными струями. Форма, направление приточной струи и характер ее развития в объеме помещения определяется конструкцией воздухораспределительного устройства. Задачей выполненного исследования являлась оценка точности аналитических и численных (CFD-моделей) расчетов по результатам сравнения с натурным экспериментальным исследованием полей температур и скоростей приточного факела.

Скорости и температуры воздуха в приточной струе измерялись термоанемометром AM50 фирмы CPS Products и лабораторными термометрами ТЛ-4 №2 с точностью 0,1 м/с и 0,1°C. Кроме того, выполнялась визуализация течения приточной воздушной струи путем подмеса дыма с температурой помещения в поток воздуха на входе в кондиционер.

На рис. 1 приведена фотография визуализированной неизотермической струи от бытового настенного кондиционера Daikin RXS25D/FTXS25D с графическим изображением ее оси, границ и точек измерения параметров.

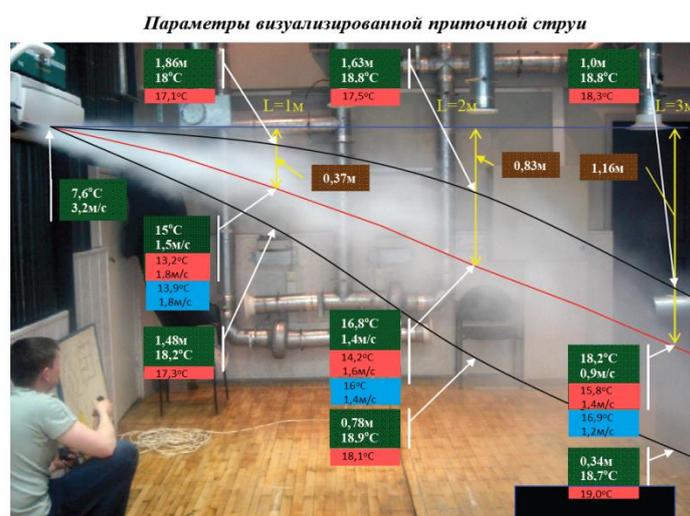


Рисунок 1 – Параметры визуализированной приточной струи

Плоские струи образуются при истечении из вытянутых прямоугольных отверстий с отношением сторон больше 5 [1]. Отношение сторон выходного отверстия внутреннего блока Daikin

FTXS25D равно 10, что позволяет считать его приточную струю плоской на удалении до 3.6 м от выхода из кондиционера [2,3]. При длине более 3,6 м данная плоская струя начинает преобразовываться в компактную, поэтому замеры параметров выполнялись на расстоянии до 3 м от внутреннего блока кондиционера.

На рис.2 представлены схемы приточной струи с указанием ее основных параметров.

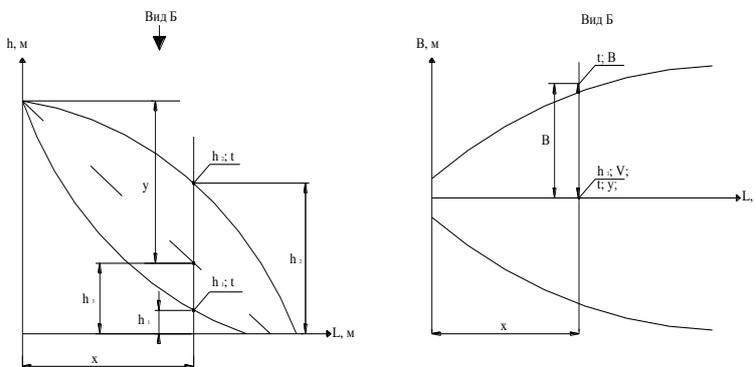


Рисунок 2 – Геометрическая схема приточной струи

Здесь:

$x$ , м – расстояние от места истечения до точки на приточной струе (по горизонтали);

$h_1$ , м – расстояние от нижней границе приточной струи до рабочей зоны;

$h_2$ , м – расстояние от верхней границе приточной струи до рабочей зоны;

$h_3$ , м – расстояние от оси приточной струи до рабочей зоны;

$t$ , °C – температура на границе или геометрической оси приточной струи;

$y$ , м – вертикальное расстояние от геометрической оси струи в расчетном сечении до уровня истечения;

$B$ , м – расстояние от границы приточной струи до ее геометрической оси (в плане);

$V$ , м/с – скорость на геометрической оси приточной струи.

Параметры воздуха на оси плоской приточной струи рассчитываются по формулам (1), (2), (3), (4), (5) [1].

Скорость на оси в расчетном сечении:

$$v_x = \frac{m v_o \sqrt{b_o}}{\sqrt{x}} K_c K_b K_n, \quad (1)$$

где:

$m = 2.6$  – коэффициент изменения скорости, полученный расчетным путем для плоских струй [2]. Коэффициент  $m$  принимается постоянным для всех режимов истечения струи, т.к.  $K_c$ ,  $K_b$ ,  $K_n$  близки к 1;

$b_o = 0.05$  м, – высота выходного отверстия;

$K_c = 1$  – коэффициент стеснения [3]. Принимается отличным от 1, если струя испытывает тормозящее влияние созданного ею обратного (встречного) потока. В данном случае закономерности течения струи не нарушаются влиянием ограничивающих плоскостей и соседних струй;

$K_b = 1$  – коэффициент взаимодействия [3]. Принимается отличным от 1, если воздух в помещение подается несколькими струями.

$K_n$  – коэффициент неизотермичности [1]. Учитывает развитие струи под влиянием инерционных и гравитационных сил, возникающих за счет разности плотностей воздуха в струе и в помещении.

$$K_n = \sqrt{\cos \alpha} \sqrt{\cos^2 \alpha + \left[ \sin \alpha \pm \sqrt{\left( \frac{x}{H \cos \alpha} \right)^2} \right]^2}, \quad (2)$$

где:

знак “-” принимается при подаче нагретого воздуха, а знак “+” – при подаче охлажденного воздуха;

$\alpha = 10^\circ$ , – угол между геометрической осью струи и горизонтальной поверхностью на начальном участке плоской струи, характерный для работы данного кондиционера в режиме охлаждения;

$H$ , м – геометрическая характеристика струи [1]. Параметр, характеризующий неизотермичность струи.

$$H = 9.63 \sqrt{b_o \frac{(mv_o)^4}{(n\Delta t_o)^2}}, \quad (3)$$

где:

$v_o$ , м/с – скорость выходящего воздуха;

$n$  – коэффициент изменения температуры [2]. Коэффициент  $n$  принимается постоянным для всех режимов истечения струи, т.к.  $K_c$ ,  $K_b$ ,  $K_n$  близки к 1.

$$n = \sqrt{\frac{1 + \sigma_r}{2}} m, \quad (4)$$

где:

$\sigma_r = 0.7$  – число Прандтля для турбулентного режима [2].

$$n = \sqrt{\frac{1 + 0.7}{2}} 2.6 = 2.4 \quad (5)$$

$$\Delta t_o = |t_o - t_{o3}|$$

где:

$t_o$ , °С – температура на выходе из кондиционера;

$t_{o3}$ , °С – температура обитаемой зоны.

Разность температуры на геометрической оси приточной струи в расчетном сечении и температуры обитаемой зоны (6):

$$\Delta t_x = \frac{n\Delta t_o \sqrt{b_o}}{\sqrt{x}} \frac{K_b}{K_c K_n}, \quad (6)$$

где

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{\cos \alpha}}$$

Вертикальное расстояние от геометрической оси неизотермичной струи в расчетном сечении до уровня истечения при подаче воздуха под углом к горизонтальной поверхности определяется по формуле (7) [2]:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha \pm 0.4 \sqrt{\frac{x^5}{H^3 \cos^5 \alpha}}. \quad (7)$$

Для выполнения компьютерного газодинамического моделирования (CFD моделирования) разработана геометрическая модель помещения с установленным настенным блоком (рис. 3).



Рисунок 3 – Внешний вид и геометрическая модель настенного блока

При разработке численной модели обоснованы и приняты следующие допущения.

1. Тепловая инерция помещения велика по сравнению с холодильной мощностью кондиционера.

2. Начальная температура воздуха помещения и ограждающих конструкций равномерна и не успевает измениться за время работы кондиционера.

3. Работа местной вентиляции не оказывает существенного влияния на характер воздухораспределения кондиционера.

4. Направление потока воздуха из кондиционера в помещение задается направлением приточных векторов в соответствии с экспериментом.

В качестве моделей построение сетки были выбраны триммер (для объемной сетки) и построитель призматических слоев для описания пристеночных течений.

При физическом моделировании приняты следующие допущения.

• Воздух в помещении и воздух приточной струи является мультикомпонентным и химически не реагирующим газом.

• Стационарный режим течения приточной струи

• Модель турбулентности k- $\epsilon$ .

• Влияние гравитации учитывается.

Исходные данные для расчета, соответствующие условиям проведения эксперимента:

-  $t_0 = 7.6^\circ\text{C}$ , – температура на выходе из кондиционера;

-  $t_{03} = 21.0^\circ\text{C}$ , – температура помещения;

-  $v_0 = 3.2 \text{ м/с}$ , – средняя скорость выходящего воздуха.

Для того, чтобы убедиться в корректности результатов, полученных при компьютерном моделировании, решение производилось при двух различных базовых размерах сетки – 0,03 м и 0,025 м. В обоих случаях были получены одинаковые результаты.

На рис. 4 приведены примеры результатов вычислительного моделирования в виде магнитуд температур и скоростей приточного факела.

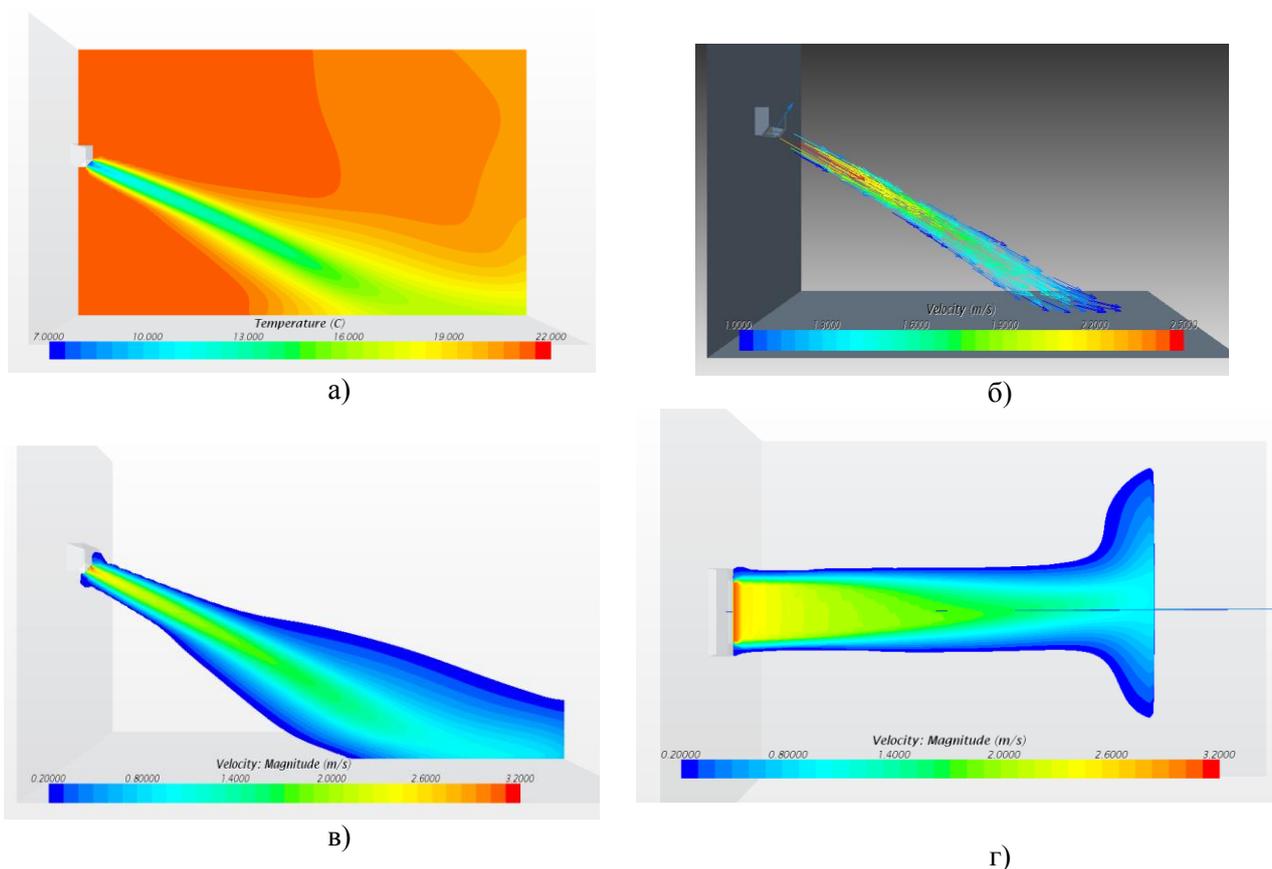


Рисунок 4 – Магнитуды температур и скоростей, а) поле температур в аксонометрии; б) поле скоростей в аксонометрии; в) поле скоростей в вертикальном сечении; г) поле скоростей в горизонтальном сечении

Сравнительные данные результатов аналитического и численного расчета с натурным экспериментом для соответствующих расчетных точек (рис. 5) приведены в таблице 1.

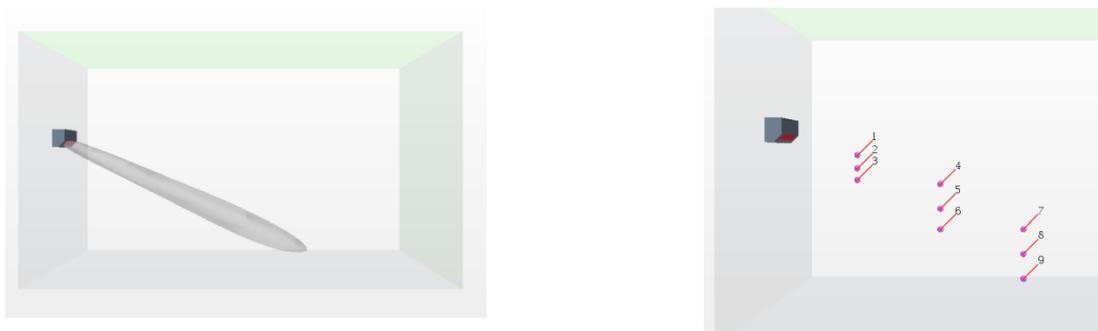


Рисунок 5 – Геометрия факела приточной струи и положение расчетных точек

Таблица 1 – Сравнение опытных и расчетных данных параметров приточной струи

Точка	Удаленность от кондиционера, м	Высота от пола, м		Скорость, м/с	Температура, С
1	1	1,86	Эксперим.	---	18,0
			Модель	---	16,9
			Расчет	---	---
2		1,63	Эксперим.	1,5	15,0
			Модель	1,92	12,5
			Расчет	1,8	13,9
3		1,48	Эксперим.	---	18,2
			Модель	---	18,3
			Расчет	---	---
4	2	1,63	Эксперим.	---	18,8
			Модель	---	18,4
			Расчет	---	---
5		1,17	Эксперим.	1,4	16,8
			Модель	1,46	14,2
			Расчет	1,4	16
6		0,78	Эксперим.	---	18,9
			Модель	---	18,9
			Расчет	---	---
7	3	1,0	Эксперим.	---	18,8
			Модель	---	17,9
			Расчет	---	---
8		0,7	Эксперим.	0,9	18,2
			Модель	1,18	15,7
			Расчет	1,2	16,9
9		0,34	Эксперим.	---	18,7
			Модель	---	18,7
			Расчет	---	---

Сравнительный анализ данных по температуре и скорости воздуха в факеле неизотермической струи показывает, что аналитический расчет для центральной оси струи (выделено полужирным шрифтом) не уступает по точности более трудоемкому CFD моделированию. В то же время CFD моделирование не имеет альтернативы для расчета параметров на периферии приточного факела и в условиях стесненного пространства помещения. Удовлетворительное соответствие расчетных и опытных данных позволяет использовать результаты данной работы в более сложных вариантах подачи воздуха от систем кондиционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2. / Под общ. редакцией Н.Н. Павлова. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
2. Гримитлин М.И. Основы расчета вентиляционных струй // Инженерные системы АВОК Северо-Запад. – 2002. №3. – С. 26-33.
3. Гримитлин М.И. Основные закономерности изотермических и слабоизотермических струй. Теория и расчет вентиляционных струй. – Л.: ВНИИОТ, 1965. – 220 с.

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Татаренко Ю.В., к.т.н., Рачковский Н.О., аспирант  
Санкт - Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики Россия, Санкт-Петербург  
E-mail: lavrtat@mail.ru, rachkovskiy.nikita@mail.ru*

К настоящему времени в технической литературе описано множество случаев применения тепловых насосов [1 – 4]. Согласно изученным литературным источникам разделим возможные области применения тепловых насосов на две категории:

- категория 1 – утилизация низкопотенциальной теплоты (низкопотенциальной – считаем теплоту с температурой теплоносителя менее 50 °С);
- категория 2 – «увеличение низкопотенциальной теплоты» (низкопотенциальной – считаем теплоту с температурой теплоносителя менее 10 °С).

Утилизация низкопотенциальной теплоты является наиболее простым и эффективным способом снижения потребления энергетических ресурсов и, как следствие, повышения общей энергоэффективности систем жизнеобеспечения зданий, сооружений и автономных объектов.

К низкопотенциальным источникам теплоты относятся сбросная вода ( $t = 6 \div 50$  °С (случаи, когда температура выше, не будут рассматриваться, так как их количество мало)), выбросной воздух ( $t = 16 \div 23$  °С), накопительные баки холодной воды систем водоснабжения больших объёмов ( $t = 6 \div 8$  °С).

Утилизируемая низкопотенциальная теплота воды (сбросной, баков аккумуляторов) может быть использована для подогрева воды для ГВС, а также для отопления помещений [5 – 7].

Утилизируемая низкопотенциальная теплота выбросного воздуха может быть использована для нагрева приточного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования [7, 8].

Создание систем утилизации низкопотенциальной теплоты возможно как во вновь создаваемых объектах, так и в реконструируемых объектах [9].

Системы тепловых насосов, работающих на «увеличение низкопотенциальной теплоты», являются наиболее современным способом снижения потребления таких энергетических ресурсов как теплота и электрическая энергия, а также повышения энергетической автономности сооружений.

Во вновь возводимых объектах рекомендуется размещение тепловых насосов, работающих на «увеличение теплоты». При проектировании объектов необходимо учитывать сложность размещения «поглотителей» (абсорберов) и трассы передачи низкопотенциальной теплоты.

Источниками низкопотенциальной теплоты могут быть:

- солнечная энергия;
- грунт;
- водоёмы.

В настоящее время, существует ряд законодательных ограничений, препятствующих развитию и применению тепловых насосов в РФ. Эти ограничения можно классифицировать, как прямые и косвенные:

1. Прямые ограничения – запреты в области градостроительства и архитектуры, а именно запреты на изменение строительных конструкций исторической застройки.

2. Косвенные ограничения – неурегулированные вопросы землепользования и использования водоёмов: законодательство гласит о том, что земля принадлежит собственнику, а недра принадлежат государству (аналогично и с водоёмами).

Косвенное ограничение относится к вопросу учёту и администрирования поглотителей тепловых насосов, т.е. к комплексному регулированию расположения поглотителей тепловых насосов на территории для предотвращения снижения рабочих мощностей, по сравнению с проектными (исключение совместного отбора теплоты различными тепловыми насосами). Размещение тепловых насосов с поглотителями теплоты из водоёмов (в первую очередь) и из грунта должно быть согласовано с экологическими службами, так как применение тепловых насосов может оказывать существенное влияние на флору и фауну на территории их размещения.

В настоящее время с сожалением приходится констатировать, что применение тепловых насосов в России носит случайный характер. Перспективы применения тепловых насосов на данный момент зависят от следующих параметров:

1. место расположения;

2. доступность углеводородных и иных источников энергии;
3. назначения объекта;
4. собственник объекта;
5. стоимости энергетических ресурсов;
6. банковский процент.

Рассмотрим подробнее каждый параметр, перечисленный выше. Во-первых, место расположения является основным параметром, влияющим на выбор того или иного низкопотенциального источника теплоты и как следствие на капитальные затраты. В некоторых случаях целесообразно применение двух низкопотенциальных источников теплоты. Во-вторых, доступность углеводородных и иных источников энергии определяет минимально необходимую потребность в альтернативных источниках. В-третьих, назначение объекта – определение приоритетных объектов в получении как готовой к потреблению энергии, так и альтернативной энергии. В-четвертых, собственник объекта – данный параметр является наиболее субъективным, так как каждый собственник сам определяет стратегию эксплуатационных и капитальных затрат. Отметим, что нередко проектируемые схемы претерпевают существенные изменения в связи с пожеланиями и «рекомендациями» заказчика. Также стоит отметить и стоимость энергетических ресурсов, которая является «движущей силой» использования альтернативных источников энергии в странах импортера энергоресурсов. Россия является страной экспортёром и, соответственно, имеет более низкие цены на энергетические ресурсы по сравнению с мировым рынком (отметим, что цены на энергетические ресурсы на внутреннем рынке загадочно также достаточно высоки). И последнее, в настоящее время, большая часть инфраструктурных объектов финансируется за счёт привлечения кредитных ресурсов. Высокий банковский процент за пользование кредитных средств жёстко ограничивает увеличение капитальных затрат, в том числе и на энергосберегающие мероприятия.

Что хочется отметить в заключении, в связи со всем вышерассмотренным, что развитие применения тепловых насосов в Российской Федерации всё-таки достаточно обширно и их применение возможно на всей территории страны (если учесть опыт использования тепловых насосов в странах Скандинавии и Германии [4]).

Износ основных фондов и постоянно растущие эксплуатационные издержки, а также дефицит энергии на некоторых территориях создают предпосылки для развития применения менее энергоёмких и более современных технологий [6, 7, 10]. Хочется отметить, что развитие технологий, использующих низкопотенциальную теплоту, в настоящее время, позволит создать новые рабочие места в различных областях – от сферы образования и добычи сырья до производства и проектирования технически сложной компрессорной техники [11] и программного обеспечения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янговский Е.И., Левин Л.А. Промышленные тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.
2. Рей Д., Макмакл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Мартыновский В.С. Тепловые насосы. – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1955. – 191 с.
4. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер; пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш. Фельдмана; под. ред. Б.К. Янвеля. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.
5. Никитин А.А. Теплонасосные системы как источник тепло- и хладоснабжения зданий. – София, 2012. – Т. 1. – с. 207-212.
6. Васильев Г.П. Теплоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли. – М.: «Граница», 2006. – 173 с.
7. Калнинь И.М., Савицкий И.К. Тепловые насосы: вчера, сегодня, завтра // Холодильная техника. – 2000. – № 10. – С. 2-6.
8. Никитин А.А., Муравейников С.С., Крылов В.А. Перспективы использования тепловых насосов в системах вентиляции// Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2016, №4. – С. 57-61.
9. Дмитриев А.Н., Монастырев П.В., Сборщиков С.Б. Энергосбережение в реконструируемых зданиях. М.: Издательство АСВ, 2008. – 208 с.
10. Богданов А.Б. Применение тепловых насосов в «большой» энергетике // X всероссийская научно-практическая конференция «Эффективность систем жизнеобеспечения города». Красноярск. – 25-26 ноября 2009 года.
11. Быков А.В., Калнинь И.М., Цирлин Б.Л. Перспективы создания крупных турбокомпрессорных машин для теплонасосных установок // Теплоэнергетика. – 1978. – № 4. – С. 25-28.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЫ В СОСТАВЕ БЫТОВОГО АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИБОРА**

*Титлов А.С., д-р техн. наук., Козонова Ю.А., к.т.н., Приймак В.Г., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: titlow@mail.ru, kozonova5@gmail.com, vlad.priymak.88@mail.ru*

Анализ тепловых режимов абсорбционных холодильных агрегатов (АХА), работающих в составе бытовых абсорбционных холодильных приборов (АХП), показал, что перспективным направлением в энергосбережении может стать разработка бытовых приборов, совмещающих функции холодильного хранения и тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сельскохозяйственного сырья [1,2].

В таких комбинированных бытовых приборах теплота, выделяющаяся при реализации холодильного цикла, не отводится в окружающую среду, а направляется в специальную тепловую камеру (ТК) [3,4]. В объеме ТК поддерживается температура выше, чем температура воздуха в помещении. Таким образом в комбинированных бытовых приборах достигается и эффект энергосбережения за счет того, что температурные режимы в ТК поддерживаются без привлечения дополнительных энергозатрат.

Предлагаемые разработки новой бытовой холодильной техники, совмещающие в одной конструкции функции, как холодильного хранения, так и тепловой обработки, достаточно необычны для большей части населения, поэтому одновременно с конструкторскими разработками был проведен анализ технологий, использующих тепловую обработку пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья.

Объекты и методы исследования – технологические режимы тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья, методы – анализ существующих технологий тепловой обработки

Технологические исследования и анализ.

В тепловых камерах (ТК) бытового комбинированного прибора абсорбционного типа обеспечивается поддержание температуры в пределах от комнатной до 70 °С. Применение ТК ориентировано в первую очередь для домашнего хозяйства.

Использование ТК возможно для [5-7]:

- а) поддержания температуры на определенном уровне;
- б) подогрева продукта до заданной температуры;
- в) различных видов технологической обработки, в результате которой может быть получен новый продукт (сушка, вяление, брожение и др.).

Одним из наиболее распространенных видов технологической обработки пищевых продуктов, применяемых в домашнем хозяйстве, является пастеризация молока. При пастеризации молока уничтожаются все вегетативные клетки вредных для человека микроорганизмов. Молоко сохраняет большую стойкость при хранении и сравнительно мало изменяет свой состав. Различают пастеризацию кратковременную при температуре 72...75 °С с выдержкой в течение 20...30 с и длительную – при 63...65 °С с выдержкой в течение 30 мин. При нагревании молока до 40...50 °С на его поверхности образуется тонкая пленка – “пенка”, состоящая из казеина, жира и других составных частей молока. В наименьшей степени на физико-химические и биологические свойства молока влияет длительная пастеризация, во время которой незначительно изменяются белки (происходит частичная денатурация альбуминов), из молока удаляется углекислый газ, что вызывает уменьшение кислотности на 0,5...1,0 °Т.

Другим видом технологической обработки молока, широко применяемым в домашнем хозяйстве, является получение простокваши. Ее получают из молока, сброженного молочнокислыми бактериями, оптимум жизнедеятельности которых находится в пределах 30...45 °С (в зависимости от вида микроорганизма). Для брожения используют микроорганизмы, находящиеся в сыром молоке либо вводят чистые культуры микроорганизмов в пастеризованное молоко. В зависимости от применяемого сырья и состава бактериальной закваски различают простоквашу: обыкновенную, сброженную чистыми культурами молочнокислых стрептококков; варенец, который готовят из стерилизованного молока, сброженного молочнокислым стрептококком и молочнокислой палочкой; ряженку – из топленого (выдержанного при 95 °С в течение 2...3 ч) молока и сливок, сквашенных

чистыми культурами молочнокислых термофильных стрептококков и болгарской палочки в соотношении 5 : 1. Обработанное микроорганизмами молоко выдерживают при температуре 30...45 °С до образования сравнительно плотного сгустка (70...80 °Т) без отделения сыворотки и охлаждают до 6...8 °С.

В некоторых регионах мира, где традиционно используют в питании кобылье молоко, возможно также получение кумыса. Этот кисломолочный напиток может быть приготовлен из кобыльего или обезжиренного коровьего молока, сброженного чистыми культурами болгарской палочки, молочнокислых бактерий и молочных дрожжей, вызывающих молочнокислое и спиртовое брожение. Лечебное значение кумыса обусловлено наличием в нем витаминов группы В и С, антибиотиков; он рекомендуется при туберкулезе, заболеваниях желудочно-кишечного тракта, печени, почек, сердечнососудистой системы. Кумыс из кобыльего молока примерно в три раза богаче витамином С, чем из коровьего.

Широко распространено приготовление в домашних условиях творога. При приготовлении кислотно-сычужного творога, пастеризованное молоко охлаждают до температуры 30...34 °С и добавляют 5 % закваски, которую тщательно перемешивают с молоком, добавляют раствор хлористого кальция и сычужного порошка. Образовавшийся через 6...8 ч плотный сгусток разрезают на части, после часовой выдержки сыворотку удаляют, а сгусток подвешивают в бязевых мешочках для самопрессования. При выработке кислотно-сычужного творога сычужный порошок и хлористый кальций не добавляют; для ускорения отделения сыворотки образовавшийся сгусток после разрезания подогревают до 38...40 °С в течение 20...30 мин, удаляют сыворотку, а творог спрессовывают и охлаждают.

Помимо молочных и кисломолочных продуктов питания ТК могут быть использованы для приготовления теста при выпечке кулинарных изделий. Дрожжевое тесто готовят опарным и безопарным способами. При приготовлении опары с дрожжами смешивают часть муки и воды и оставляют для брожения на 2...3 часа при температуре 27...30 °С. После этого в опару добавляют все, оставшееся по рецептуре количество компонентов, замешивают тесто и оставляют его на 1,0...1,5 ч для брожения. При безопарном способе все компоненты вносят одновременно с дрожжами, после чего тесту дают бродить 3...4 ч. При этом хотя и сокращается время, необходимое для приготовления теста, но изделия получаются не всегда высокого качества.

ТК может быть использована для расстойки сформованных изделий перед их выпечкой. Расстойка производится при температуре 30...32 °С в течение 25...120 мин в зависимости от массы тестовой заготовки. Конец расстойки определяют по увеличению объема тестовых заготовок и приобретению ими правильной формы.

При хранении хлеб усыхает и черствеет. При очерствении в первую очередь происходит изменение состояния крахмала. В свежем хлебе крахмал находится в аморфном состоянии. При хранении крахмал отдает влагу и переходит в кристаллическое состояние, уменьшается в объеме, между белками и зёрнами крахмала появляются воздушные прослойки, и мякиш становится крошким. Вода, выделяемая крахмалом, частично удерживается белками, частично насыщает образовавшиеся воздушные прослойки, в результате чего корка хлеба размягчается. Возможно и освежение хлеба при его подогреве до 60 °С. При этом крахмальные зёрна снова набухают и восстанавливается эластичность мякиша. Освежать хлеб можно несколько раз, но в конечном итоге этот процесс становится необратимым. Для освежения хлеба можно использовать тепловые камеры.

Процесс очерствения характерен и для блюд из крупяных и макаронных изделий даже при непродолжительном хранении при комнатной температуре. Подогрев этих блюд до температуры порядка 60 °С восстанавливает их первоначальные свойства.

Наряду с подогревом блюд из крупяных и макаронных изделий ТК могут быть использованы также для подогрева первых и вторых блюд. При этом подогрев пищи не сопряжен с опасностью использования открытого огня, что позволяет производить его детьми младшего школьного возраста.

Одним из важных направлений применения ТК может быть сушка плодов, овощей, рыбы, лекарственных трав, ягод, грибов и др. В процессе сушки происходит значительное уменьшение влагосодержания продуктов, которое способствует продлению сроков их хранения. Минимум влажности при котором возможно развитие бактерий, составляет 25...30 %, а плесневые грибы требуют не менее 10 % влаги. Попадая в сухую среду, микробные клетки отдают осмотическим путем свою влагу, плазмолизируют и прекращают жизнедеятельность. При высушивании влажность овощей и плодов доводят до 8...25 %, т.е. до уровня, который препятствует развитию микроорганизмов.

Сушка как метод консервирования пищевых продуктов имеет много достоинств. Технология и применяемая аппаратура отличаются простотой. Масса и объем сырья в процессе сушки уменьшаются в несколько раз, чем достигается большая экономия тары, площадей для хранения и

транспортных средств. Сушеные продукты не слишком прихотливы к условиям хранения, не нуждаются в герметической упаковке, не требуют особых хранилищ.

Перед сушкой некоторых видов плодов и овощей (сливы, картофель, морковь и др.) проводится бланширование, которое существенно влияет на их физико-химические свойства и направлено на улучшение качества и сохранности конечного продукта. При бланшировании ткань плодов становится более мягкой, клетки ее набухают и вытесняют воздух из межклеточных пространств. Протоплазма, свертываясь, отделяется от клеточных оболочек, которые становятся более проницаемыми. Все это способствует лучшей отдаче влаги при сушке и лучшему восстановлению сушеных плодов при приготовлении из них блюд. Кроме того, благодаря бланшированию уменьшается гигроскопичность сушеных овощей и фруктов, а также инактивируются их окислительные ферменты. Поэтому бланширование способствует лучшей сохранности сушеной продукции.

При бланшировании плодов, покрытых восковым налетом, например, сливы достигается не только закрепление цвета, но и освобождение кожицы от налета и образование на ее поверхности мелких трещин в виде сетки. Благодаря этому улучшается влагообмен между плодом и окружающей средой, что приводит к ускорению сушки и улучшению восстанавливаемого сушеного продукта.

Перед сушкой многие овощи и плоды измельчают. В зависимости от вида сырья овощи и плоды режут кружочками, дольками, кубиками, столбиками. Некоторые плоды сушат в целом виде. Сушку производят при температурах 40...70 °С.

Особый интерес в домашних условиях представляет сушка белых кореньев, зелени, грибов и других овощей, сушка которых в осенний период особенно целесообразна. Сушка плодов и ягод позволяет не только сохранить длительное время содержащиеся в них биологически активные вещества, но и получить деликатесные продукты. Сушке подвергают яблоки, груши, абрикосы, сливы, вишни, персики, виноград и другие ягоды, в том числе и дикорастущие, дыни, инжир и пр. Крупные и средние яблоки и груши сушат половинками или четвертинками. Сушеные абрикосы готовят из абрикосов сушительных сортов с яркоокрашенными плодами, плотной мякотью и легкоотделяющейся косточкой. Сушеные абрикосы подразделяют на урюк (целые плоды с косточками), кайсу (целые плоды с выдавленной косточкой) и курагу (половинки плодов). Сушеные сливы готовят из венгерок и ренклодов. Наиболее ценным является чернослив, который получают при высушивании венгерок. Для сушки используют и другие местные сорта. Сушеные вишни получают из темноокрашенных мясистых сортов с высоким содержанием сухих веществ. Сушеный виноград готовят из винограда сушительных сортов с высоким содержанием сухих веществ и тонкой кожицей. Сушеный виноград, полученный из бессемянных сортов, называют кишмишем, а из семенных – изюмом. Кишмиш используют при выпечке булочных изделий, сдобы и кексов, а изюм – для приготовления компотов.

В ТК можно производить сушку и вяление рыбы. Сушеную рыбу заготавливают путем значительного ее обезвоживания холодной естественной или искусственной сушкой при температуре не выше 35 °С, а также горячей сушкой в печах при температуре до 200 °С. При холодной сушке в рыбе не происходят глубокие изменения, и она лучше сохраняет свои свойства. Сушат только тощую соленую или несоленую рыбу, содержащую до 2...3 % жира. Рыбу холодной сушки заготавливают, в основном, из трески и пикши.

Вяленой называется рыба, предварительно посоленная и подвергнутая медленному обезвоживанию: как правило, в естественных условиях при температуре 10...20 °С. Во время вяления (в течение 15...30 суток) в рыбе происходят сложные физические и биохимические процессы, значительно изменяющие ее внешний вид и вкусовые качества. Под действием тепла, аэрации воздуха и медленного обезвоживания в рыбе уменьшается содержание влаги, мышечная ткань уплотняется и пропитывается жиром, от чего она приобретает янтарно-желтый цвет и слегка просвечивается. Одновременно происходят глубокие автолитические и гидролитические изменения белков и жира, а также протекают окислительные процессы. Рыба при этом созревает, приобретая весьма своеобразный, неповторимый аромат и очень приятный вкус. Созревание вяленой рыбы происходит не только в процессе вяления, но и продолжается при хранении.

Вяленую и сушеную рыбу необходимо хранить в сухих, чистых, хорошо вентилируемых и затемненных помещениях при температуре не выше 10 °С и относительной влажности воздуха 70...75 %. В этих условиях солено-сушеная рыба может сохраниться до 8...9 месяцев, а вяленая – до 3...4 месяцев. Хранение в неохлаждаемых помещениях вяленой рыбы, приготовленной из жирных пород, кратковременно. Для такого режима вполне приемлема холодильная камера комбинированного бытового прибора.

Реже в домашнем хозяйстве готовят сухое мясо из говядины. Тепловой режим сушки составляет 60...80 °С, а продолжительность процесса определяется достижением влажности продукта не более 10 %. Кроме того, возможно приготовление специфических кулинарных изделий из мяса в тепловой камере. Например, мясной фарш с солью и специями укладывают в формы и запекают при температуре 70...72 °С. Запеченные изделия имеют нежную, эластичную консистенцию, сочную – у мясных хлебов и мазеобразную – у паштетов. Практически повсеместно наблюдается заготовка в домашних условиях лекарственных растений, которые сразу же, после их заготовления, необходимо высушить. Растения, которые содержат эфирные масла, сушат при температуре не выше 25...30 °С, те растения, которые содержат алкалоиды и гликозиды, – при 50...60 °С. Для сушки сочных плодов используют более высокие температуры, порядка 70...80 °С, а корни сушат при 40...50 °С. Наибольшее распространение получила заготовка плодов шиповника, боярышника, ромашки аптечной, зверобоя, тысячелистника, душицы, календулы и других трав.

Не исключено также использование ТК для размягчения масла и маргарина при замесе теста разных видов (33...35 °С), подсушивания семечек, сушки дрожжей, подсушивания круп для удаления жучка, запаривания настоев трав и пр.

Оригинальное решение по применению ТК в домашнем хозяйстве представляет использование ее в качестве инкубатора для выведения цыплят.

Для расширения диапазона температур в ТК в сторону увеличения можно применять дополнительные источники энергии.

1. Представленный анализ показал, что в ТК бытового абсорбционного холодильного прибора могут быть использованы технологии, которые достаточно давно применяются в домашнем хозяйстве в различных регионах планеты.

2. Для эффективного использования технологий тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья следует провести их систематизацию и прилагать к каждому изделию в виде инструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тітлов О.С. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів [Текст] / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 113-127.

2. Тележенко Л.М. Розробка нового типу побутових комбінованих приладів [Текст] / Л.М. Тележенко, О.С. Тітлов, С.В. Вольневич, Ю.О. Козонова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 22-25.

3. Деклараційний патент № 47866А Україна, МПК<sup>7</sup> F 25 D 11/02. Комбінований абсорбційний холодильник / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров, О.Б. Василів, С.В. Вольневич (Україна). – №2001106933; заявл. 11.10.01; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.

4. Деклараційний патент № 47751А Україна, МПК<sup>7</sup> F 25 B 15/10. Комбінований абсорбційний холодильник / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров, О.Б. Василів, С.В. Вольневич (Україна). – №2001096073; заявл. 04.09.2001; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.

5. Флауменбаум Б. Л. Основы консервирования пищевых продуктов [Текст] / Б. Л. Флауменбаум. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 272 с.

6. Тылкин Б. Б. Товароведение пищевых продуктов [Текст] / Б. Б. Тылкин. – М. : Экономика, 1980. – 432 с.

7. Назаров М. И. Общая технология пищевых продуктов [Текст] / М. И. Назаров, А. С. Гинзбург, С. М. Гребенюк. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 360 с.

УДК 641.539 : 621.574.013-932.2

### **МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ КАМЕР В СОСТАВЕ БЫТОВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРИБОРОВ АБСОРБЦИОННОГО ТИПА**

*Титлов А.С., д-р техн. наук., Приймак В.Г., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: titlow@mail.ru, vlad.priymak.88@mail.ru*

Перспективным направлением в энергосбережении является создание бытовых приборов, объединяющих функции холодильного хранения и тепловой обработки пищевых продуктов,

полуфабрикатов и сельскохозяйственного сырья [1]. В таких аппаратах кроме традиционной холодильной камеры имеется и дополнительная тепловая камера (ТК).

Использование НК возможно для [2]: сохранения и поддержания температуры на определенном уровне (термостатирование); подогрева продукта до заданной температуры; различных видов технологической обработки, в результате которой может быть получен новый продукт (сушка, вяление, брожение и др.).

Анализ технологий, использующих термическую обработку продуктов, полуфабрикатов и сырья, показал [2], что для реализации в быту подавляющего их числа достаточен температурный уровень 50...70 °С.

Показано также [2], что таким температурным потенциалом обладают теплорассеивающие элементы генераторного узла абсорбционного холодильного агрегата (АХА) – опускной и подъемный участки дефлегматора и ректификактор.

Разработаны различные схемы аппаратов с ТК, отличающиеся [3]:

- а) способом передачи тепла (непосредственный контакт дефлегматора и ТК, использование промежуточных теплопередающих устройств, в том числе и с эффектом «осмоса»);
- б) расположением ТК (сверху холодильного шкафа и в нижней части);
- в) конструктивным исполнением ТК (одно- или двухкамерная конструкция);
- г) источником бросового тепла и, соответственно, температурным уровнем (конденсатор, дефлегматор).

Наиболее простой в конструктивном исполнении является схема с промежуточным теплопередающим устройством (ТПУ), которая предполагает минимум изменений в составе АХА. В настоящее время разработаны два типа комбинированных бытовых аппаратов - с воздушной ТК и жидкостной ТК [4]. Опытные конструкции были изготовлены на Васильковском заводе холодильников на базе серийного модели «Кристалл – 408» АШ-150 .

Несмотря на то, что испытания опытных конструкций комбинированных аппаратов показали их работоспособность [5], разработка новых моделей невозможна без математического моделирования тепловых режимов в нестационарных режимах (переходных и позиционных). Известный подход к моделированию тепловых режимов ТК [6] позволяет получать распределение температурных полей элементов конструкции ТК, однако достаточно сложен для определения непосредственно самой толщины теплоизоляции.

Объекты и методы исследования – тепловые камеры бытовых комбинированных приборов абсорбционного типа, методы – инженерные расчеты толщины теплоизоляции камер тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья.

Инженерная методика расчета.

В основе инженерного расчета лежат следующие положения:

- а) во-первых, как уже было отмечено выше, для реализации большинства технологий термической обработки продуктов в быту температура в ТК ( $t_{HK}$ ) должна достигать 70 °С;
- б) во-вторых, в отличие от камер охлаждения, "жесткими" или неблагоприятными условиями работы ТК будут низкие температуры окружающей среды, поэтому при моделировании целесообразно иметь некоторый запас по термическому сопротивлению ограждающих конструкций, например, ориентироваться на температуры окружающей среды  $t_{o.c} \leq 20$  °С;
- в) в-третьих, выбор толщины теплоизоляции ТК не может быть проведен с использованием стоимостных эксплуатационных показателей, так как ее функционирование обеспечивается за счет утилизации бросового тепла цикла АХА либо отходящих газов горелочных устройств.

Оправданным в этом случае представляется следующий подход.

Так как во многих случаях ТК включается в состав холодильного шкафа, их глубина и ширина регламентируются соответствующими габаритами шкафа. Задаваясь полезным объемом ТК ( $V_{TK}$ ), с учетом располагаемой тепловой мощности дефлегматора АХА ( $Q_{ДФ} = Q_{TK}$ ), можно получить толщину теплоизоляции стенок ТК, решая итерационным способом уравнение теплопередачи:

$$Q_{TK} = (t_{TK} - t_{o.c.}) \sum_{i=1}^6 \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1(i)} F_{н(i)}} + \frac{\delta_{уз(i)}}{\lambda_{уз}} + \frac{1}{\alpha_{2(i)} F_{вн(i)}}}, \quad (1)$$

где:  $\alpha_{1(i)}, \alpha_{2(i)}$  – коэффициенты теплообмена на наружной и внутренней поверхности  $i$  – той стенки ТК, соответственно, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$F_{н(i)}, F_{ср(i)}, F_{вн(i)}$  – площадь наружной поверхности, среднего сечения и внутренней поверхности  $i$  – той стенки ТК, м<sup>2</sup>;

$\delta_{из(i)}$  – толщина теплоизоляции  $i$  – той стенки ТК, м.

По найденным значениям  $\delta_{из(i)}$  и  $V_{ТК}$  определяется высота ТК.

При раздельном исполнении ТК и холодильного шкафа, когда ограничение по глубине и ширине отсутствуют, представляется целесообразным из соображений дизайна также придерживаться размеров холодильного шкафа.

С учетом численного значения коэффициента рабочего времени (КРВ) АХА располагаемая и действительная тепловые мощности дефлегматора соотносятся как:

$$Q_{НК}^P = \frac{Q_{НК}}{КРВ} \quad (2)$$

При работе АХА в позиционном режиме с периодическим включением-отключением тепловой нагрузки в генераторе АХА представляется целесообразным использование плавящихся теплоаккумулирующих материалов, которые в нерабочем состоянии АХА способны обеспечить стабилизацию тепловых режимов в полезном объеме ТК.

Для работы на уровне температур 70 °С наиболее предпочтительными аккумуляторами тепла являются н-парафины с числом атомов углерода 28...31, при этом теплота плавления составляет 165 кДж/кг [7].

Расчет толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций ТК был проведен с тепловой нагрузкой на подъемном участке дефлегматора 19...22 Вт, т.е. при работе типичного абсорбционного однокамерного холодильника с НТО типа «Кристалл-408» АШ-150 в номинальном режиме.

Толщины теплоизоляции боковых стенок, дна и крышки определены в результате расчета нестационарных температурных полей на основе известной математической модели [6], при этом учитывались (рис.1):

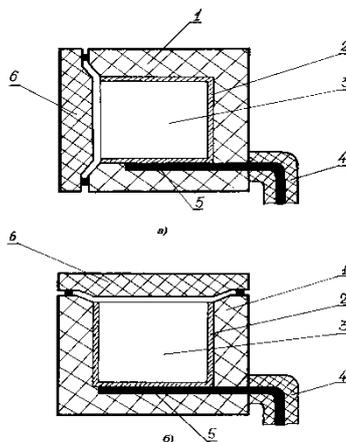


Рисунок 1 – Варианты тепловой связи ТК с промежуточным ТПУ: а) камера воздушного типа; б) емкость для жидкости; 1 – теплоизолированные покрытия; 2 – внутренний металлический корпус; 3 – полезный объем тепловой камеры; 4 – теплоизоляция транспортной зоны промежуточного ТПУ; 5 – конденсационный участок промежуточного ТПУ; 6 – крышка (дверь) ТК

а) ориентация стенок ТК и ее тепловая связь с низкотемпературным отделением (НТО);

б) конструктивные особенности ТК (камера воздушного типа выполнена в виде шкафа, а емкость для жидкости – в виде ларя);

в) КРВ серийного абсорбционного однокамерного холодильника с НТО типа «Кристалл-408» АШ-150.

Для создания запаса расчет проведен при температуре воздуха окружающей среды  $t_{o,c} = 20$  °С и значении КРВ = 0,55.

Результатом расчета стали численные значения толщины теплоизоляции, которые позволяют поддерживать температуру в заданном объеме ТК, равную 70 °С, при этом задана и тепловая нагрузка подъемного участка дефлегматора АХА.

Результаты расчета представлены в виде номограмм (рис. 2 и 3) для ТК воздушного типа, как имеющих наибольшие перспективы применения по сравнению с жидкостными.

Рассмотрено два варианта теплоизоляции – ППУ (рис. 2) и стекловолокно (рис. 3).

В номограммах зафиксирована наружная ширина (0,57 м) и глубина (0,54 м) ТК, в соответствии с размерами холодильного шкафа модели «Кристалл-408» АШ-150.

Как показали расчеты для ТК, выполненной в виде емкости для жидкости, толщину тепловой изоляции, полученную при помощи номограмм, следует увеличить в среднем на 5 %.

При выборе типа теплоизоляции необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- наличие на рынке определенного типа тепловой изоляции и ее стоимость;
- значение полезного объема ТК;
- габаритные размеры, в первую очередь, высоту ТК.

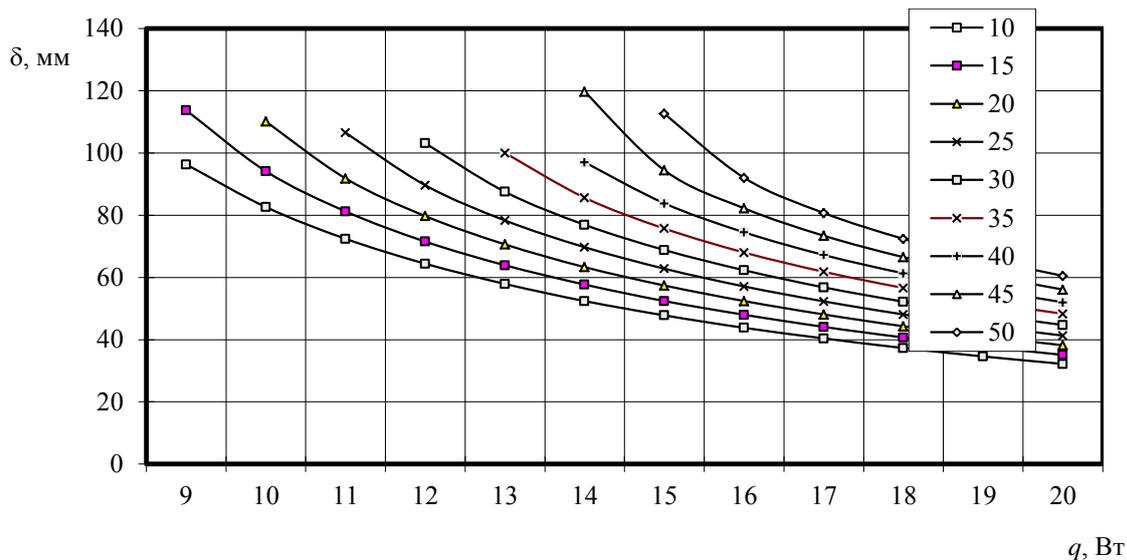


Рисунок 2 – Зависимость для определения толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций ТК по тепловой нагрузке подъемного участка дефлегматора (9...20 Вт) и значению полезного объема ТК (10... 50 дм<sup>3</sup>). Материал тепловой изоляции – ППУ.

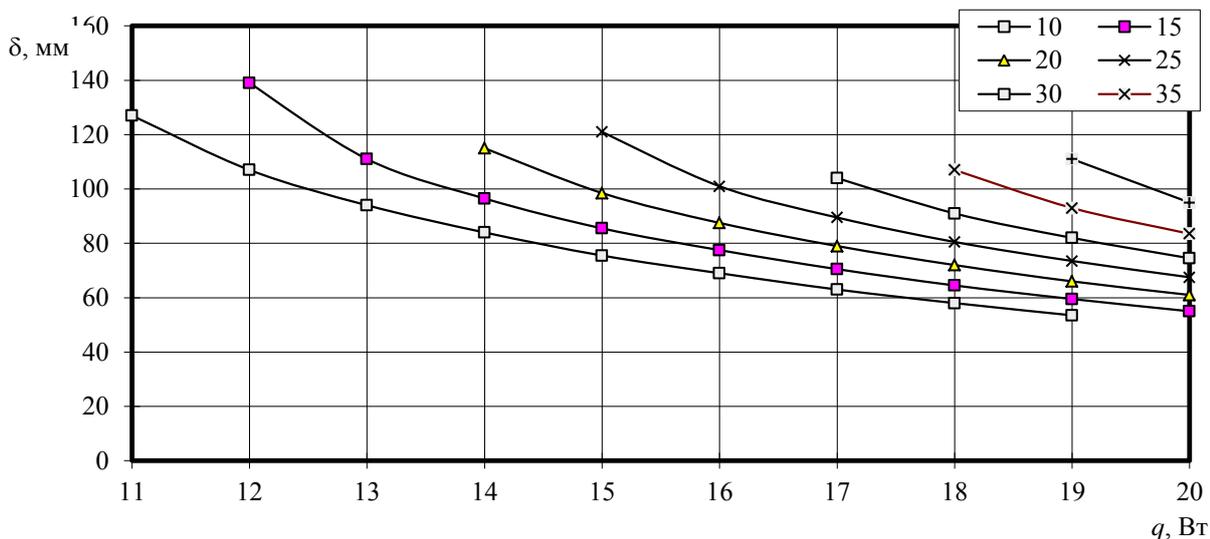


Рисунок 3 – Зависимость для определения толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций ТК по тепловой нагрузке подъемного участка дефлегматора (11...20 Вт) и значению полезного объема ТК (10... 40 дм<sup>3</sup>). Материал тепловой изоляции – стекловолокно.

В результате проведенного анализа с помощью инженерной методики тепловых режимов холодильных приборов абсорбционного типа было отмечено заметное взаимное тепловое влияние ТК

и НТО, что неблагоприятно сказывается как на температурные режимы ТК и НТО, так и на энергопотребление в целом.

Для максимального устранения такого взаимного теплового влияния была разработана конструкция бытового комбинированного прибора абсорбционного типа с отдельно расположенными камерами (рис. 4). Кроме решения температурно-энергетических проблем предложенная конструкция позволяет выполнять относительно свободную компоновку бытового комбинированного прибора в рабочем пространстве помещения (кухни).

Тепловая связь между ТК и подъемным участком дефлегматора в предложенном техническом решении осуществляется при помощи гибких термосифонов, причем термосифоны могут быть как двухфазные, так и однофазные. Обязательным условием будет установка теплоизоляционного кожуха на транспортной зоне между дефлегматором и теплопринимающими поверхностями ТК, а для однофазных термосифонов необходимо предусмотреть возвратную магистраль.

Система теплопередачи на основе гибких термосифонов проста в изготовлении и может быть установлена непосредственно в месте расположения бытового комбинированного прибора. Теплоноситель однофазного термосифона – вода.

Подъемная магистраль однофазного термосифона может быть непосредственно связана с объемом ТК, выполненной в виде жидкостной емкости.

В этом случае нагреваемая жидкость будет циркулировать между дефлегматором и ТК в режиме естественной конвекции, т.е. будет организован своеобразный циркуляционный контур.

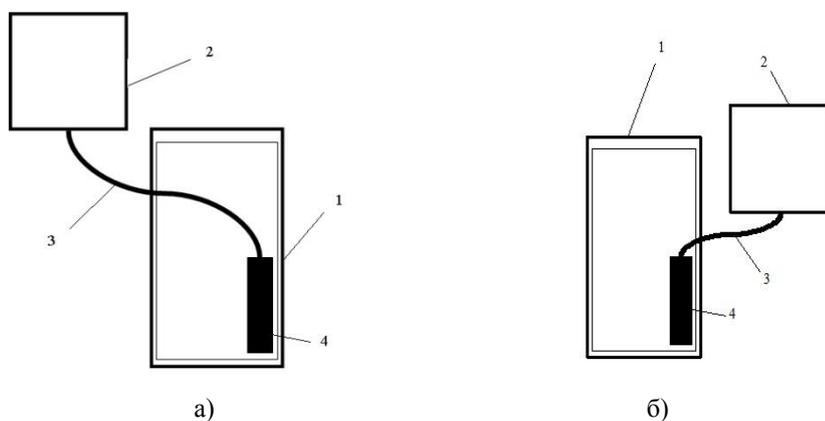


Рисунок 4 – Варианты выполнения бытового комбинированного прибора абсорбционного типа с произвольным расположением ТК: а) ТК находится на уровне или выше холодильной камеры (ХК); б) ТК находится ниже ХК 1 – корпус ХК; 2 – ТК; 3 – промежуточное гибкое теплопередающее устройство; 4 – генераторный узел АХА.

В этой схеме отсутствуют промежуточные теплопередающие устройства и термическое сопротивление между источником тепловой нагрузки и объектом воздействия (жидкостью) минимально.

Следует отметить, что внутреннее термическое сопротивление термосифонов, в том числе и однофазных незначительно, по сравнению с контактным термическим сопротивлением в зонах отвода и подвода тепла. Поэтому вывод из тепловой схемы контактных термических сопротивлений вносит определяющий вклад в интенсификацию теплопередачи.

Перспективной с точки зрения использования бросового тепла представляется и схема комбинированного бытового аппарата абсорбционного типа, в которой в качестве источника тепловой нагрузки генератора АХА используется горелочное устройство, а вытяжной канал отходящих газов, имеющих температуру 350...450 °С, связан с теплопринимающими поверхностями ТК (рис. 5).

Задняя стенка 9 внутреннего корпуса ТК 1 имеет наружное ребрение 7 в виде вертикальных ребер. Отходящие газы из генераторного узла 4 по теплоизолированному каналу 5 поступают в кожух 6, установленный на задней стенке ТК 1, а затем выходят в вентиляционную систему по каналу 8.

Как показали оценочные расчеты, тепловой поток к ТК от отходящих газов может составить от 60 до 90 Вт, что превышает возможности способа использования бросового тепла цикла АХА.

Недостаток схемы с использованием тепла отходящих газов связан с необходимостью частой очистки теплопринимающих поверхностей ТК от образующейся в процессе эксплуатации сажи.

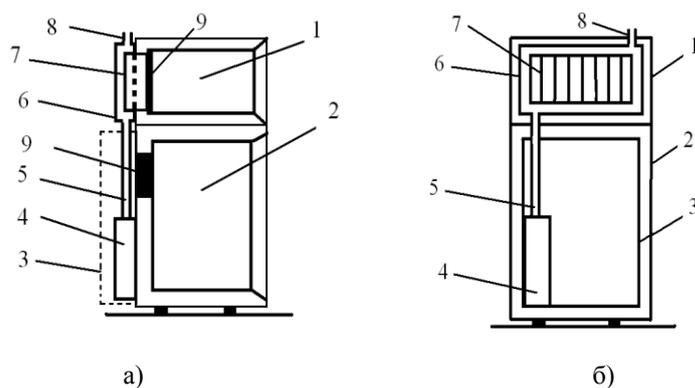


Рисунок 5 – Конструкция бытового комбинированного прибора абсорбционного типа с горелочным устройством: а) вид сбоку; б) вид сзади.

1 – ТК; 2 – ХК; 3 – АХА на задней стенке холодильного шкафа; 4 – генераторный узел АХА; 5 – вытяжной канал отходящих газов; 6 – кожух ТК; 7 – оребрение; 8 – вентиляционная система; 9 – задняя стенка ТК.

1. Перспективным направлением энергосбережения в бытовой технике может стать разработка приборов, совмещающих функции холодильного хранения и тепловой обработки пищевых продуктов, полуфабрикатов и сельскохозяйственного сырья. В таких бытовых комбинированных приборах теплота, выделяющаяся при реализации холодильного цикла, не отводится сразу в окружающую среду, а передается в специальную ТК, при этом в объеме ТК поддерживается температура выше, чем температура воздуха в помещении. Эффект энергосбережения достигается за счет расширения функциональных возможностей бытовых приборов без привлечения дополнительных энергозатрат.

2. Для реализации в быту подавляющего числа пищевых технологий достаточным является диапазон температур 50...70 °С. В современной бытовой холодильной технике такой диапазон температур могут обеспечить только АХА, при этом в качестве источника тепловой нагрузки дополнительной ТК следует использовать подъемный участок дефлегматора.

3. Представленные материалы разработки являются развитием известных подходов к математическому моделированию таких объектов в части простоты и результативности. Так, результаты инженерного расчета толщины теплоизоляции ТК приведены в виде номограмм, по которым в зависимости от тепловой нагрузки подъемного участка дефлегматора АХА и объема ТК можно найти толщину теплоизоляции, выполненной из стекловолокна или ППУ.

4. На основе анализа инженерной методики расчета были предложены энергосберегающие конструкции комбинированных бытовых приборов с широкими компоновочными возможностями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев В.Ф. Новые конструкции АБХ [Текст] / В.Ф. Чернышев, Н.Ф. Хоменко, А.С. Титлов, С.В. Вольневич // Холодильная техника. – 1991. – № 12. – С.12-13.
2. Тележенко Л.М. Розробка нового типу побутових комбінованих приладів [Текст] / Л.М. Тележенко, О.С. Тітлов, С.В. Вольневич, Ю.О. Козонова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 22-25.
3. Титлов А.С. Аппараты для комбинированной термической обработки пищевых продуктов [Текст] / А.С. Титлов // Аграрная наука. – 1997. – № 5. – С.42-43.
4. Тітлов О.С. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів [Текст] / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 113-127.
5. Титлов А.С. Разработка новых конструкций бытовых комбинированных приборов абсорбционного типа, совмещающих функции холодильного хранения и тепловой обработки [Текст] / А.С. Титлов, С.В. Вольневич, Ю.А. Козонова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2013. – Т.1. – Вип. 44. – С.231-241.
6. Васылив О.Б. Моделирование тепловых режимов нагревательных камер комбинированных бытовых аппаратов абсорбционного типа [Текст] / О.Б. Васылив, А.С. Титлов, А.А. Оргиян // Холодильная техника и технология. – 2003. – № 2. – С. 13-18.
7. Данилин В.Н. Физическая химия тепловых аккумуляторов [Текст] / В.Н. Данилин. – Краснодар: Изд-во Краснодар. политех. ин-та, 1981. – 90 с.

## EFFECTS OF WORKING FLUID PARAMETERS ON EXPANSION PROCESS OF A ROTARY VANE REFRIGERATION MACHINE

*Хмельнюк М.Г., доктор тех наук., Трандафилов В.В., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: vlad.trandafilov@gmail.com*

All over the world in the area of energy saving and problem solving aimed at reducing anthropogenic effects on the environment, refrigeration machines that are used natural working medium as refrigerants become increasingly important [1]. For this reason actual is the development of a new refrigeration technology based on high-efficiency thermodynamic cycles. In this regard Stirling refrigerating machine get topical priority.

Working fluids of Stirling refrigeration machine are eco-friendly substances (helium, argon, nitrogen, air) [2]. Helium and nitrogen are of concern with regard to their thermodynamic properties, namely those which allow to have high coefficients of heat transfer and to provide a gas flow with relatively low pressure drop.

To improve the design of the piston Stirling refrigeration machine structural optimization rotary vane gas refrigeration machine (RVGRM) is carried out.

Objects and methods of research. To study effect of changes working fluid operating parameters in process of expansion the mathematical modeling cycle RVGRM is carried out.

Results and discussion. In this paper we propose a mathematical model for calculating the basic parameters RVGRM cycle affecting the operation cycle, the machine control and operating processes occurring in it for the given criteria.

The main parameters to be examined are the temperature and pressure in the machine during the expansion process.

The temperature during expansion changes under the law:

$$T_{exp}(\alpha) = T_3 \left( \frac{V_3}{V(\alpha)} \right)^k \quad (1)$$

The pressure change during expansion can be described as:

$$p_{exp}(\alpha) = p_3 \left( \frac{V_3}{V(\alpha)} \right)^{n_2} \quad (2)$$

Functions of distributions of temperature and pressure of the working fluid, depending on the angle of rotation of the shaft of the machine and based on mathematical modeling cycle. Graphs of functions are shown in Figure 1 and 2, respectively. The pressure at the beginning of the expansion process is taken equal  $p_3 = 10, bar$  and temperature  $T_3 = 303K$ .

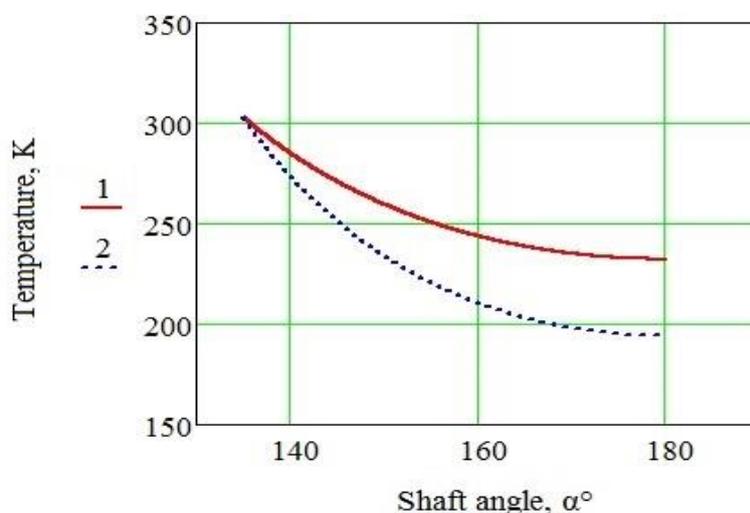


Figure 1 – The temperature changes of the working fluid in the expansion process. 1 – Nitrogen; 2 – Helium.

Fig. 1 show that the minimum temperature of the working fluid in process of expansion in the machine is achieved by using nitrogen  $T_{min}^N = 232K$ , and using a helium temperature  $T_{min}^{He} = 195K$ . This temperature difference is explained by the properties of the working fluid in a particular angle of inclination of the adiabatic.

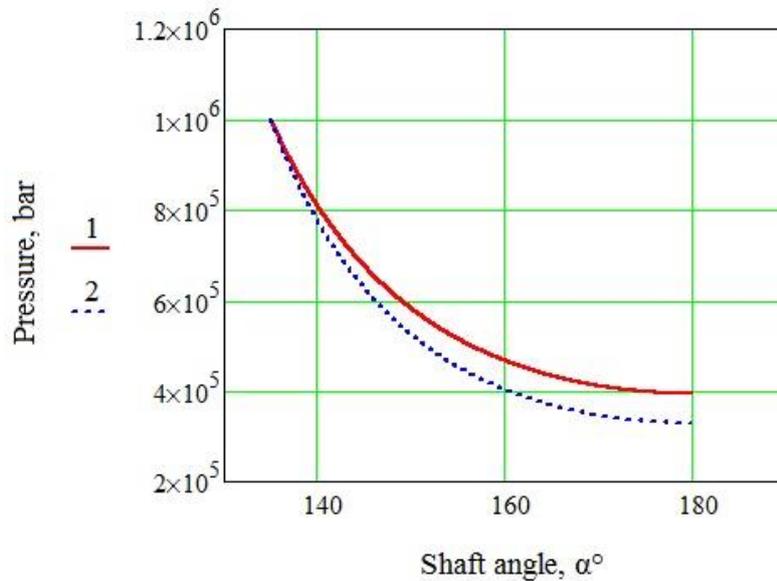


Figure 2 – The pressure changes of the working fluid in the expansion process. 1 - Nitrogen; 2 - Helium.

From Fig. 2 it is seen that the minimum pressure in the chamber reaches in process of expansion using nitrogen  $p_{min}^N = 4bar$  and using helium  $p_{min}^{He} = 3.4bar$ .

The main advantages of RVGRM are as follows:

1. energy efficiency (increased up to 30% in comparison with the piston machine);
2. compactness (decreased up to 60 % the weight and volume);
3. minimum frictional losses in the rotary guide;
4. reduced (or absent) wear of the pistons and cylinder (housing) surfaces;
5. possibilities to simplify sealing and lubrication;
6. full-balanced mechanical system without vibration of the frame;
7. optimal motion conversion mechanism and transmission law of the oscillating rotary vane machine;
8. possibility to control the rotary vane machine via the conversion mechanism.

Note that the in temperatures below  $T_{min} < -30\text{ }^\circ\text{C}$  efficiency of RVGRM are considerably higher than the vapor-compression systems. This complication is associated with the need to move to a two-stage compression in the vapor-compressor plants.

Thus, the use of RVGRM different working fluids allows us to operate in a wider range of cooling temperatures (0 to  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ ) in one machine and obtain high energy efficiency.

The research results show that the proposed model can be used for the design and optimization of rotor-vane gas refrigeration machine.

The proposed rotary-vane gas refrigerating machine is advantaged to compare with known analogous piston devices.

#### REFERENCES

1. V. V. Trandafilov. Mathematical model for the study and design of a rotary-vane gas refrigeration machine [Text] / V. V. Trandafilov , M. G. Khmelniuk, O. Y.Yakovleva // Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. Vol. 52 (3). - pp. 4-8.
2. V. V. Trandafilov. The Stirling gas refrigerating machine mechanical design improving [Text] / V. V. Trandafilov , M. G. Khmelniuk, O. Y.Yakovleva, A. V. Ostapenko // Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. Vol. 52 (1) - pp. 18 -22.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СЛИВОЧНОГО ДЕСЕРТА ДЛЯ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

*Мирашева Г.О.<sup>2</sup>, канд, тех наук, Байбалинова Г.М.<sup>3</sup>, канд, техн наук. Турсумбекова З.А.<sup>1</sup>, магистрант  
Государственный университет имени Шакарима, кафедра «Стандартизация и биотехнология», г.  
Семей, Республика Казахстан*

*E-mail: Zaika\_t\_95@mail.ru, baybalinova@mail.ru, gultmira\_mir@mail.ru*

Геродиетические продукты питания [греч. *geron* — старик и *diaita* — образ жизни] — продукты питания, предназначенные для стареющего организма и способствующие задержке процессов старения. Например, молочно-кислые продукты со специальной бактериальной культурой, мясорастительные и рыбораствительные смеси и др.

Одним из важнейших принципов геродиетологии, науки, изучающей характер питания людей старших возрастных групп, является принцип энергетически сбалансированного питания. Известно, что с возрастом основной обмен веществ изменяется, к 70-летнему возрасту он составляет 30 % от уровня обмена 20–30-летнего человека.

Общие рекомендации геродиетической направленности сводятся к ограничению белков, жиров животного происхождения, легкоусвояемых углеводов, поваренной соли, обогащению рациона витаминами, обладающими липотропными свойствами, тормозящими формирование атеросклероза (В6, Е, F, холин, инозит, фолиевая, пантотеновая кислоты), витаминами-антиоксидантами, препятствующими окислению липидов и ожирению печени (Е, С, Р-каротин), определенными минеральными веществами.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам создания молочных продуктов десертного назначения. Молочные десерты представляют собой продукты, получаемые взбиванием смесей, которые содержат молочную основу, плодово-ягодное сырье, подслащающее вещество, эмульгаторы, пенообразователи, стабилизаторы, вкусовые и ароматические вещества, пищевые красители. Перечисленные компоненты используются в различных комбинациях и соотношениях [1].

Внедрение в рационы питания пожилого населения функциональных продуктов с использованием животного и растительного сырья позволит сбалансировать рацион по белкам, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам, пищевым волокнам и другим полезным веществам, улучшить здоровье. Решают эту проблему разработанные в последнее время продукты с использованием молока и растительного сырья: на основе молочной сыворотки, зародышей пшеницы; из сквашенного обезжиренного молока с пшеничными отрубями; творога нежирного с гречневой или манной крупой; с экстрактом из проросших семян гречихи и проса, с мукой из круп (пшеничной, кукурузной, гречневой, овсяной, толокна). В КемТИПП созданы технологии продуктов, в которых сочетается молочное сырье и морская капуста, папоротник, тыква и др. В молочно-злаковых продуктах содержится полноценный белок и кальций (в молочном ингредиенте), полиненасыщенные жирные кислоты (растительный жир злака), пищевые волокна (отруби), витамины (Е, β-каротин злака), олигосахариды, минеральные вещества. С целью усиления моторно-секреторной деятельности пищеварительного тракта широко используют пищевые волокна, которые являются природными сорбентами токсических веществ и обладают антимуtagenными свойствами. Пищевые волокна предохраняют человека от воздействия радиации, служат субстратом для нормального жизнеобеспечения полезных микроорганизмов, обитающих в кишечнике. Так, разработаны технологии приготовления творожного продукта с применением пищевых волокон из хвостиков сахарной свеклы; кисломолочного продукта с кедровым шротом. Пищевые волокна в сочетании с зерном проросшей пшеницы являются добавкой в творожно-злаковом продукте [2].

Патентуется способ приготовления молочного десерта для геродиетического питания. Изобретение относится к пищевой промышленности и может быть использовано при производстве взбивных сладких блюд. Способ предусматривает смешивание молочной основы и муки. В качестве молочной основы используют творог. Для получения муки размалывают горох или фасоль, затем муку замачивают в воде на 5,5-6 час в соотношении 1:20, варят в течение 8-10 мин. Полученную бобовую основу охлаждают до 35-40°C и взбивают, добавляя сахар. После смешивания бобовой основы с творогом и ванилином, полученную смесь взбивают, расфасовывают и охлаждают. Изобретение позволяет улучшить взбитость и консистенцию десерта, снизить себестоимость готового продукта и расширить ассортимент десертов [3].

Предложен способ приготовления творожного десертного продукта для геродиетического питания, содержащего, в частях: творог -80, мед-6,8-7,2, курага – 6,4-6,6, изюм 6,4- 6,6. Растительные компоненты: курага, изюм не только обогащают изделие пищевыми волокнами, которые улучшают перистальтику кишечника, но и являются источником витаминов, особенно аскорбиновой кислоты [4].

Известен способ получения кисломолочного продукта, включающего молоко коровье, кедровый шрот, в качестве закваски используют бифидобактерии. Способ получения кисломолочного продукта предусматривает очистку молока, нормализацию, гомогенизацию, пастеризацию, охлаждение до температуры заквашивания, внесение кедрового шрота в количестве 2-3%, предварительно растворенного в пастеризованном молоке, внесение закваски бифидобактерии, сквашивание проводят в течение 4-5 часов до кислотности 55-60°Т, охлаждение, розлив [5].

Целью научно-исследовательской работы является разработка технологии десерта для геродиетического питания. Так как основная роль в технологии отводится закваскам, поэтому в настоящее время для геродиетического питания для разработки десертов используется штаммы *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Streptococcus thermophilus* микроорганизмов. Несмотря на то, что при использовании одновидовых заквасок проще управлять процессами производства, в современной биотехнологии все чаще используются не одновидовые культуры микроорганизмов, а их симбиозы. Такие сочетания микроорганизмов проявляют свойства, отличные от свойств однородных культур микроорганизмов, что открывает больше перспективы для развития всех отраслей, использующих биотехнологические процессы.

Основными для геродиетического питания являются растительные компоненты, которые позволят сбалансировать рацион по белкам, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам, пищевым волокнам и другим полезным веществам, улучшить здоровье.

Волокна пищевые поступают в человеческий организм в виде непереваренных углеводов с растительной пищей. Это полимеры полисахаридов и их производных. Данные вещества делятся на две большие группы: мягкие растворимые; грубые нерастворимые. К мягким волокнам пищевым относятся декстраны, агароза, камедь, пектины. Грубые волокна – это клетчатка, которая является глюкозным полимером. Из-за некоторых различий в цепочке молекул она не расщепляется в органах ЖКТ.

Следует отметить, что грубые волокна не являются источниками энергии. Под действием микроорганизмов они расщепляются частично. При этом энергия, которая выделяется во время данного процесса, полностью используется на нужды бактерий. Моносахариды, что образуются при разложении волокон пищевых, превращаются в кислоты жирные летучие: масляную, пропионовую и уксусную. Данные вещества всасываются частично через стенки кишечника, и только 1% их поступает в организм человека. Лигнин, которого достаточно много содержат продукты с грубыми пищевыми волокнами, и вовсе не усваивается. Поэтому очень часто их характеризуют как «балластные вещества» [6].

В ГУ имени Шакарима на кафедре «Стандартизации и биотехнологии» ведутся научно-исследовательские работы по разработке технологии для геродиетического питания.

Разработана технология сливочного десерта для геродиетического питания. Композицию для получения молочного десерта готовят следующим образом: молоко, предназначенное для выработки продукта, очищают от механических примесей с помощью фильтров различных конструкций или сепараторов-молокоочистителей. Очищенное молоко подогревают до температуры  $43\pm 2^{\circ}\text{C}$  и сепарируют. В сепараторе-сливоотделителе, снабженном нормализующим устройством, происходит процесс разделения молока на сливки и обезжиренное молоко. Затем полученные сливки и обезжиренное молоко смешиваются в потоке в требуемом соотношении для получения сливок м.д.ж. 10%, а часть обезжиренного молока отводится как избыточный продукт, охлаждается до температуры  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  и резервируется. В полученные сливки с м.д.ж. 10% в качестве пищевых волокон вносят гемицеллюлозу в количестве 3% от массы готового продукта, предварительно растворенную в питьевой воде. Смесь подогревают до температуры  $(62\pm 2)^{\circ}\text{C}$ , перемешивают в течение 10-15 минут.

Полученную нормализованную сливочную смесь подогревают до температуры  $65-70^{\circ}\text{C}$  и гомогенизируют при давлении  $18\pm 2$  МПа в течение 3-5 секунд. Нормализованная гомогенизированная сливочная смесь пастеризуется в пастеризационно-охладительной установке при температуре  $90\pm 3^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 50-60 секунд. Пастеризованную сливочную смесь охлаждают до температуры заквашивания  $38-40^{\circ}\text{C}$ .

В охлажденную сливочную смесь вносят закваску, содержащую бифидобактерии, молочнокислые стрептококки и молочнокислые палочки, в количестве 5% от массы заквашиваемой сливочной смеси. Смесь с закваской перемешивают в течение 10-15 мин и оставляют в покое на 3,5-4,0 ч до нарастания титруемой кислотности в пределах  $60-65^{\circ}\text{T}$ .

После сквашивания в сливочную смесь при температуре 38-40°C вносят предварительно приготовленный растительный наполнитель абрикосовое пюре, мед, сваренные овсяные хлопья.

Овсяные хлопья просеивают и пропускают через магнитный уловитель, варят в воде и пропускают через волчок. Далее продукт при температуре 38-40°C фасуется в полистироловые стаканчики массой 125 г, которые укладывают в картонные коробки. Упакованный продукт направляют в холодильную камеру для доохлаждения до температуры  $6\pm 2^\circ\text{C}$  и термостатирования 2,0-3,0 ч, при этом идет процесс формирования структуры продукта.

В дальнейшем планируется разработать Нормативно-техническую документацию на сливочный десерт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синявский Ю.А., Цой И.Г. Лечебно-профилактические продукты питания. - Алматы: Баспа, 2000. –С. 98-102.
2. Черняев С.И., Зевакин Е.И., Марков М.В. Некоторые аспекты питания, экологии и здоровья //Пищевая промышленность, 2000. - С. 27-29.
3. Патент. № 2313948. Способ производства десерта. Оpubл. 29.12.81
4. Заявка № 62-58693. Способ приготовления десертного пищевого продукта. Оpubл. 87.12.04.
5. А.С № 2171586. Великобритания. Кисломолочный продукт. Оpubл. 09.03.86
6. Чумакова И. В., Фатеева Н. В.. Продукты геродиетического питания // Молочная промышленность. – 2009. – N 7. – С. 26.

УДК 621.565

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С КОРОТКИМИ ДИФфуЗОРАМИ**

*Юша В.Л.<sup>1</sup>, доктор тех наук., Филькин Н.Ю.<sup>1</sup>, кандидат тех наук  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Омский государственный технический университет», Российская Федерация  
E-mail: finick@inbox.ru, yusha@omgtu.ru*

Во многих системах жизнеобеспечения, предназначенных для транспортных, мобильных и других объектов, компактность является одним из основных требований, предъявляемых к их аппаратному оборудованию. Например, к фильтрам, теплообменникам калориферных и чиллерных систем, конденсаторам, в конструкции которых входят короткие диффузоры. Очевидно, что во многих случаях уменьшение расстояния между основной проточной частью аппарата и выходным сечением воздуховода или вентилятором ухудшает условия обтекания потоком воздуха рабочих элементов проточной части. Одним из направлений решения этой проблемы является применение в проточной части диффузоров дополнительных направляющих [1-3].

Исследования, объектом которых являлись фильтры с короткими диффузорами, доказали возможность повышения их эффективности за счёт применения в коротких диффузорах дополнительных внутренних направляющих [4, 5].

Рассмотрим возможность и целесообразность применения коротких диффузоров с дополнительными направляющими в воздушных конденсаторах холодильных машин систем жизнеобеспечения и другой низкотемпературной техники. Анализ существующих конструкций конденсаторов воздушного охлаждения холодильных машин показал, что в них, как правило, используется (а часто и вовсе отсутствует) очень короткий диффузор с отверстием для подвода охлаждающего воздуха с помощью вентилятора (рисунок 1) [6, 7]. В большинстве случаев соотношение площади отверстия для подвода воздуха к площади поверхности теплообменной секции, перпендикулярной набегающему потоку, составляет 0,5-0,7, что не обеспечивает равномерное омывание теплообменной поверхности потоком охлаждающего воздуха и, как следствие, снижается эффективность конденсатора в целом [8]. Улучшения условий обдува по поперечному сечению трубной решётки конденсатора можно добиться увеличением относительной длины диффузора [9], однако в рассматриваемых случаях такое решение чаще всего неприменимо по критериям габаритных размеров.

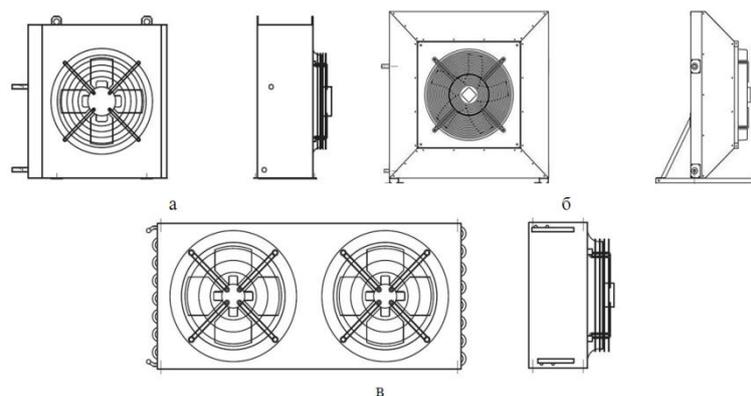


Рисунок 1 – Конденсаторы воздушного охлаждения: а, в – с плоской перегородкой; б – с коротким диффузором

Выполненный ранее упрощённый расчётно-теоретический анализ показал, что применение в конструкции воздушного теплообменного аппарата короткого диффузора с различными вариантами направляющих позволяет существенно повысить его эффективность, особенно в случае применения неравномерно установленных дополнительных направляющих [10]. Эти результаты явились обоснованием необходимости проведения экспериментального исследования воздушного конденсатора с коротким диффузором и дополнительными направляющими.

Экспериментальное исследование эффективности применения коротких диффузоров в конструкции конденсатора воздушного охлаждения осуществлялось на стенде, сконструированном на базе конденсатора воздушного охлаждения холодильного агрегата L'unite Hermetique TAJ 4519 THR с фреоном R134a в качестве рабочего тела. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 2.

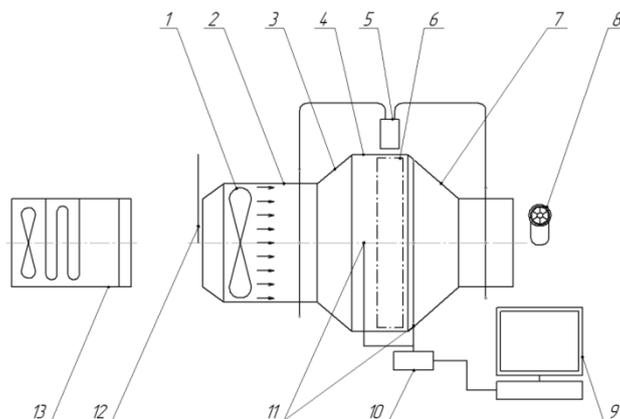


Рисунок 2 – Экспериментальный стенд для исследования эффективности применения коротких диффузоров в конденсаторе воздушного охлаждения: 1 – вентилятор; 2 – входной участок; 3 – короткий диффузор; 4 – корпус конденсатора; 5 – цифровой дифференциальный манометр; 6 – теплообменная секция; 7 – конфузорная часть; 8 – анемометр; 9 – ЭВМ; 10 – АЦП; 11 – датчики температуры; 12 – заслонка; 13 – тепловая пушка

Экспериментальный стенд работает следующим образом: вентилятор 1 всасывает воздух из атмосферы во входной участок 2, откуда он поступает в короткий диффузор 3, а затем в корпус конденсатора 4, где обдувает теплообменную секцию 6. После выхода из теплообменной секции воздух попадает в конфузорную часть 7, откуда выбрасывается в атмосферу. Расход воздуха через конденсатор регулируется с помощью заслонки 12, которая перекрывает входной участок. Расход определяется расчетным методом на основании показаний анемометра 8, который определяет местную скорость потока на выходе из конфузорной части. Увеличение температуры воздуха на входе в конденсатор осуществляется с помощью тепловой пушки 13. Измерение температуры на входе и поля температур на выходе конденсатора производится термопреобразователями сопротивления 11, одним и пятью соответственно. Сигналы от преобразователей поступают и обрабатываются в АЦП 10, после чего показания температур становятся доступны на экране ЭВМ 9 в виде числовых значений и температурных кривых. Измерение перепада давлений на конденсаторе

выполняется цифровым дифференциальным манометром 5, который подключен к усредняющим давление устройствам перед диффузором и после конфузора.

В ходе экспериментальных исследований рассматривались два варианта конструкции конденсатора: базовая, с плоской перегородкой, и усовершенствованная, с коротким диффузором и неравномерными направляющими (рис. 3).

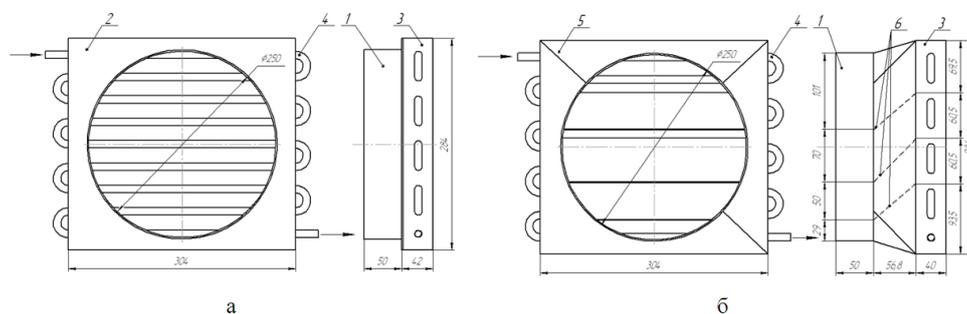


Рисунок 3 – Схема конденсатора воздушного охлаждения: а – базовая, с плоской перегородкой; б – усовершенствованная, с коротким диффузором и неравномерными направляющими; 1 – входной участок; 2 – плоская перегородка; 3 – корпус конденсатора; 4 – теплообменная секция; 5 – короткий диффузор; 6 – направляющие

Методика эксперимента предусматривала исследование эффективности конденсатора в диапазоне холодопроизводительности 2...5,2 кВт, температуры охлаждающего воздуха 20...60 °С при температуре кипения -5 °С. Давление конденсации определялось температурой охлаждающего воздуха на конденсаторе и изменялось в диапазоне от 910 до 1841 кПа. Измерения производились на установившемся режиме и предполагали в конечном итоге нахождение следующих зависимостей для каждого варианта конструкции диффузора:

1. Зависимость мощности конденсатора  $N_k$  от температуры охлаждающего воздуха  $T$ .
2. Зависимость мощности конденсатора  $N_k$  от объемного расхода охлаждающего воздуха  $Q_v$ .
3. Зависимость потерь давления в конденсаторе  $\Delta P$  от объемного расхода охлаждающего воздуха  $Q_v$ .

По результатам экспериментальных исследований была построена графическая зависимость мощности конденсатора от температуры охлаждающего воздуха при различных конструкциях диффузора (рис. 4).

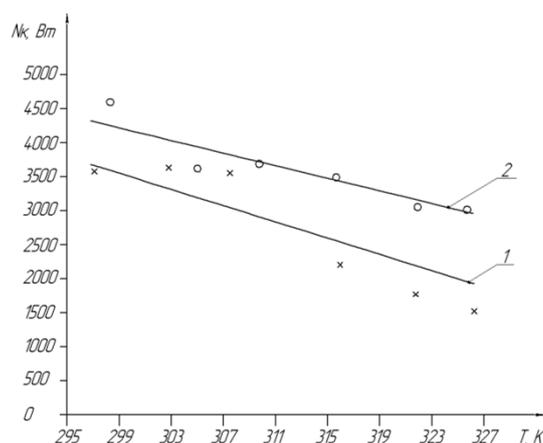


Рисунок 4 – Зависимость мощности конденсатора от температуры охлаждающего воздуха: 1 – базовый вариант с плоской перегородкой; 2 – вариант с коротким диффузором и неравномерно установленными направляющими

Анализ зависимостей показал преимущество установки неравномерных направляющих в конструкции короткого диффузора по сравнению с базовым вариантом. Данное решение значительно увеличило мощность конденсатора (в среднем на 20-25%), причем с ростом температуры охлаждающего воздуха этот эффект становится более значительным, что позволяет поддерживать нормальную работу конденсатора даже при неблагоприятных внешних условиях. Установка

короткого диффузора с неравномерными направляющими приводит к росту гидравлического сопротивления конденсатора в целом, однако в абсолютном значении этот рост является незначительным (от 5 до 10 Па).

Отсюда следует вывод, что для улучшения работы конденсатора воздушного охлаждения, особенно в районах с жарким климатом, рекомендуется установка короткого диффузора с неравномерными направляющими.

Таким образом, в ходе испытаний установлено, что совершенствование базовой конструкции конденсатора воздушного охлаждения путем установки дополнительных неравномерно распределённых направляющих в проточной части короткого диффузора позволит увеличить его эффективность на 20-25 %.

Прикладные научные исследования и экспериментальные разработки проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57715X0203.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Идельчик, И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов) / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.
3. Пат. 2384760 Российская Федерация, МКП F 15 D 1/00. Диффузор / И. Ф. Пивин; заявитель и патентообладатель И. Ф. Пивин. – № 2008149803/06; заявл. 18.12.08 ; опубл. 20.03.10, Бюл. № 8. – 5 с.
4. Yusha, V. L., Fil'kin, N.Yu. Numerical Analysis of Gas Dynamic Efficiency of Short Diffusers with Internal Guiding Blades / V. L. Yusha, N.Yu. Fil'kin // Chemical and Petroleum Engineering. – November 2016. - Volume 52. – Issue 7. – pp. 484 – 487.
5. Филькин, Н. Ю. Газодинамические характеристики коротких диффузоров для фильтров и теплообменных аппаратов стационарных и передвижных компрессорных установок / Н. Ю. Филькин // Компрессорная техника и пневматика. – 2016. – № 2. – С. 42–44.
6. Якобсон, В. Б. Малые холодильные машины / В. Б. Якобсон – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 367 с.
7. Зеликовский, И. Х. Малые холодильные машины и установки / И. Х. Зеликовский, Л. Г. Каплан. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 416 с.
8. Гопин, С. Р. Воздушные конденсаторы малых холодильных машин / С. Р. Гопин, В. М. Шавра. – Москва: ВО Агропрмиздат, 1987. – 151 с.
9. Филькин, Н. Ю. Анализ влияния конфигурации диффузора на эффективность трубчато-ребристого теплообменника / Н. Ю. Филькин, А. А. Шипунова, А. Г. Россолова // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 2. – С. 144-146.
10. Yusha, V. L. Theoretical analysis of short diffusers implementation efficiency in compact heat exchangers / V. L. Yusha, N. Y. Filkin, A. A. Shipunova // 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics 2014), 11–13 November 2014. – Omsk, 2014. – PP. 102–106.

УДК 621.56:620.3

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАНОХЛАДОНОСИТЕЛЕЙ И НАНОХЛАДАГЕНТОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

*Железный В.П., д.т.н., Хлиева О.Я., к.т.н., Гордейчук Т.В., аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
E-mail: khliyev@ukr.net, tetyana\_gordeychuk@mail.ru, vzhelezny@mail.ru*

Последние годы все активнее исследуются перспективы применения наноплюидов для повышения энергетической эффективности холодильных систем [1,2]. Применительно к холодильному применению наибольший интерес представляют рабочие тела пароконденсационных машин с добавками наночастиц и нанохладоносители. В качестве добавок в хладоносители и в рабочие тела холодильного оборудования исследователи выбирают преимущественно наночастицы оксидов металлов, другие типы наночастицы используются реже [1–5]. В сравнении с традиционными рабочими телами и хладоносителями, наноплюиды характеризуются улучшенными теплофизическими свойствами (прежде всего теплопроводностью) и обеспечивают более высокие

значения коэффициентов теплоотдачи как при вынужденной конвекции (нанохладоносители), так и при кипении (нанохладогенты) [1,2,6–8]. Кроме того, добавки наночастиц в рабочие тела пароконденсационных холодильных машин способствуют повышению их энергетической эффективности [1, 9, 10].

Разработка технологии приготовления и оценка устойчивости нанохладоносителей или рабочих тел с добавками наночастиц должны предшествовать любым исследованиям перспектив применения нанофлюидов в реальных холодильных системах. Причем, по мнению авторов, устойчивость (неизменность дисперсного состава) нанофлюида необходимо оценивать не только в статических условиях хранения нанофлюидов, но и в процессе проведения экспериментов по измерению теплофизических свойств и исследованию процессов теплообмена.

Целью работы была оценка влияния различных технологических факторов процесса приготовления перспективных для холодильных систем нанохладоносителей на основе пропиленгликоля и рабочих тел на основе хладагента R141b с добавками наночастиц оксидов металлов на средний размер наночастиц в полученных нанофлюидах.

#### 1. Обзор существующих технологий приготовления устойчивых нанофлюидов.

Обзорных работ, посвященных рассмотрению технологии приготовления нанофлюидов достаточно [3–5, 11–13]. Однако, четких рекомендаций о конкретных технологиях в этих источниках не приводится. Часто исследователи, изучающие перспективы применения нанофлюидов в качестве хладоносителей и рабочих тел в холодильном оборудовании не уделяют должного внимания технологии их приготовления. В результате, даже одни и те же исследователи не всегда получают воспроизводимые результаты как по теплофизическим свойствам нанофлюидов, так и по показателям эффективности при их использовании в оборудовании.

В настоящее время выделяют две основные технологии приготовления нанофлюидов: одноступенчатый и двухступенчатый методы.

Одноступенчатая технология заключается в формировании наночастиц непосредственно в жидкости. При этом возможен химический синтез наночастиц в жидкости либо формирование наночастиц путем испарения макроскопических количеств вещества с последующей конденсацией в базовой жидкости. Такие нанофлюиды обычно отличаются повышенной агрегативной устойчивостью. К недостаткам метода относится сложность его реализации в промышленных масштабах и невозможность использования для легкокипящих базовых жидкостей [5, 14].

Двухступенчатая технология основана на производстве сухих наночастиц, которые впоследствии диспергируются в соответствующей базовой жидкости. Метод нашел широкое применение для приготовления нанофлюидов с наночастицами оксидов металлов благодаря своей простоте и отработанным технологиям получения сухих наночастиц в промышленных масштабах. Недостатком этого метода является сложность качественного диспергирования наночастиц в жидкости. При этом интенсификация теплоотдачи за счет присутствия наночастиц будет ниже, чем для нанофлюида, приготовленного одноступенчатым методом (при равных долях наночастиц в жидкости) [5, 14].

Для диспергирования наночастиц в базовой жидкости чаще всего используют ультразвуковую обработку. Ее преимущества по сравнению с механическим измельчением с использованием мелющих элементов связаны с повышенной чистотой получаемых и достаточно высокой степенью однородности нанофлюидов. К недостаткам относятся нагрев жидкости в процессе диспергирования; высокие энергозатраты; необходимость контроля дисперсности наночастиц в жидкости в процессе диспергирования.

Альтернативой ультразвуковому диспергированию является механическое измельчение, осуществляемое в шаровых (бисерных), вибрационных, планетарных мельницах. Недостатком механического диспергирования является длительность процесса и возможное загрязнение нанофлюидов примесями от мелющих элементов.

Важным фактором при приготовлении нанофлюидов является длительность процесса диспергирования. В периодических научных изданиях до сих пор отсутствуют публикации, в которых давались бы более-менее четкие рекомендации по времени процесса диспергирования наночастиц в базовой жидкости. Однако в ряде работ говорится о необходимости контролирования в процессе приготовления нанофлюида размера наночастиц [6,7], дзета-потенциала [8], теплопроводности [15,16] и вязкости [15]. Известно, что размер наночастиц в жидкости определяет такие свойства нанофлюидов как теплопроводность и вязкость. Именно эти свойства нанофлюидов, определяют перспективность их применения в качестве хладоносителей и рабочих тел.

#### 2 Методика проведения экспериментальных исследований

## 2.1 Объекты исследования

В качестве объектов исследования рассматривались следующие нанофлюиды:

– пропиленгликоль/вода/регулирующее вязкость вещество/ наночастицы  $Al_2O_3$  (48,28 / 46,22 / 4,98 / 0,52 % масс.);

– триэтиленгликоль/ наночастицы  $Al_2O_3$  (99,00 / 1,00 % масс.);

– пропиленгликоль/ наночастицы  $Al_2O_3$  (99,00 / 1,00 % масс.);

– хладагент R141b/наночастицы  $TiO_2$  (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) (99,912 / 0,088 % масс.)

с добавками ПАВ в количествах, приведенных в таблица 1.

– хладагент R141b/наночастицы  $TiO_2$  (Sigma Aldrich) (99,90 / 0,10 % масс.) с добавками ПАВ в количествах, приведенных в таблица 1.

Таблица 1 – Концентрации ПАВ в образцах нанофлюида R141b/наночастицы  $TiO_2$

№ образца	ПАВ, % масс.	№ образца	ПАВ, % масс.	№ образца	ПАВ, % масс.	№ образца	ПАВ, % масс.
наночастицы $TiO_2$ (Wenzhou Jingcheng Chemical Co)							
0	Отсутствует	5	Span, 0,016	10	SDBS, 0,015	14	SDS, 0,014
1	CTAB, 0,016	6	Span, 0,038	11	SDBS, 0,045	15	SDS, 0,034
2	CTAB, 0,042	7	Span, 0,058	12	SDBS, 0,092	16	SDS, 0,063
3	CTAB, 0,080	8	Span, 0,082	13	SDBS, 0,108	17	SDS, 0,083
4	CTAB, 0,086	9	Span, 0,118				
наночастицы $TiO_2$ (Sigma Aldrich)							
0	Отсутствует	2	CTAB, 0,108	4	Span, 0,062		
1	CTAB, 0,052	3	Span, 0,035	5	Span, 0,103		

Выбор хладагента R141b в качестве базовой жидкости объясняется, во-первых, тем, что он находится в жидком состоянии при температуре окружающей среды и атмосферном давлении, поэтому его удобно использовать при приготовлении нанофлюида; во-вторых, он относится к группе галоидопроизводных углеводородов (R134a, R410A и др.), широко применяемых в холодильных системах. Поэтому эффекты, полученные при исследовании модельной системы R141b/наночастицы могут быть распространены и на другие хладагенты.

Характеристики наночастиц, использованных в исследованиях, приведены в таблице 2, физические и химические свойства используемых для приготовления нанофлюидов ПАВ (все ПАВ производства Sigma-Aldrich) приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Характеристики наночастиц, использованных в исследованиях

Вид наночастиц	$TiO_2$ (анатаз)	$TiO_2$ (анатаз)	$Al_2O_3$ ( $\alpha$ -модиф.)
CAS №	CAS№ 1317-70-0	-	-
Размер наночастиц в порошке (по заявлениям производителя), нм	менее 25 нм	18 нм	10±5 нм
Производитель	Sigma Aldrich	Wenzhou Jingcheng Chemical Co	

Таблица 3 – Физические и химические свойства ПАВ

Краткое обозначение, принятое в статье	SDBS	SDS	CTAB	Span 80
Название, заявленное производителем	Sodium dodecylbenzenesulfonate	Sodium dodecyl sulfate	Cetyl trimethylammonium bromide	Sorbitane monooleate
Химическая формула	$C_{18}H_{29}NaO_3S$	$C_{12}H_{25}NaO_4S$	$C_{19}H_{42}NBr$	$C_{24}H_{44}O_6$
CAS №	CAS№ 25155-30-0	CAS№ 151-21-3	CAS№ 57-09-0	CAS№ 1338-43-8
Молярная масса, кг/кмоль	348,48	288,38	364,5	428,6
Природа ПАВ	Анионное	Анионное	Катионное	Неионогенное

## 2.2 Используемое оборудование

Взвешивание необходимых количеств компонентов объектов исследования проводилось на электронных аналитических весах с неопределенностью измерения массы  $\pm 0,0005$  мг.

Для всех рассматриваемых нанофлюидов механическое диспергирование наночастиц осуществлялось в бисерной мельнице, заполненной шариками из  $ZrO_2$  диаметром 2 мм непосредственно в базовой жидкости.

Ультразвуковое диспергирование проводилось с использованием ультразвукового погружного генератора УЗГ 13-0.1/22 (частота 22 кГц, мощность 0,1 кВт) (для нанофлюидов на основе труднолетучих базовых жидкостей) или с использованием ультразвуковой ванны Codison CD 4800 (частота 42 кГц, мощность 0,07 кВт) (для нанофлюидов на основе легколетучих базовых жидкостей).

### 2.3 Методика определения размера наночастиц в нанофлюиде

Авторами исследований в качестве параметра для контроля качества подготавливаемых нанофлюидов был принят средний размер наночастиц в нанофлюиде.

Следует отметить, что «истинный» размер наночастиц можно определить лишь методом электронной микроскопии, который неприемлем для исследования наночастиц в жидкостях. В настоящее время для оценки размера наночастиц в жидкости наиболее распространение на практике получил метод динамического рассеяния света (фотонной корреляционной спектроскопии). Но определенные перспективы имеются у более простого с позиции аппаратного оформления метода, основанного на явлении статического рассеяния света на неоднородностях в жидкости - метода спектротурбидиметрии [17 – 19].

Необходимым условием использования метода спектротурбидиметрии для оценки размера наночастиц является отсутствие поглощения света наночастицами, а также отсутствие вторичного светорассеяния (что соблюдается при малых концентрациях дисперсной фазы). Для многих перспективных для применения в холодильных системах нанофлюидов (на основе таких жидкостей как фторуглеродных хладагенты, компрессорные масла, вода, пропиленгликоль и наночастиц оксидов металлов, таких как  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ) требуемые условия соблюдаются.

Для определения размеров частиц сферической формы, если их размер (диаметр) составляет от 1/10 до 1/3 длины световой волны и показатели преломления частиц и среды не сильно различаются, можно воспользоваться эмпирическим уравнением Геллера [19]:

$$D = k \cdot \lambda^n \quad (1)$$

где  $k$  - константа, не зависящая от длины волны;  $D$  – оптическая плотность образца.

Практическая реализация метода спектротурбидиметрии при исследовании размера наночастиц в нанофлюидах заключалась в измерении спектральной зависимости коэффициента пропускания падающего света  $T$  образцами нанофлюидов относительно базовой жидкости. Измерения проводились на спектрофотометре Shimadzu UV-120-02 в плоскопараллельных оптических ячейках при нескольких значениях длин волн  $\lambda$  видимой части спектра (интервал длин волн выбирался в зависимости от мутности образца таким образом, чтобы постараться исключить многократное рассеяние света на наночастицах). Иногда для исследования размера наночастиц в образце требовалось предварительно разбавление нанофлюида для снижения его мутности.

Пересчет величины коэффициента пропускания -  $T$  (выраженной в %) в оптическую плотность -  $D$  (меру ослабления света прозрачными объектами) производился по формуле:

$$D = \lg(100/T) \quad (2)$$

Построение зависимости  $\lg D = f(\lg \lambda)$  позволяло определить показатель степени в уравнении Геллера (1) -  $n$  как тангенс угла наклона прямолинейного участка  $\lg D = f(\lg \lambda)$ . По численному значению величины  $n$  по методикам [17, 19] оценивался средний радиус наночастиц в нанофлюидах.

### 3 Результаты экспериментального исследования

#### 3.1 Влияние технологических параметров приготовления нанохладоносителей на размер наночастиц в полученных нанофлюидах

На рисунках 1 – 3 приведено изменение среднего размера наночастиц, определенного методом спектротурбидиметрии в процессе приготовления указанных выше нанофлюидов с использованием различных технологий: ультразвукового диспергирования, механического диспергирования, комбинации ультразвукового и механического диспергирования. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) при приготовлении данных нанофлюидов не использовались.

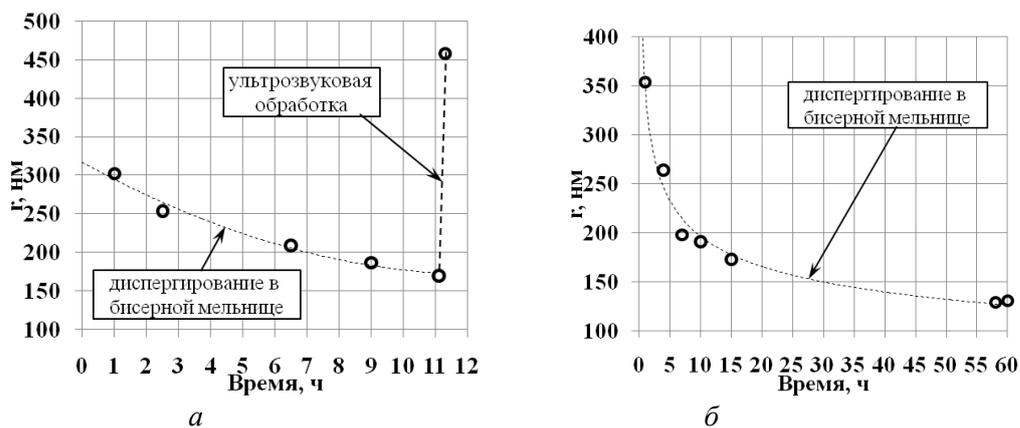


Рисунок 1 - Изменение размера наночастиц в процесс приготовления нанофлюида триэтиленгликоль/ наночастицы  $Al_2O_3$  (99,0 / 1,00 % масс.)

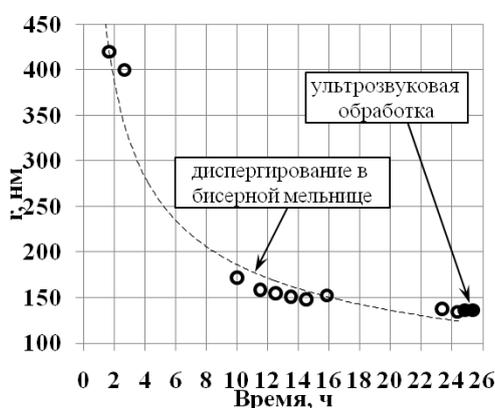


Рисунок 2 - Изменение размера наночастиц в процессе приготовления нанофлюида пропиленгликоль/ наночастицы  $Al_2O_3$  (99,0 / 1,00 % масс.)

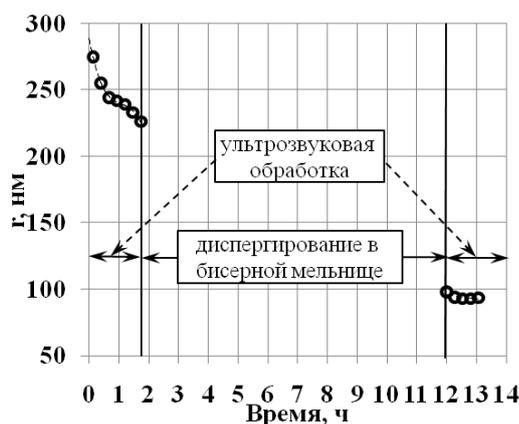


Рисунок 3 - Изменение размера наночастиц в процессе приготовления нанофлюида пропиленгликоль / вода / регулирующее вязкость вещество/ наночастицы  $Al_2O_3$  (48,28 / 46,22 / 4,98 / 0,52 % масс.)

### 3.2 Влияние добавок ПАВ и их концентрации в нанохладагенте на размер наночастиц в полученных нанофлюидах

Проведенные исследования показывают, что далеко не всегда получается обеспечить агрегативную устойчивость нанофлюидов без применения ПАВ. Предварительные исследования технологии создания рабочих тел для холодильных систем с добавками наночастиц показали, что нанофлюиды состава хлорфторуглероды (углеводороды) /наночастицы оксидов металлов как в присутствии компрессорных масел, так и без них не являются агрегативно устойчивыми системами.

На рисунке 4 приведены фотографии образцов нанофлюида R141b/наночастицы TiO<sub>2</sub> (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) (99,917 / 0,083 масс. %) и нанофлюида R141b/наночастицы TiO<sub>2</sub> (Sigma Aldrich) (99,90 / 0,10 масс. %), приготовленных в результате последовательного ультразвукового (30 минут), механического (12 часов) и ультразвукового (30 минут) диспергирования без добавок ПАВ.

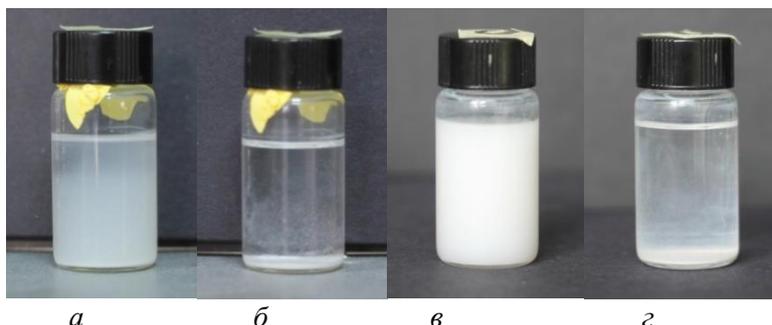


Рисунок 4 – Образцы нанофлюидов R141b/наночастицы TiO<sub>2</sub>: *а* и *б* - наночастицы Sigma Aldrich, фотографии сделаны через 1 час и через 18 часов после приготовления, соответственно; *в* и *г* - наночастицы Wenzhou Jingcheng Chemical Co, фотографии сделаны сразу и через 20 часов после приготовления, соответственно.

Для создания устойчивой системы на основе галоидозамещенных углеводородных хладагентов были выполнены исследования по подбору типа ПАВ и его концентрации для хладагента R141b и наночастиц TiO<sub>2</sub>.

При приготовлении всех образцов нанофлюидов, рассматриваемых в данном разделе, наночастицы в виде порошка смешивались с хладагентом и полученная смесь подвергалась последовательно ультразвуковому (30 минут), механическому (12 часов) и в конце снова ультразвуковому (30 минут) диспергированию. Необходимое количество ПАВ добавлялось перед последним этапом приготовления (ультразвуковой обработкой).

Фотографии всех образцов нанофлюида с наночастицами TiO<sub>2</sub> (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) 0,088 масс. %. сразу после приготовления и через 20 часов при хранении в статических условиях приведены на рисунке 5.

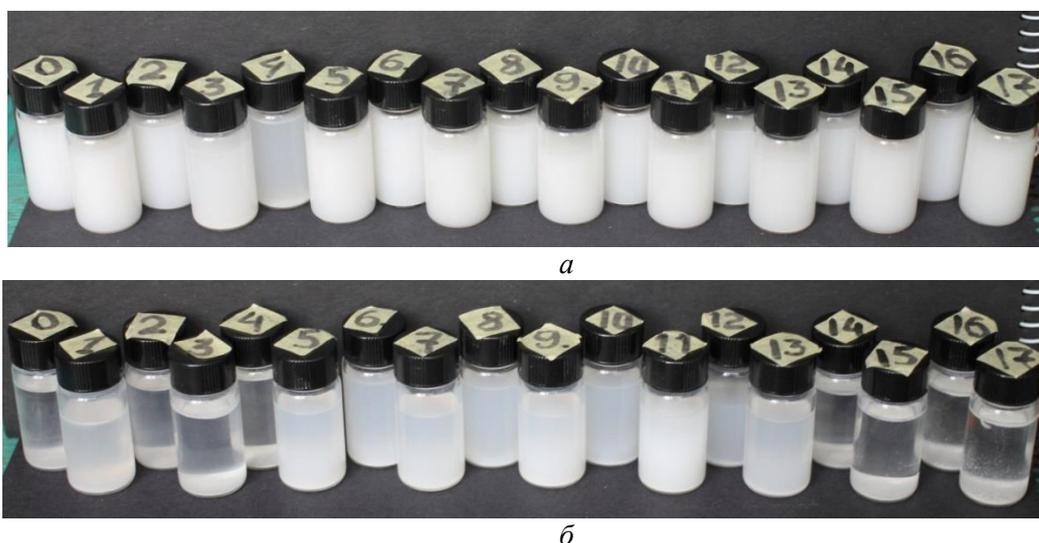


Рисунок 5 – Фотографии нанофлюида R141b/наночастицы TiO<sub>2</sub> (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) (0,088 / 99,912 % масс.) (номер на крышке соответствует номеру образца в таблице 1): *а* – сразу после приготовления, *б* – через 20 часов после приготовления.

Для оценки влияния добавок ПАВ на степень дисперсности полученных нанофлюидов для устойчивых образцов был измерен средний размер наночастиц сразу после приготовления и через 20 часов. Причем образцы, для которых наблюдалось оседание наночастиц в ячейках (все образцы с ПАВ СТАВ и SDS) были отбракованы и не использовались для дальнейших исследований.

Для оценки возможности повышения степени дисперсности нанофлюидов на основе R141b и наночастиц TiO<sub>2</sub> (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) устойчивые образцы (с добавками ПАВ Span 80 и

SDBS) были подвергнуты дополнительному ультразвуковому диспергированию. На первом этапе ультразвуковая обработка проводилась в течение 2,5 часов, на втором - в течение 2,0 часов. После каждого этапа диспергирования проводилось измерение размера наночастиц.

Результаты измерения размера наночастиц на разных этапах исследования образцов нанофлюидов в зависимости от концентрации ПАВ приведены на рисунке 6.

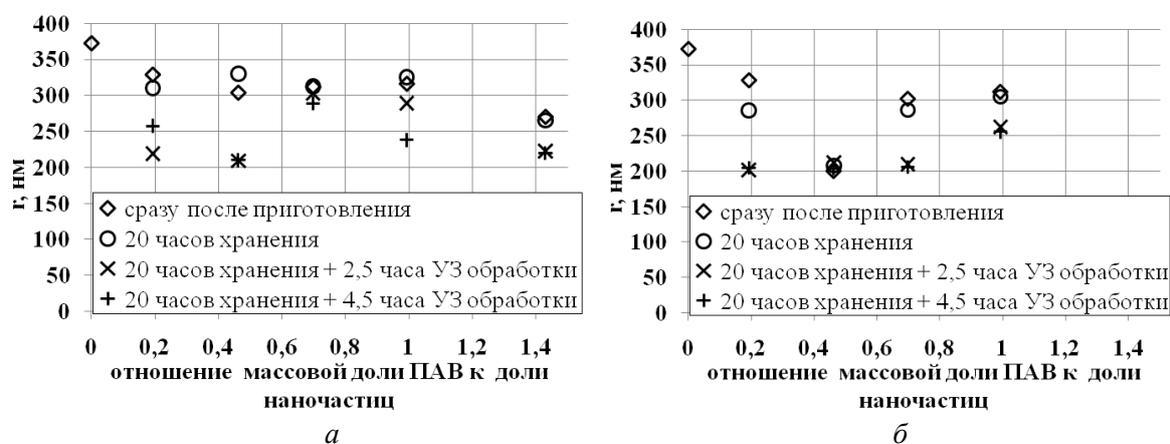


Рисунок 6 – Зависимость среднего размера наночастиц в нанофлюиде в зависимости от концентрации ПАВ: а – ПАВ Span 80; б - ПАВ SDBS.

#### 4 Анализ результатов экспериментального исследования

4.1 Анализ влияния технологических параметров приготовления нанохладоносителей на размер наночастиц в полученном нанофлюиде

Информация, приведенная на рисунках 1-3, позволяет сформулировать вывод, что использование ультразвукового диспергирования не всегда дает положительный результат с позиции уменьшения размера наночастиц в жидкости. Применительно к технологии приготовления нанофлюида на основе триэтиленгликоля и наночастиц  $Al_2O_3$  было показано, что после предварительного механического дробления, ультразвуковая обработка привела к резкому укрупнению размера – образованию агрегатов наночастиц. Данные результаты частично согласуются с выводами, полученными другими исследователями о неоднозначном влиянии ультразвуковой обработки на степень дисперсности наночастиц в жидкости.

Так, в работе [20] говорится, что при кратковременной ультразвуковой обработке суспензий не получается достичь нужной степени измельчения частиц, а при слишком длительной обработке возникает агрегация тонкодисперсных частиц [20]. В работе [21] показано, что при длительной ультразвуковой обработке нанофлюида на основе этиленгликоля и  $ZnO$  раздробленные наночастицы снова начинают собираться в кластеры. В работе [8] показано, что значение дзета-потенциала для нанофлюида на основе воды и  $Al_2O_3$  после ультразвуковой обработки в течение 5 часов резко увеличилось, однако при последующей ультразвуковой обработке постепенно начало снижаться (что говорит о снижении агрегативной устойчивости нанофлюида).

Вместе с тем исследования, проведенные для нанофлюидов, приготовленных на основе пропиленгликоля и наночастиц  $Al_2O_3$ , показали, что после длительного механического дробления, дополнительная ультразвуковая обработка в течении 30 мин не привела к заметному изменению размера наночастиц (рис. 2).

Некоторые исследователи предлагают использовать сочетание ультразвукового и механического диспергирования наночастиц [7,22]. Результаты проведенного исследования подтверждают целесообразность применения методики, которая состоит из комбинации ультразвукового и механического воздействия (с предварительным ультразвуковым диспергированием) – рисунок 3. При таком подходе при механическом дроблении в агрегатах наночастиц образуются сети трещин, по которым, при дальнейшей ультразвуковой обработке, в результате кавитационных явлений в жидкости, агрегаты разрушаются. Целесообразность комбинированного подхода к диспергированию нанофлюидов будет способствовать снижению энергозатрат на приготовление нанофлюида, так как ультразвуковая обработка характеризуется большим расходом энергии, по сравнению с механической.

#### 4.2 Анализ влияния добавок ПАВ и их концентрации в нанохладагенте на размер наночастиц в полученных нанофлюидах

Приготовить нанофлюид на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$  и R141b без применения ПАВ не удалось – рисунок 4. Причем об агрегативной неустойчивости полученного флюида говорит тот факт, что жидкость над осадком практически не содержит наночастиц. Вместе с тем, в работе [23] отмечается хорошая устойчивость (в течение 3–4 недель) системы R141b/наночастицы  $\text{TiO}_2$  (0,01 – 0,05 об. %) приготовленной при помощи ультразвукового диспергирования наночастиц (средний размер в порошке 21 нм) в течение 6 часов без добавок ПАВ.

Из рассмотренных различных видов ПАВ удалось определить наиболее подходящие для создания устойчивых нанофлюидов на основе R141b и наночастиц  $\text{TiO}_2$ . Образцы, содержащие ПАВ СТАВ и SDS оказались агрегативно неустойчивыми, что характеризовалось образованием рыхлого осадка в течение короткого промежутка времени (менее одного часа) после приготовления. Неплохую агрегативную устойчивость системы R141b/наночастицы  $\text{TiO}_2$  обеспечил неионогенный ПАВ Span 80 и анионный ПАВ SDBS. Наглядно устойчивость и образцов демонстрирует рисунок 5.

Проведенные исследования показывают, что через 20 часов хранения в статических условиях, даже в образцах R141b/наночастицы  $\text{TiO}_2$  (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) с ПАВ Span 80 и SDBS наблюдался небольшой плотный осадок. При этом отмечалось наличие различной оптической плотности образцов нанофлюида по высоте ячеек. Дополнительно в устойчивых образцах был измерен средний размер наночастиц сразу после приготовления и через 20 часов после хранения (с предварительным взбалтыванием образцов перед заправкой в оптические ячейки). Полученные данные показывают, что средний размер частиц во всех образцах оказался достаточно большим, чем и объясняется частичное оседание крупных частиц, – рисунок 6.

Для образцов R141b/наночастицы  $\text{TiO}_2$  (Sigma Aldrich) с ПАВ Span 80 независимо от концентрации ПАВ через 18 часов хранения визуальные наблюдения также показали различие оптической плотности нанофлюидов по высоте ячеек. Причем осадка наночастиц на дне ячеек не наблюдалось. Размер наночастиц  $\text{TiO}_2$  (Sigma Aldrich) в данных образцах сразу после приготовления составлял  $131 \pm 3$  нм, что существенно ниже, чем для нанофлюида с наночастицами  $\text{TiO}_2$  (Wenzhou Jingcheng Chemical Co) при соблюдении одинаковой технологии приготовления. Причем зависимости полученного размера наночастиц от концентрации ПАВ выявлено не было.

Объяснить различие в полученных размерах наночастиц в нанофлюиде при использовании наночастиц разных производителей (с приблизительно одинаковым начальным размером в порошке) можно как несоответствием заявленного производителем размера наночастиц реальным размерам, так и изменением заявленного производителем размера наночастиц со временем в процессе их хранения.

Результаты проведенных исследований (рис. 6) показывают, что дополнительное ультразвуковое диспергирование нанофлюида с ПАВ приводит к существенному уменьшению размера наночастиц. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что диспергирование наночастиц  $\text{TiO}_2$  в хладагенте R141b необходимо осуществлять в присутствии ПАВ, а не вводить ПАВ на последнем этапе приготовления нанофлюида. По всей видимости, ПАВ выполняет роль диспергирующего агента при приготовлении нанофлюида. Так, при приготовлении образца нанофлюида с наночастицами  $\text{TiO}_2$  (Sigma Aldrich) 0,10 масс. % и ПАВ Span 80 для исследований процессов кипения нанофлюидов ПАВ добавлялся перед механическим диспергированием наночастиц в бисерной мельнице, а не после, как в приведенных выше исследованиях. Размер наночастиц, измеренный методом спектротурбидиметрии сразу после приготовления нанофлюида, составил 100-107 нм (результат многократных измерений), что ниже приведенных выше размеров  $131 \pm 3$  нм.

Следует заметить, что полученные результаты по выбору типа ПАВ не в полной мере согласуются с данными, приведенными в работах [24, 25]. В работе [24] для системы R113/наночастицы Si приготовленной с использованием трех типов ПАВ (катионного, анионного и неионогенно) для всех образцов показана хорошая стабильность (оцененная методом спектрофотометрии) в течение 24 ч. Причем авторы [24] отмечают, что устойчивость нанофлюидов была сопоставимой для всех использованных для приготовления нанофлюидов ПАВ, что кажется сомнительным. В дальнейших исследованиях этих авторов [25] для системы R141b/наночастицы  $\text{TiO}_2$  исследовалась агрегативная устойчивость при использовании добавок трех видов ПАВ: анионного, катионного и ионогенного. Авторами также показана возможность использования всех типов ПАВ. Для всех рассмотренных ПАВ экспериментально показано наличие оптимальной концентрации, обеспечивающей наименьший размер наночастиц в нанофлюиде после его приготовления.

На основании проведенных исследований был сделан вывод о целесообразности комбинирования механического и ультразвукового диспергирования наночастиц в базовых жидкостях при приготовлении нанохладоносителей и нанохладагентов двухступенчатым методом.

В работе были определены ПАВ, которые следует применять для приготовления устойчивых нанофлюидов на основе хладагента R141b и наночастиц TiO<sub>2</sub>. Показано, что процедура определения оптимальной концентрации ПАВ для приготовления нанофлюидов достаточно сложна и зависит от нескольких факторов. Вероятно с уменьшением размера наночастиц в нанофлюиде (в результате ультразвуковой обработки) увеличивается необходимое количество ПАВ для обеспечения устойчивости наночастиц (из-за увеличения их удельной поверхности). Поэтому для каждого конкретного образца нанофлюида перед началом исследования теплофизических свойств или процессов теплообмена необходимо экспериментально определять оптимальную концентрацию ПАВ.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о необходимости дальнейших исследований в области разработки технологии приготовления нанофлюидов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Celen A., Çebi A., Aktas M., Mahian O., Dalkilic A. S., Wongwises, S. A review of nanorefrigerants: flow characteristics and applications // *International Journal of Refrigeration*. – 2014. – V. 44. – P. 125-140.
2. Keblinski P., Eastman J. A., Cahill D. G. Nanofluids for thermal transport // *Materials today*. – 2005. – Vol. 8, Issue 6. – P. 36-44.
3. Zoubida Haddad Chérifa Abid, Oztop Hakan F., Amina Mataoui A review on how the researchers prepare their nanofluids // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2014. – Vol. 76. - P. 168–189.
4. Devendiran D. K. Amirtham V. A. A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – Vol. 60. – P. 21-40.
5. Ghadimi A. Saidur R., Metselaarn H. S. C. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2011. – Vol. 54, Issue 17. – P. 4051-4068.
6. Yu W., Xie H., Chen L., Li Y. Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluid // *Thermochimica Acta*. – 2009. – Vol. 491, Issue 1. – P. 92-96.
7. He Y., Jin Y., Chen H., Ding Y., Cang D., Lu H. Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO<sub>2</sub> nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2007. – Vol. 50, Issue 11. – P. 2272-2281.
8. Lee J. H., Hwang K. S., Jang S. P., Lee B. H., Kim J. H., Choi S. U., Choi C. J. Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2008. – Vol. 51, Issue 11. – P. 2651-2656.
9. Лукьянов Н. Н., Хлиева О. Я., Железный В. П., Семенюк Ю. В. Исследование перспектив применения нанохладагентов с целью повышения эколого-энергетической эффективности оборудования // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 3, № 5 (75). – С. 32-40.
10. Мороз С. А., Хлиева О. Я., Лукьянов Н. Н., Железный В. П. Экспериментальное исследование влияния примесей фуллеренов C<sub>60</sub> в компрессорном масле и величины вязкости масла на показатели эффективности холодильной компрессорной системы // *Вестник Международной академии холода*. - 2016. - № 1. - С. 41–46.
11. Wu D. Zhu H., Wang L., Liu L. Critical issues in nanofluids preparation, characterization and thermal conductivity // *Current Nanoscience*. – 2009. – Vol. 5, Issue 1. – P. 103-112.
12. Wei Yu, Huaqing Xie A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications // *Journal of Nanomaterials - Special issue on Advanced Nanohybrid Materials: Surface Modification and Applications*. - Vol. 2012, Article ID 435873, 17 pages
13. Li Y. Zhou J., Tung S., Schneider E., Xi S. A review on development of nanofluid preparation and characterization // *Powder Technology*. – 2009. – Vol. 196, Issue 2. – P. 89-101.
14. Das S. K., Choi S. U., Yu W., Pradeep T. *Nanofluids: science and technology*. – John Wiley & Sons, 2007.
15. Suganthi, K. S., Rajan K. S. A formulation strategy for preparation of ZnO–propylene glycol–water nanofluids with improved transport properties // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2014. – Vol. 71. – P. 653-663.
16. Yang J. C., Li F. C., Zhou W. W., He Y. R., Jiang B. C. Experimental investigation on the thermal conductivity and shear viscosity of viscoelastic-fluid-based nanofluids // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2012. – Vol. 55, Issue 11. – P. 3160-3166.
17. Кленин В.И., Щеголев С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем, изд-во Саратовского университета, 1977. – 177 с.
18. Kourti T. Turbidimetry in particle size analysis. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry - Instrumentation and Applications*, Wiley, 2000. – P. 5549–5579.
19. Фролов Ю. Г., Гродский А.С. *Лабораторные работы и задачи в коллоидной химии* – М.: Химия, 1986. – 216 с.
20. Агранат, Б. А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др. *Основы физики и техники ультразвука* – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.

21. Kole M., Dey T. K. Thermophysical and pool boiling characteristics of ZnO-ethylene glycol nanofluids //International Journal of Thermal Sciences. – 2012. – Vol. 62. – P. 61-70.
22. Choi C. H., Yoo S., Oh J. M. Preparation and heat transfer properties of nanoparticle-in-transformer oil dispersions as advanced energy-efficient coolants //Current Applied Physics. – 2008. – Vol. 8, Issue 6. – P. 710-712.
23. Trisaksri V., Wongwises S. Nucleate pool boiling heat transfer of TiO<sub>2</sub>-R141b nanofluids //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2009. – V. 52, Issue 5. – P. 1582-1588.
24. Peng H., Ding G., Hu H. Effect of surfactant additives on nucleate pool boiling heat transfer of refrigerant-based nanofluid //Experimental Thermal and Fluid Science. – 2011. – V. 35, Issue 6. – P. 960-970.
25. Peng H., Lin L., Ding G. Influences of primary particle parameters and surfactant on aggregation behavior of nanoparticles in nanorefrigerant //Energy. – 2015. – V. 89. – P. 410-420.

УДК 651.22

### **ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ХЛАДАГЕНТУ R22 ДИФТОРМЕТАНА (HFC-32) ЖИДКОЙ ФАЗЕ, ВКЛЮЧАЯ ОБЛАСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ**

*Цветков О.Б., д.т.н., Лантев Ю.А., к.т.н., Федоров А.В., д.т.н., Галахова Н.А., аспирант.,*

*Хабаров А.В., магистрант., Столповская И.В., магистрант*

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,  
механики и оптики (Университет ИТМО), Российская Федерация, Санкт-Петербург*

*E-mail: max\_iar@irbt-itmo.ru, natasha\_galahova@mail.ru, avhbox@gmail.ru, istolpovskaya@corp.ifmo.ru*

С 30 ноября по 12 декабря 2015 года в Ле-Бурже (под Парижем) прошла крупнейшая в истории человечества конференция по изменению климата [1]. 147 государств представили общий план сокращения выбросов парниковых газов, имея стратегической целью – ограничение потепления на Земле не более 2 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой, хотя сегодня по самым оптимистическим прогнозам рост температуры атмосферы Земли в XXI веке может составить уже от 1,1 до 2,9 °С. Ратификация Парижских соглашений продлится до апреля 2017 года.

Проблему снижения парникового эффекта за счет антропогенной составляющей предложено решать комплексно путем декарбонизации экономики, т. е. заменой природного топлива на возобновляемые источники энергии (солнце, энергия ветра, воды, приливов и отливов, геотермальные источники), снижением энергоемкости технологических процессов, переходом на безотходные производства, системы с замкнутым циклом и др. Подобные программы интернациональны, должны решаться на международном уровне, поскольку неизбежны многочисленные и далеко экономически небезболезненные политические и социальные последствия. Потребуется более чем существенные капиталовложения, изменения экономической ориентации, создание новых отраслей, мониторинг реализации подобных программ. В ряде стран уже реализовано достаточно целеустремленное природоохранное законодательство в части стандартов на выбросы отработанных газов, например автомобилей, нормативов по очистке выбросов, экологических нормативов при внедрении новых технологий, установок и производств. Изменение климата коснется практически всех жителей планеты, а возможный подъем уровня мирового океана способен спровоцировать переселение миллионов жителей побережий, превратив многолетнее непродуманное отношение к земле, воздуху и воде в физическую и моральную трагедию жителей Земли. В центре внимания всех программ – индустрия холода. И как следствие, нужно ожидать дальнейших ограничений вплоть до полного запрета в использовании синтетических хладагентов с ощутимым парниковым эффектом [2]. В Европе запрет на применение хладагентов с ПГП > 2500 вводится с 2020 года, но более жесткие меры планируются с 2025 года.

Производство озоноразрушающих хладагентов останавливается с 01.01.2020 года. На повестке дня исключение одного из самых распространенных хладагентов – ГХФУ-22 (дифтормонохлорметан). Его доля в индустрии холода ряда стран все еще стабильно сохраняется на отметке 80 % и дефакто распрощаться с R22 окажется далеко не безболезненно.

Актуальна проблема замены R22. Понятно, прежде всего, требование нулевого потенциала разрушения озонового слоя Земли [2] и значительно более низкого потенциала глобального потепления [3] для возможных альтернатив R22 (табл. 1).

Таблица 1 – Потенциалы глобального потепления (GWP) альтернативных R22 синтетических хладагентов

Хладагент	GWP	Хладагент	GWP	Хладагент	GWP
R22	1760	R152a	138	R449A	1397
R32	677	R290	9	R452A	2140
R125	3170	R404A	3922	R507A	4000
R134a	1300	R407C	1800	R513A	631
R143a	4470	R410A	1924	–	–

В качестве альтернативы R22 могут быть дифторметан (R32), пропан (R290), смеси, в состав которых входят R134a, R125, R143a, ингибирующие незначительную пожароопасность R32 (класс A2L) и существенную пожароопасность пропана (класс A3).

Дифторметан [4–6] стал популярен в системах СКВ в странах с жарким климатом: Австралия, Индия, Китай, Япония, США. Масштабное использование углеводородов еще имеет ограничения и пока не позволяет рассматривать углеводороды (пропан) в качестве универсальных альтернатив рабочим веществам холодо- и теплопотребляющих объектов [7]. Дифторметан этими ограничениями практически, как показывает опыт последних лет, не отягощен [5, 6].

Интерес к теплофизическим свойствам дифторметана возрос сразу же после принятия в 1987 году Монреальского протокола [3]. В табл. 2 представлены термодинамические характеристики R22 и дифторметана.

Таблица 2 – Термодинамические свойства хладагентов R22 и R32

Хладагент	Термодинамические свойства					
	$p_{кр}$ , МПа	$T_{кр}$ , К	$\rho_{кр}$ , кг/м <sup>3</sup>	$T_{нк}$ , К	$r$ , кДж/кг ( $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	$M$ , кг/кмоль
R22	4,988	369,30	514	232,35	202,6	86,47
R32	5,785	351,255	424	221,35	317,2	52,02

Близки критические температуры  $T_{кр}$  и давления  $p_{кр}$  этих хладагентов, температуры кипения при нормальном давлении  $T_{нк}$ , но энтропийное поле R32 шире. Также лучше кинетические характеристики R32. Например, теплопроводность R32, в молекуле которого присутствуют два атома водорода, выше теплопроводности R22, что улучшает теплообменные характеристики аппаратов холодильных машин и снижает необратимые потери цикла.

Как хладагент, обладающий незначительным парниковым эффектом, дифторметан может реально заменить R404A, R407C и R410A, потенциал глобального потепления которых, к сожалению, может стать препятствием их применения после 2030 года [5].

В настоящей работе исследована важнейшая кинетическая характеристика – теплопроводность R32 в состоянии жидкой фазы, включая особую для изучения область – область критической точки [8–11]. Использован стационарный метод коаксиальных цилиндров. HFC-32 находился в зазоре между двумя вертикальными цилиндрами. Теплопроводность рассчитывали по данным измерений теплового потока и разности температур между внутренней и наружной поверхностями слоя [9, 10]. Для апробации экспериментального стенда измеряли теплопроводность гелия, аргона, хладагента HCFC-22 и толуола марки «ЧДА». По теплопроводности этих веществ имеются аттестованные достоверные справочные данные.

Теплопроводность R32 исследована в диапазоне температур 294,72–342,93 К, давлений до 7 МПа, в диапазоне плотностей от 90 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Исследованный дифторметан (R32) синтезирован ФГУП «РНЦ «Прикладная химия» и, согласно данным производителя, имел содержание основного продукта не менее 99,84 %. Результаты измерений теплопроводности HFC-32 представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Опытные значения теплопроводности HFC-32

$\tau$	$\omega$	$\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м·К)	$\tau$	$\omega$	$\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м·К)
0,839	2,300	135,0	1,0153	0,756	48,9
0,854	2,316	130,4	1,0153	0,752	49,6
0,865	2,263	127,2	1,0342	0,602	35,6
0,866	2,279	126,8	1,0342	0,618	37,5
0,866	2,254	126,8	1,0004	1,633	82,5
0,919	2,084	110,8	1,0004	1,633	84,1

0,918	2,088	111,1	1,0004	1,527	80,9
0,974	1,838	94,1	1,0022	0,218	20,2
0,976	1,835	93,6	1,0022	0,412	29,2
1,0076	0,229	21,2	1,0022	0,415	29,2
1,0076	0,667	45,4	1,0065	1,300	78,9
1,0076	0,414	27,4	1,0065	1,266	82,1
1,0076	0,394	27,1	1,0065	1,245	83,0
1,0153	0,229	20,8	1,0065	1,237	82,5
1,0153	0,390	27,6	–	–	–

В табл. 3:  $\tau = T/T_{кр}$  – приведенная температура,  $\omega = \rho/\rho_{кр}$  – приведенная плотность,  $\lambda$  – теплопроводность HFC-32. Значения критических параметров HFC-32 приняты по данным табл. 2 [12]. Погрешность измерений теплопроводности вдали от сингулярностей критической области, по оценке авторов, не превышала  $\pm 2,5\%$ . С приближением к критической точки погрешность могла достигать  $\pm 10\%$  особенно в диапазоне  $|T - T_{кр}| < 3\text{K}$  [8, 10, 11].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Постпарижские синдромы устойчивого развития техники низких температур // Холодильная техника. – 2016. – № 4. – С. 19-22.
2. Целиков В.Н. О регулировании производства и потребления гидрофторуглеродов в Российской Федерации // Холодильная техника. – 2014. – № 7. – С. 4–7.
3. McLinden M.O., Kazakov A.F., Brown J.S., Damanski P.A. A thermodynamic analysis of refrigerants: possibilities and tradeoffs for low-GWP refrigerants // Int. Journal of Refrigeration. – 2014. – Vol. 38. – P. 80-92.
4. Summary of the Twenty-Eighth Meeting of the parties to the Montreal Protocol; 10-14. October, 2016 // IISD. – 2016. – Vol. 19, N 131. – P. 3-15.
5. EPA утвердил новые хладагенты с низким уровнем GWP // Холодильный бизнес. – 2015. – № 3. – С. 11.
6. R32 passes high ambient test // IIR Newsletter. – 2015. – N 64, October.
7. Калнинь И.М., Малофеев И.И. Проблема выбора рабочего вещества для применения в высокотемпературных тепловых насосах // Холодильная техника. – 2014. – № 12. – С. 21-24.
8. Geller V.Z., Paulaitis M.E. Thermal conductivity of difluoromethane (HFC-32) in the supercritical region // Prepr. 12<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, 1994.
9. Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Использование метода коаксиальных цилиндров для изучения теплопроводности в области ее аномалий // Интенсификация процессов и оборудования пищевых производств: Межвуз. сб. научн. тр. – Л.: ЛТИ, 1982. – С. 105-109.
10. Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A. Thermal conductivity of difluoromonochloromethane in the critical region // Intern. Journal Thermophysics. – 1991. – Vol. 12, N 1. – P. 53-65.
11. Sakonidou E.P. Thermal conductivity of fluids and fluid mixtures in the critical region // Academisch Proetschrift, Univ. van Amsterdam, 1996. – 180 p.
12. Уравнение состояния хладагента R32/ С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М.И. Полторацкий, А.В. Свердлов // Холодильная техника. – 2016. – № 11. – С. 34–37.

УДК 621.565.8

#### МОЛОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО С НОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ОХЛАЖДЕНИЯ

*Цой А.П.<sup>1</sup>, к.т.н., Алимкешова А.Х.<sup>1</sup>, докторант., Абдумасаров Б.А.<sup>1</sup>, студент  
Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан  
E-mail: teniz@bk.ru, asylym\_menim@mail.ru, imaqna@bk.ru*

Предприятия молочной отрасли оснащены большим количеством энергопотребляющего оборудования. Холодильные системы также относятся к такому оборудованию. Повышение энергоэффективности работы предприятий по производству молочных продуктов является одним из важных условий дальнейшего развития молочного производства. С этой целью во всем мире проводится большая работа по совершенствованию технических средств и технологий, используемых при производстве молочных продуктов. Повышение энергоэффективности холодильных систем на молочных производствах обеспечит снижение энергоемкости выпускаемой продукции.

В технологиях переработки молоко обычно охлаждают промежуточным хладоносителем – холодной водой, температура которой  $0^{\circ}\text{C}$  («ледяная» вода).

На молочно-товарных фермах широко используют пластинчатые проточные молокоохладители, в которых молоко охлаждается в несколько ступеней, сначала холодной природной водой, а затем водой от холодильных установок. Холодопроизводительность холодильной машины должна обеспечивать требуемые режимы охлаждения. Схема охлаждения молока показана на рисунке 1 [1].

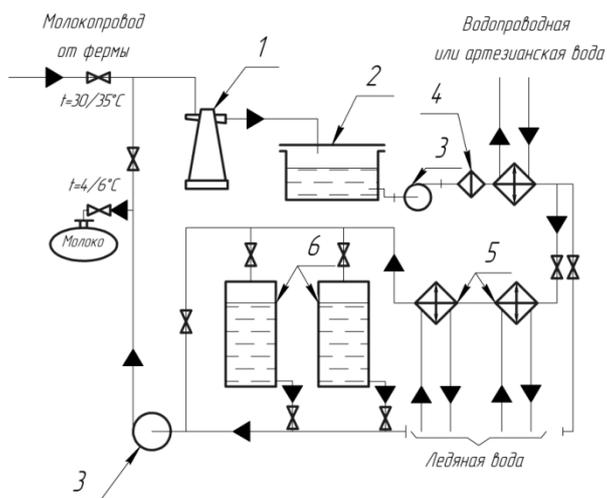


Рисунок 1. Схема холодоснабжения молочно-товарной фермы: 1 – молочные весы; 2 – бак молокоприемный; 3 – насос для молока; 4 – фильтр молочный; 5 – проточный теплообменник; 6 – резервуар для хранения молока.

В отличие от промышленных распределительных холодильников, в которых тепловая нагрузка зависит во многом от наружных климатических условий, на предприятиях молочной промышленности тепловая нагрузка определяется графиком работы производства и характеризуется наличием пиковых нагрузок в течение суток.

Из графика суточного потребления холода, показанном на рисунке 2 [1] видно, что в течение суток тепловая нагрузка дважды резко увеличивается.

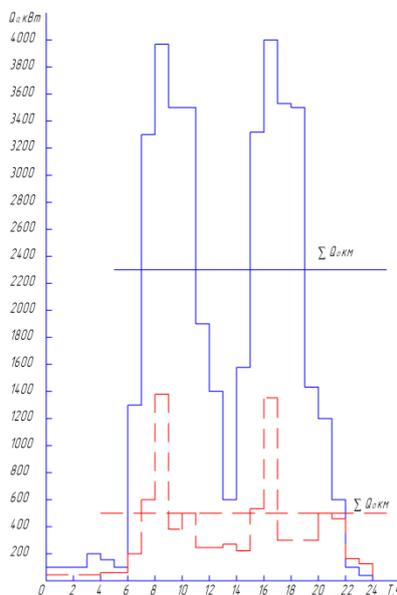


Рисунок 2. График холодонагрузки городских молочных заводов:  
 \_\_\_\_\_ городской молочный завод мощностью 100 т. переработки молока в смену;  
 ----- то же, 25 т. молока в смену.

Проведенный анализ на Алматинском молочном заводе «Raimbek AGRO» показывает также наличие неравномерности тепловой нагрузки.

В этих условиях расчет и подбор холодильной установки по максимальной тепловой нагрузке приводят к значительному завышению установленной мощности холодильной машины. Поэтому для обеспечения требуемого технологического температурного режима охлаждения молока в зависимости от неравномерности тепловых нагрузок в течение суток и уменьшения капитальных затрат на получение холода на предприятиях молочной промышленности, широко применяются различные схемы холодильных установок с аккумуляторами холода, рисунок 3 [2].

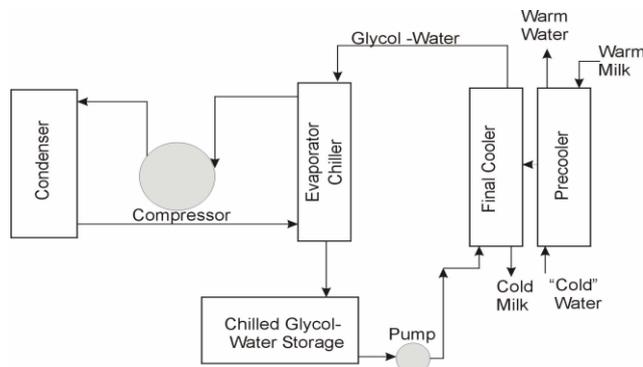


Рисунок 3. Схема холодильной установки с аккумулятором холода.

В холодильных установках объем аккумулятора холода, обычно, определяется из величины превышения холодонагрузки, согласно графику работы молочного производства, по сравнению со среднесуточной холодопроизводительностью холодильной установки. Среднесуточная холодопроизводительность определяется исходя из продолжительности работы холодильной машины, обычно принимают 20-22 часа в сутки. Холодильная установка должна иметь не менее двух компрессоров, один из которых может иметь устройства плавного регулирования, а остальные - двухпозиционное устройство.

В работе [3] рассматриваются аккумуляторы холода с использованием бинарного льда. Аккумулятор холода, использующий смесь с массовой долей бинарного льда 50%, имеет емкость в девять раз меньше, чем при использовании ледяной воды. Бинарная смесь с массовой долей льда 30% потенциально может улучшить эффективность системы за счет уменьшения объема циркулирующей воды более чем на 80%, или же увеличить охлаждающую способность в шесть раз при тех же тепловых нагрузках и мощностях на перекачивание хладоносителя.

В последнее время, в связи с требованием энергоэффективности и сокращением использования фреонов (как озон опасных и парниковых газов) в холодильных системах, широко исследуется охлаждение с помощью радиационного излучения в космическое пространство. Использование этой инновационной технологии дает возможность снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также сократить энергопотребление холодильных систем в молочной промышленности.

Однако большинство исследований по применению радиационного излучения проводилось в системах кондиционирования воздуха в летний период. В работе [4], целью исследования является моделирование системы кондиционирования воздуха офисных помещений с использованием коллекторов, применяемых для пассивного охлаждения с изменением фазового состояния материалов (ИФСМ), с помощью ночного радиационного охлаждения (НРО). Сочетание этих двух технологий было проверено в трех разных странах, а именно Копенгаген (Дания), Милан (Италия) и Афины (Греция), период охлаждения (с первого мая по тридцатое сентября). Система была оценена по результатам температурных условий в помещениях, производству электроэнергии и мощности охлаждения ФЭ/Т панелей.

Применение ФЭ/Т панелей для производства электричества и ИФСМ для снижения пиковой нагрузки охлаждения является перспективным техническим направлением. Преимуществом ИФСМ приводит к снижению пиковой нагрузки охлаждения без дополнительных затрат. Потребности в холоде можно реализовать с помощью производства холодной воды с использованием ночного радиационного охлаждения в сочетании с термальным хранением энергии, таким как ИФСМ. Основными преимуществами такой системы является сокращение потребления энергии. Аналогичные работы проведены в Таиланде [5], Китае [6], Намибии [7], на юге США [8,9].

Проводятся исследования по применению радиационного излучения в холодильных системах для резкоконтинентального климата Казахстана и России [10,11,12,13].

Радиационное излучение в космическое пространство – альтернативный, возобновляемый способ охлаждения, малоизученный для использования в молочной промышленности. В результате применения данной технологии, температура хладоносителя может поддерживаться ниже температуры окружающего воздуха. Этот эффект можно использовать для создания холодильных систем с промежуточным контуром. В качестве хладоносителя как правило применяется вода или пропиленгликоль, разрешенные в молочной промышленности. В этом случае предусматривается дополнительный контур холодильной системы, который позволяет охлаждать хладоноситель в радиаторах и направлять в аккумулятор холода. Возможность применения радиационного излучения для охлаждения в значительной степени определяется особенностями климата того или иного региона. Авторами исследуется энергоэффективность холодильных систем молочной промышленности, использующих радиационное излучение в космическое пространство, для условий резко континентального климата Казахстана и России.

Рассматривается холодильная система для молочного производства с использованием радиационного излучения в космическое пространство (рис. 4).

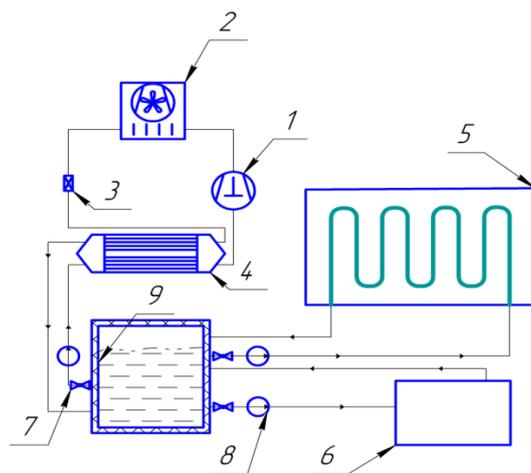


Рисунок 4. Схема холодильной установки с применением радиационного излучения в космическое пространство: 1 – компрессор, 2 – конденсатор, 3 – дросселирующее устройство, 4 – испаритель, 5 – радиатор, 6 – охлаждаемый объект, 7 – вентиль, 8 – насос, 9 – резервуар для холодной воды (аккумулятор холода)

Алматинский молочный завод «Raimbek AGRO» имеет примерную мощностью 100 тонн переработки молока в смену. На основании графика изменения холодонагрузки, показанном на рисунке 2, и используя значение общей тепловой нагрузки, расчетной и избыточной пиковой холодонагрузки можно определить требуемую площадь радиаторов системы ночного радиационного охлаждения. Площадь радиаторов для снятия общей тепловой нагрузки равна 16520 м<sup>2</sup>. Для снятия пиковой избыточной тепловой нагрузки площадь радиаторов составляет 4083 м<sup>2</sup>.

Охлаждение хладоносителя может происходить с помощью холодильной машины, или системы ночного радиационного охлаждения (НРО), а также при одновременном их использовании. При этом время работы этих источников охлаждения будет различным и зависеть от регионального расположения молочного производства и времени года.

Из анализа работы [11] следует, что системой НРО температура хладоносителя 0°С, которая требуется для молочного производства, в Алматы может быть обеспечена в течение семи месяцев. В городе Омск - в течение девяти месяцев.

Поэтому холодильная машина в Алматы может не работать в течении семи месяцев, а в Омске - в течении девяти месяцев.

Таким образом, холодильная система молочного производства, использующая радиационное излучение, будет иметь большую энергоэффективность по сравнению с традиционной.

Холодопроизводительность холодильной установки определяется в зависимости от графика изменения тепловой нагрузки молочного производства, как среднесуточная холодопроизводительность холодильной машины, а площадь радиаторов и объем аккумулятора холода предлагается принимать в зависимости от избыточной пиковой тепловой нагрузки согласно графика работы. Аккумулирование холода в аккумуляторе производить, используя систему радиационного излучения радиаторов в космическое пространство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Явнель Б.К. / Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223с.; ил. – (учебники и учеб. пособие для техникумов)
2. Purpose and Cooling Standards – Milk Cooling / Dairy Farm Energy Management Guide – figure 2-7, 29 page.
3. Основные типы аккумуляторов холода с использованием бинарного льда / Цой А.П., Круглов А.А., Тазитдинов Р.Р. // Казахстан-Холод 2016. – Алматы, 2016.
4. Simulation Study of Discharging PCM Ceiling Panels through Night - time Radiative Cooling / Eleftherios Bourdakis, Ongun B. Kazanci, Bjarne W. Olesen, F. Grossule // 2016 ASHRAE Annual Conference (25.06.2016 – 29.06.2016). - St. Louis, 2016.
5. Prommajak, T. Passive cooling of air at night by the nocturnal radiation in Loei, Thailand / T. Prommajak, J. Phonruksa, S. Pramuang // Int. J. Renew. Energy. – 2008. – Vol. 3, № 1. – P. 33–40.
6. Qingyuan, Z. Potentials of passive cooling for passive design of residential buildings in China / Z. Qingyuan, L. Yu // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 57. – P. 1726–1732.
7. Dobson, R. T. Thermal modeling of a night sky radiation cooling system / R. T. Dobson // J. Energy South. Africa. – 2005. – Vol. 16, № 2. – P. 20–31.
8. Kimball B. Cooling performance and efficiency of night sky radiators / B. Kimball // Sol. energy. – 1985. – Vol. 34, № 1. – P. 19–33.
9. NightCool: Nocturnal radiation cooling concept – Long term performance evaluation [Text] : contract report / Solar Energy Center; D. S. Parker, Sherwin J. R., Hermelink A. H., Moyer N. – Florida, December 2009.
10. Цой, А. П. Использование эффективного излучения в холодильной системе открытого катка / А. П. Цой, А. В. Бараненко, А. Я. Элит // Вестник Международной Академии Холода. – 2012. № 4. С. 8–11.
11. Цой А. П. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство / А. П. Цой, А. С. Грановский, Д. А. Цой, А. В. Бараненко // Холодильная техника. – 2014. – № 12. – С. 36–41.
12. Цой А.П., Круглов А.А., Тазитдинов Р.Р. / Основные типы аккумуляторов холода с использованием бинарного льда // Казахстан-Холод 2016: Сб. докл. Межд. Науч.-техн. Конф. (1-2 марта 2016 г.). – Алматы: АТУ, 2016. – С. 144-148.
13. Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А. / Техничко-экономические проблемы, связанные с использованием систем ночного радиационного охлаждения и пути их возможного решения // Інновації в судобудуванні та океанотехніці: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : НУК, 2016.– С. 222-225.

УДК 664.8.037.5

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПО ЗАМОРАЖИВАНИЮ ЯГОД МАЛИНЫ

*Цой А.П.<sup>1</sup>, к.т.н., Цой Д.А.<sup>1</sup>, магистр., Грановский А.С.<sup>1</sup>, магистр., Сандыкбаева С.Б.<sup>2</sup>, магистр  
ТОО Тениз, г. Алматы Республика Казахстан  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия  
E-mail: teniz@bk.ru, ditsoy@gmail.com, granovskiy.a@rambler.ru*

Согласно исследованиям рынка в Казахстане ежегодно доля импорта фруктово-ягодной продукции составляет 635 тыс. тонн, доля экспорта – 2,2 тыс. тонн. Фруктово-ягодный рынок Казахстана условно можно разделить на две группы: первая группа – отечественные сезонные фрукты и ягоды, которые потребляются в течение периода наличия, вторая группа – импортируемая продукция [1, 3].

С целью достаточного поступления продукции на внутренний рынок, начиная с 2010 г. в Казахстане запущена программа помощи малому и среднему бизнесу путем субсидирования производства ягод, фруктов и овощей в закрытом грунте и развитии капельного орошения, а также программу стимулирования строительства фрукто-овощехранилищ. Однако несмотря на стимулирование бизнеса в Казахстане до сих пор недостаточное количество хранилищ, часть существующих баз требует огромного капитального ремонта, отсутствует необходимая инфраструктура, отсутствуют холодильные камеры [2, 3].

Крестьянские хозяйства в Казахстане вынуждены придерживаться стратегии ограниченного роста в выращивании ягодных культур из-за высокого риска порчи нереализованной продукции.

Целью исследования является анализ рынка ягоды малины в Казахстане и составление финансово-экономического обоснования бизнес-модели по заморозке ягод.

Задачами исследования являются: во-первых анализ рынка Казахстана с определением сдерживающих факторов развития, определения спроса и анализа цен и основных игроков; определение оптимальной бизнес модели с учетом специфики сформированного рынка; техническое и финансовое обоснование выбранной бизнес модели.

#### Анализ рынка

В результате проведенной работы, были определены следующие факторы, присущие рынку Казахстанских производителей ягод:

1). Отсутствие регулярной поставки качественной замороженной ягоды местных крестьянских хозяйств на рынок Казахстана;

2). Ограниченные ресурсы крестьянских хозяйств, которые не позволяют им эффективно организовать оптовый сбыт;

3). Маленькие объемы ягод и сложность в организации регулярной поставки являются сдерживающими факторами для продажи ягод пищевым производствам, ресторанам и кулинариям;

4). Высокая конкуренция со стороны оптовых поставщиков продукции из Китая, Узбекистана и Киргизии.

Цены на фрукты и ягоды имеют сезонный характер и зависят от спроса и предложения со стороны населения и представлены на рис. 1 [3].

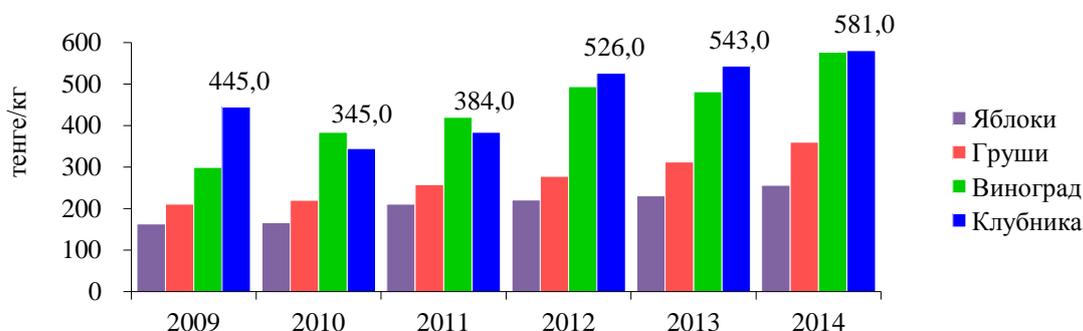


Рисунок 1 – Динамика изменения средних розничных цен на ягоды и фрукты

В рамках исследования был проведен опрос среди населения в возрасте от 18 до 50 лет, проживающих в городах Алматы, Астана, Москва. Сфера деятельности респондентов: 70 % – прочие специальности, как экономика и финансы, 23% – домохозяйства, 7% – рестораны и кулинария. Количество опрошенных человек 108.

Согласно результатам опроса:

- более 60% респондентов предпочитают употреблять малину, около 38%- клубнику;
- 74,16% опрошенных покупают фрукты на базарах;
- За один поход в магазин респонденты покупают от 1 до 5 кг ягод;
- Более 46% не замораживают ягоды дома;
- Более 40% респондентов покупают замороженные ягоды в зимнее время и употребляют в основном в пищу.

В таблице представлены данные о ценах на виды ягод в Алматы и Алматинской области на начало 2015 года [4].

Таблица 1 – Основные Компании на рынке

Вид ягод	Цена за кг., тенге	
	мин	макс
Ежемалина	1 500	2 200
Клубника	900	960
Красная смородина	700	1 400
Черная смородина	370	950
Малина	1 200	1 900

## Бизнес-модель

Бизнес-модель (рис. 2) в рамках данного исследования – организация эффективной системы хранения свежих и замороженных ягод для дальнейшей реализации в продуктовые центры, рестораны, кондитерские, расположенные в крупных городах Казахстана, а также на пищевые производства.

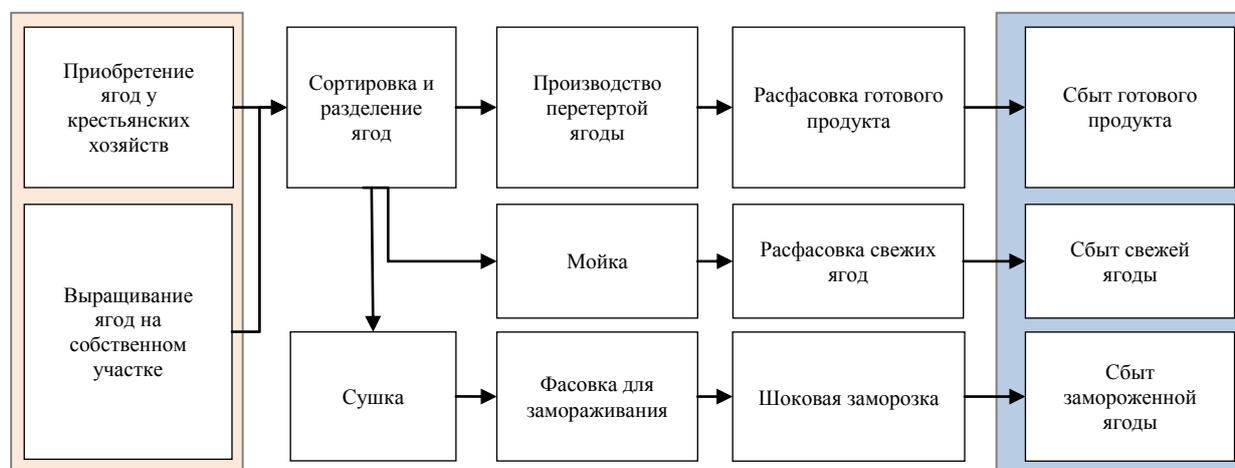


Рисунок 2 –Бизнес-модель

Необходимые финансовые затраты для реализации предложенной бизнес-модели: внеоборотные активы в виде холодильных камер для построения цеха по заморозке ягод и транспортное средство. Общая стоимость внеоборотных активов 32 млн. тенге (80 000 USD). Оборотные активы в виде саженцев малины, которые будут выращиваться на собственном участке площадью 0,5 га, а также ягоды, закупленные у крестьян на хранение и на последующую заморозку. Общая стоимость оборотных активов 13 млн. тенге (34 000 USD).

Для процесса заморозки ягод необходимо технологическое помещение и оборудование для цеха по заморозке:

1. Охлаждаемые камеры временного хранения;
2. Система очистки и аккумуляции воды для технологических нужд;
3. Моечное, сортировочное и упаковочное оборудование;
4. Камеры шоковой заморозки продукции;
5. Холодильные камеры длительного хранения;
6. Погрузочное и транспортное оборудование.

Характеристики технологического помещения

Площадь здания с учетом холодильной камеры:

$$F_{зд} = 12,5 \cdot 11 + 5 \cdot 7 = 172,5 \text{ м}^2.$$

Высота потолка: 2,5 м.

Площадь определена с соблюдением требований для пищевых предприятий. Для строительства здания предполагается использование быстровозводимых конструкций сэндвич-панели с теплоизоляцией 120 мм минеральной ваты.

Отапливаемая площадь здания – 60 м<sup>2</sup>. В помещение необходимо системы электроснабжения, канализации и вентиляции. Конструкция здания предусматривает откатные и технические двери. К зданию должно примыкать крытая грузовая платформа для приемки и отправки грузов.

В конструкции здания не заложены бытовые помещения для персонала, так как предполагается наличие отдельного здания с такими помещениями на прилегающей территории. На основе проведенного анализа рынка строительных материалов и строительных услуг стоимость инвестиций в здание 8,1 млн. тенге (21 250 USD).

Эскизный план цеха по заморозке ягод представлен на рисунке 2.

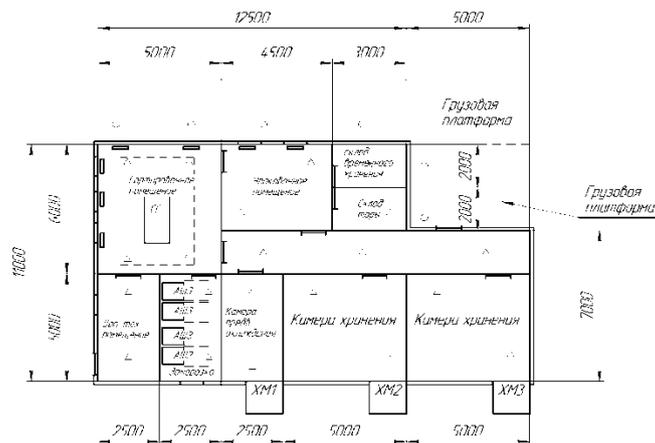


Рисунок 2 – Планировка цеха по заморозке ягод: СС – сортировочный конвейер; АШЗ – аппараты шоковой заморозки; ХМ1, ХМ2, ХМ3 – холодильные установки

Цех по заморозке ягод содержит следующие помещения:

1. Сортировочное помещение, где располагается оборудование для подготовки ягод к заморозке;
2. Упаковочное помещение, где проводятся операции по расфасовке ягод в тару;
3. Дополнительное техническое помещение – для размещения системы отопления и подачи воды;
4. Помещение для размещения аппаратов шоковой заморозки;
5. Склад временного хранения;
6. Склад тары – для хранения упаковочных материалов;
7. Камеру предварительного охлаждения и длительного хранения – для сохранения запаса замороженных ягод в течение года;
8. Тамбур – помещение перед входом в холодильные камеры;
9. Пристройки для размещения холодильных машин ХМ1, ХМ2 и ХМ3.

Технологическое оборудование

Холодильная камера временного хранения

Расчетная стоимость холодильной установки для камеры временного хранения составляет 660 тыс. тенге (1 729 USD). Здесь производится хранение ягоды до сортировки и заморозки. Срок хранения в камере – до 3 дней.

Для охлаждения камеры используется одноступенчатая парокомпрессионная холодильная машина с конденсатором воздушного охлаждения и воздухоохладителем. Потребляемая мощность холодильного агрегата: 1780 Вт.

Таблица 2 – Технические характеристики камеры временного хранения

Суточное поступление груза, кг	Начальная температура груза	Конечная температура груза	Электрическая мощность холодильного оборудования	Холодопроизводительность	Температура в камере
200	+30 °С	+2°С	2,46 кВт	5 342 Вт	+2 °С

Камера шоковой заморозки

Ягоду после прохождения этапа сортировки, мойки и сушки будет необходимо загружать в камеру шоковой заморозки. В таблицах 2 и 3 представлены технические характеристики оборудования для данной камеры и расчет её производительности.

Таблица 3 – Технические характеристики и производительность камеры шоковой заморозки

Оборудование	Количество замораживаемого продукта, кг				Потребление энергии, кВт·ч			Цена	
	одна загрузка	сутки	месяц	сезон	сутки	месяц	сезон	тыс. тенге	USD
Аппарат шоковой заморозки	25	100	2 500	8 500	32	960	3 520	1056	2 780

Таблица 4 – Расчёт производительности камеры в сутки

Продолжительность замораживания продукта, часов	Число загрузок камеры в сутки	Кол-во замороженного продукта в сутки, кг
3	4	100

Для целей реализации указанной бизнес-модели необходимы 4 аппарата шоковой заморозки с общей производительностью за сезон 30 000 кг и общей расчетной стоимостью 4,2 млн. тенге (11 120 USD).

Холодильная камера длительного хранения

Вместимость камеры длительного хранения – 15 000 кг ягод, в соответствии с техническими характеристиками, представленными в таблице 6. В таблице 5 представлены необходимые компоненты камеры длительного хранения, а также их стоимость. Для целей реализации модели необходимо 2 камеры. Основываясь на исследованиях рынка, общая сумма инвестиций составит 19 666 USD.

Таблица 5 – Основные компоненты камеры длительного хранения

Компоненты камеры	Цена за единицу,	
	тыс. тенге	USD
Сборная холодильная камера из сэндвич-панелей	1 550	4 078
Одноступенчатый однокомпрессорный холодильный агрегат на базе полугерметичного компрессора	944	2 485
Воздухоохладитель	293	770
Медные трубопроводы, монтаж, теплоизоляция, электрика	950	2 500
Итого	3 737	9 833

Таблица 6 – Технические характеристики камеры длительного хранения

Размеры камеры, м	Высота укладки ягод, м	Масса ягод, кг	Температура хранения, °C	Толщина теплоизоляции, мм	Теплоприток в камеру, кВт
5×5×2,5	2	15 000	-20	150	5,2

Холодильный транспорт

Кроме того, для успешного функционирования бизнес-модели необходим авторефрижератор, рыночная стоимость составит 3 650 тыс. тенге (9 600 USD). Указанный авторефрижератор может доставлять за один раз до 1 тонны груза, что является достаточной величиной для указанного объема производства.

Финансовые показатели эффективности бизнес-модели

Финансовые показатели были рассчитаны на основе детальных расчетов денежных потоков на трехлетний период в рамках разработанной бизнес-модели. Условный курс доллара США к тенге в рамках данного исследования составлял 400 тенге за 1 доллар США. Основные финансовые показатели в рамках предложенной бизнес-модели предложены в таблицах ниже.

Таблица 7 – Показатели деятельности бизнеса к 3 году функционирования

	тенге (KZT)	доллар (USD)
Объем продаж с нарастающим итогом	127 792 684	319 482
Чистая стоимость денежных потоков (NPV)	6 403 163	16 008
Чистая прибыль с нарастающим итогом	73 745 397	184 363

Таблица 8 – Инвестиционный анализ

	тенге (KZT)	доллар (USD)
Объем инвестиций	45 542 963	113 857
Ставка дисконта	16 %	н.п.
Простой срок окупаемости	2,08 лет	н.п.
Дисконтированный срок окупаемости	2,96 лет	н.п.
Стоимость создаваемого бизнеса (NPV)	6 403 163	16 008

Таблица 9 – Финансовый анализ

Рентабельность активов (отношение чистой прибыли к стоимости активов)	2,30
Прибыль на инвестированный капитал (ROI) в 2016 г.	50,3 %
Рентабельность собственного капитала	1,62
Прибыльность продаж	57,7 %

В рамках проведенного исследования была определена перспективность направления замораживания ягод и рассчитана бизнес-модель по частичному выращиванию, запуску и последующему долгосрочному хранению 30 тонн ягод малины в год.

Преимущества предложенной бизнес-модели состоят в:

- 1) организации круглогодичной оптовой поставки качественных замороженных ягод казахстанского производства в супермаркеты, кулинарии, рестораны и на продовольственные производства
- 2) развитию сельского хозяйства региона, путем минимизации рисков крестьян и генерирования прибыли;
- 3) возможности экспорта продукции в страны Восточной Европы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григоруку В.В., Климов Е.В. Развитие органического сельского хозяйства в мире и Казахстане. – Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, 2016. – 151 с.
2. Исследовано в Казахстане [Электронный ресурс] : Обзор рынка фруктов и бахчевых в Казахстане за 2014-2015 гг. – Режим доступа: [www.kazagro.kz](http://www.kazagro.kz).
3. Исследовано в Казахстане [Электронный ресурс] : Аналитический обзор рынка свежих плодов и овощей. – Режим доступа: [www.kazagro.kz](http://www.kazagro.kz).

УДК 669.14.018.41

### **ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И ДЕФОРМАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ**

*Цупка С.А., Вологжанина С.А., к.т.н.*

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Российская Федерация  
E-mail: sergey\_spb92@mail.ru*

Применение метастабильных аустенитных сталей (МАС), по сравнению с аустенитными, позволяет не только снизить стоимость изделий без ущерба их надежности, но даже получить лучшее сочетание механических свойств [1]. Сравнительно низкий предел текучести при комнатных температурах сочетается в таких сталях с достаточно высокими значениями пластичности и вязкости разрушения при криогенных температурах. Такие необычные свойства обусловлены протеканием в процессе пластической деформации деформационных мартенситных превращений (ДМП) и вызванной этими превращениями высокой способностью к деформационному упрочнению аустенита. Деформационное упрочнение аустенита, по мнению авторов [2–7], обусловлено процессами, приводящими к повышению общей плотности дислокаций, изменению характера их распределения, измельчению блоков мозаичной структуры и возникновению барьеров Ломера-Коттрелла. При низких значениях энергии дефектов упаковки дополнительное упрочнение достигается деформационным двойникованием и образованием дефектов упаковки. Высокие значения пластических характеристик и ударной вязкости при криогенных температурах обусловлены происходящим при низкотемпературной деформации мартенситным  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращением и связанным с ним эффектом «пластичности, наведенной превращением» (ПНП-эффектом).

Для получения аустенитной структуры химический состав исследованных сталей (см. табл. 1) подбирали с учетом диаграммы Шеффлера [8] и работ [9, 10]. Для сравнения исследовали сталь, дополнительно легированную с целью упрочнения азотом и ванадием. Известно, что марганец и хром повышают, а никель снижает растворимость азота в расплавах железа. Определено, что минимальная

концентрация марганца, обеспечивающая полное растворение в аустенитной матрице расчетного количества азота составляет 9 % при концентрации хрома 12 % и менее 7 % при увеличении концентрации хрома до 16,5 %. Концентрация марганца была выбрана на уровне 8 %, позволяющая обеспечить растворимость азота в матрице и создать благоприятные условия для образования мартенсита деформации. Необходимая концентрация хрома при этом составила 14,5-15,0 %, что позволило гарантировать коррозионную стойкость стали. Содержание никеля в стали при выбранной концентрации марганца и хрома в опытных плавках согласно данным работ [8, 10] составляет 8–9 %.

Таблица 1 -Химический состав исследуемых сталей

Плавка	C	Cr	Ni	Mn	N	Se	Ca	Ba
1	0,03	11,69	9,10	3,93	0,009	0,016	0,005	0,005
2	0,04	16,95	9,05	9,72	0,008	0,015	0,003	0,005

Для визуального выявления зон деформационных фазовых превращений использовали методику магнитного окрашивания для наблюдения феррита в двухфазных сталях [11, 12]. Предварительно отполированный образец покрывали «магнитной жидкостью» – коллоидным раствором  $Fe_3O_4$ . Взаимодействуя с магнитным полем шлифа, суспензия распределялась на его поверхности в виде тонкой (40–70 нм) пленки, толщина которой в каждой точке зависела от магнитной проницаемости материала. После высыхания раствора зерна ферромагнитной составляющей  $\alpha$ -Fe (феррита) покрывались более толстым слоем пленки, чем зерна  $\gamma$ -Fe (аустенита), который обладает значительно меньшей магнитной проницаемостью, чем феррит. Интерференция света на полученной пленке приводила к «окрашиванию» ферромагнитных участков в синий–фиолетовый цвета, а парамагнитных – в желтый – желто–коричневый. На рис. 1 и 2 представлены микроstructures разрывных образцов после разрушения из сталей плавки 1 и 2 после аустенитизации с 1323 К с охлаждением в воде.

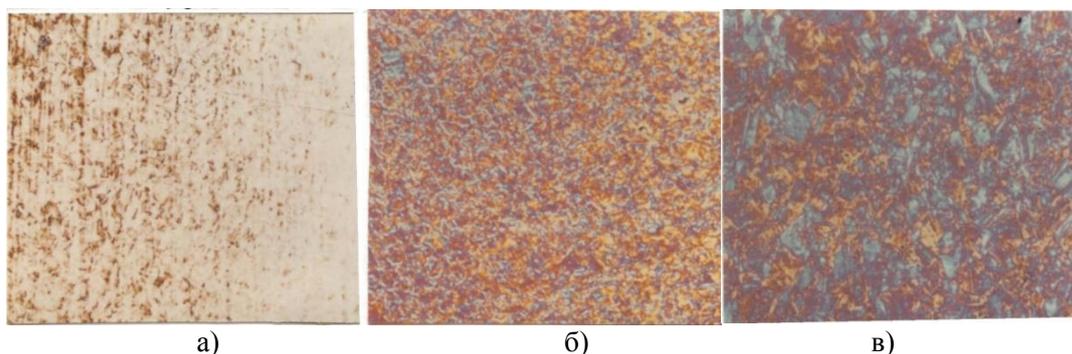


Рисунок 1 – Соотношение фаз  $\alpha$  и  $\gamma$  в зоне шейки плавки 1 после разрушения статическим растяжением при 293 К (а), 77 К (б) и 20 К (в);  $\alpha$ -фаза окрашена синим цветом

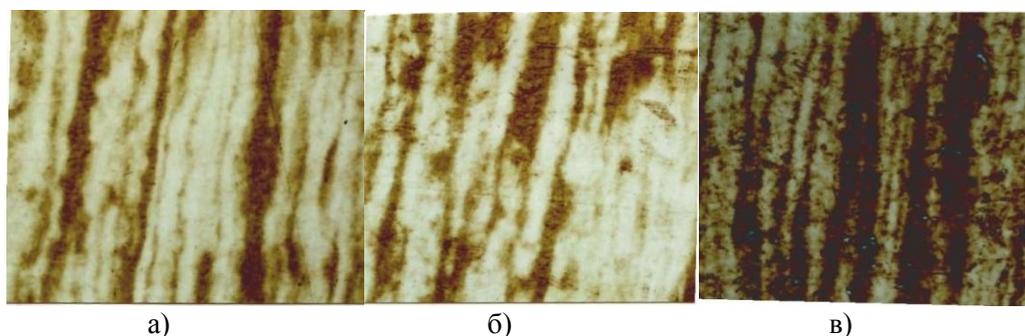


Рисунок 2 – Соотношение фаз  $\alpha$  и  $\gamma$  в зоне шейки плавки 2 после разрушения статическим растяжением при 293 К (а), 77 К (б) и 20 К (в);  $\alpha$ -фаза окрашена синим цветом

При 293 К имеет место желто-коричневое окрашивание микроstructures, что свидетельствует о том, что мартенситное превращение в обеих опытных сталях полностью подавлено. Дальнейшее понижение температуры по-разному влияет на интенсивность мартенситных превращений. В

структуре плавки 1, в составе которой азот и ванадий отсутствуют, при температуре 77 К начинается процесс деформационных мартенситных превращений.

При дальнейшем понижении температуры испытаний до 20 К процесс ДМП протекает еще более активно и на микрофотографии наблюдается большее количество мартенсита. В структуре плавки 2, в состав которой входит азот и ванадий, деформационное мартенситное превращение при 77 К и при 20 К почти полностью подавлено. На фотографиях (рис. 2, б, в) наблюдаются лишь отдельные мелкие вкрапления мартенсита. Это связано с тем, что при понижении температуры растет стабилизирующее влияние азота на аустенитную матрицу.

Структура боковой поверхности образцов плавки 1 (не содержащей азота) и 2 (содержащей азот) после статического изгиба при 20 К показана на рис. 3.



Рисунок 3 – Влияние химического состава на деформационные мартенситные превращения сталей плавки 1 (а) и б (б) после испытаний на статический изгиб при 20 К: синим цветом окрашена  $\alpha$ -фаза

Структура плавки 1 (рис. 3, а) приобрела значительно более заметное деформационное мартенситное превращение. Материал плавки 2 (рис. 3, б), содержащий 0,36 % азота разрушился полностью вязко. Даже в зоне полосчатой структуры деформированного аустенита не обнаружено мартенситного превращения.

Таким образом, можно отметить, что присутствие в твердом растворе азота дополнительно стабилизирует аустенитную матрицу. При этом в исследуемой стали практически отсутствует мартенситное превращение при понижении температуры испытаний вплоть до 20 К.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вологжанина С.А., Иголкин А.Ф., Цупка С.А., Беляев Н.С. К вопросу о выборе материалов для танков судов-газовозов // Хладостойкость, новые технологии для техники и конструкций Севера и Арктики: труды Всероссийской конференции с международным участием (Якутск, 29-30 сентября 2016г.) - 2016. - С. 237-241.
2. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов.- М.: Металлургия, 1977.- 490 с.
3. Маннинен А.И., Хорошайлов В.Г., Крахмалев В.И., Антропов Н.П. Субструктурное упрочнение метастабильных аустенитных сталей для криогенной техники //Прочность и разрушение сталей при низ. температурах. - М.: 1990.- С7 184-189.
4. Fang X.F., Dahl W. Strain Hardening and transformation mechanism of deformation-induced martensite transformation in metastable austenitic stainless steels //Mater Sci and Eng.-1991.-N 2.- P. 189-198.
5. Черник М.М., Скибина Л.В., Колыбаева Е.Л. Упрочнение Fe-Cr-Ni-сплавов а и и е мартенситом //Тез. докл. Всес.конф. по мартенситным превр. в тверд. теле.- Киев, 1991.- С. 142.
6. Schmidt W., Gebel W. Verformungsverhalten austenitischer Stahle //Draht.- 1990.- 41.N3.-P. 393-396.
7. Банных О. А., Блинов В. М. Дисперсионно-твердеющие немагнитные ванадийсодержащие стали. – М.: Наука, 1980. - 190 с.
8. Schaeffler A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal // Metal Progress/ - 1949/ - V/ 56/ - P. 680-686.
9. Солнцев Ю.П., Пирайнен В.Ю., Вологжанина С.А. Материаловедение специальных отраслей машиностроения. – СПб: Химиздат, 2007. – 784 с.
10. Титова Т.И., Шульган Н.А., Боровской А.С. и др. Анализ зависимости длительной прочности сварных соединений хромомолибденованадиевой стали от химического состава // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: Материалы 17-й Международной научно-практической конференции - 2015. - С. 77-84.
11. Gray R. J. Magnetic etching with ferrofluid //Metallographic Speciment Preparation.- 1974. - № 4.- P.155-162.
12. Богачев И.Н., Звигинцева Г.Е.- ФММ, 1976, т.41, вып. 1.- С. 75-82.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫПАРА ГРУЗА В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ СУДОВ ГАЗОВОЗОВ

*Чередниченко А.К., к.т.н.*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова Украина*

*E-mail: oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua*

Несмотря на развитие альтернативной энергетики, основным энергоносителем будет оставаться ископаемое углеводородное топливо. Трубопроводы останутся основным методом транспортировки природного газа, но к 2035 году почти половина этого энергоносителя будет транспортироваться в виде сжиженного природного газа (LNG) судами – газовозами. Показатели индустрии LNG за последние 20 лет показывают стабильный рост (табл. 1).

Таблица 1 – Рост показателей индустрии LNG за 20 лет [1]

Характеристики	1993	2003	2013
Количество заводов по сжижению природного газа	11	15	26
Количество приемных терминалов	31	46	104
Количество газовозов LNG	76	152	393
Количество стран импортеров	9	13	29
Импорт LNG (млн т)	61,0	125,2	236,9

Сжиженный природный газ транспортируется при атмосферном давлении и при температурах ниже точки кипения метана (-161,5°C). Это позволяет уменьшить объем перевозимого груза примерно в 600 раз. Наиболее крупными судами газовозами LNG являются 31 судно класса Q-flex и 14 судов класса Q-тах грузоместимостью 215 и 265 тыс. м<sup>3</sup> соответственно .

В качестве критерия оценки потерь испарившегося в процессе перевозки газа (BOG – Boil-Off Gas) принята величина скорости испарения груза (BOR – Boil Of Rate), которая определяется как процентное отношение потерь за сутки  $V_{BOG}$  к общему объему перевозимого груза  $V_{LNG}$

$$BOR = \frac{V_{BOG}}{V_{LNG}},$$

где BOR – %/сут.

По данным [2] для современных газовозов в грузовом рейсе BOR = 0,1–0,15 %, в балластном рейсе 0,06–0,1 %, в зависимости от конструктивной схемы и поколения судна.

В настоящее время энергетические установки газовозов составляют две основные группы:

- с обработкой испаряющегося груза в установке повторного сжижения;

– с использованием испарившегося груза в качестве топлива в энергетической установке.

Представляет интерес анализ эффективности использованием испарившегося груза в качестве топлива в существующих и перспективных энергетических установках судов газовозов.

Комплексное решение научно-прикладной проблемы повышения эффективности и экологичности энергетических установок судов газовозов на базе рационального использования естественного выпара груза в энергетической установке, требует анализа существующих схемных решений судовых энергетических установок, разработки перспективных схем, а также исследования путем математического и экспериментального моделирования процессов в подсистемах и элементах оборудования.

В процессе исследования взаимосвязей элементов судового энергетического комплекса методами системного анализа может быть рассмотрено четыре иерархических уровня: комплекс в целом, подсистемы комплекса, группа оборудования подсистем, оборудование входящие в группы. Применение современных объектно-ориентированных подходов к проектированию сложных технических систем [3,4] при совмещении принципов стратегии функциональной декомпозиции с инкапсуляцией подсистем, позволяет представить судовую энергетическую установку в виде системы из трех функционально взаимосвязанных подсистем (рис.1).



Рисунок 1 – Общая структура ЭУ газозова

Связь между элементами подсистем осуществляется потоками энергоносителей (теплоносителей и рабочих тел циклов), посредством которых осуществляются процессы энергетического взаимодействия между подсистемами и в целом, в судовой энергетической установке.

Анализ состава и характеристик существующих и перспективных энергетических установок газозовов LNG позволил выявить выделить следующие основные типы энергетических комплексов на базе двухтопливных (DF - dual-fuel) малооборотных (МОД) и среднеоборотных (СОД) ДВС, двухтопливных паротурбинных и газотурбинных установок:

- DFDM (low-speed diesel mechanical propulsion) - пропульсивная установка с МОД и прямой передачей мощности на винт;
- DFSM (steam turbine mechanical propulsion) - паротурбинная пропульсивная установка;
- DFDE (medium-speed diesel electric propulsion) - дизель-электрическая пропульсивная установка;
- DFGE (gas turbine electric propulsion) - газотурбоэлектрическая пропульсивная установка;
- DFCOGES (combined gas and steam turbines electric propulsion) – комбинированная газопаротурбоэлектрическая пропульсивная установка;
- DFCODMDE (combined low-speed diesel mechanical and diesel electric propulsion) – комбинированная пропульсивная установка с МОД и прямой передачей мощности на винт совместно с дизель-электрической пропульсивной установкой;
- DFCODMGE (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion) – комбинированная пропульсивная установка с МОД и прямой передачей мощности на винт совместно с газотурбоэлектрической пропульсивной установкой;
- DFCODMSE (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion) – комбинированная пропульсивная установка с МОД и прямой передачей мощности на винт совместно с паротурбоэлектрической пропульсивной установкой;
- DFCODMCOGES (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion) – комбинированная пропульсивная установка с МОД и прямой передачей мощности на винт совместно с газопаротурбоэлектрической пропульсивной установкой.

Кроме того, перспективными являются и трехтопливные (TF – triple fuel) установки TFDE. В установках такого типа предусматривается использование тяжелого (HFO), легкого (MDO, MGO) и газообразного топлива, что обеспечивает эксплуатационную гибкость с возможностью оптимизации нагрузки энергетической установки на различных скоростях движения судна.

Методами математического моделирования были проанализированы характеристики энергетических установок разного состава для судов газозовов. При моделировании учитывались энергетические затраты, связанные с компримированием BOG при подаче в двигатель. Так при работе двухтопливных МОД, около 3-5% приходится на так называемое «пилотное» топливо, которым является жидкое дизельное топливо. Газообразное топливо (метан) подается в двигатель под давлением 300 бар [5], при этом затраты мощности на привод компрессорной установки газообразного топлива составляют 2,8-3,0% мощности двигателя. Данные подходы позволили реализовать блочную схему для отдельного моделирования процессов в элементах комбинированной энергетической установки (рис. 2).

Углубленный анализ взаимосвязей термодинамических параметров газотурбинной установки с термохимической регенерации теплоты и характеристик ДВС, который работает на продуктах конверсии BOG, базируется на положениях, предложенных автором в работах [6-8]. При моделировании процессов в утилизационных металлгидридных установках непрерывного действия применялись методики и алгоритмы, сформулированные в [9-11].

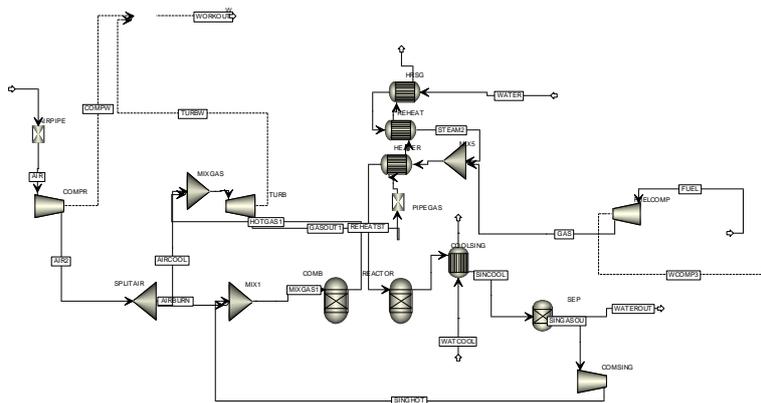


Рисунок 2 – Упрощенная схема расчетной модели энергокомплекса на базе газотурбинного двигателя с термохимической регенерацией тепла отходящих газов (Aspen Plus)

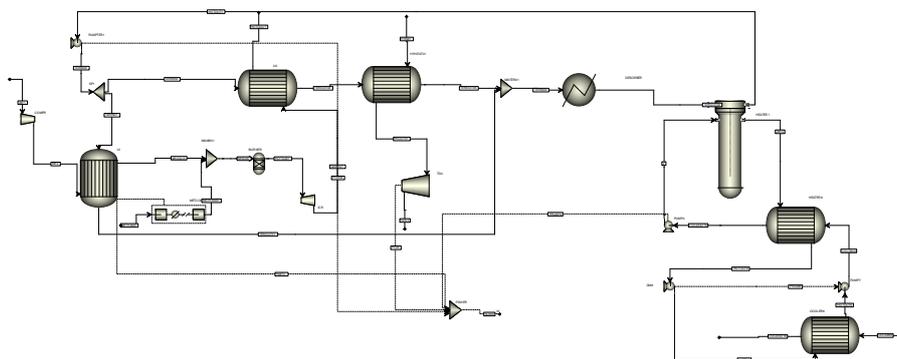


Рисунок 3 – Фрагмент расчетной модели утилизационной металлгидридной установки (Aspen Plus)

В результате анализа характеристик существующих и альтернативных схем судовых энергокомплексов выявлено, что на судах-газовозах использование газа естественного выпара груза как топлива энергетической установки рационально осуществлять для двух функциональных схем:

- комбинированной дизель-газотурбинной установки с термохимической регенерацией вторичных энергоресурсов судовой энергетической установки;
- пропульсивной установки с МОД и утилизационной металлгидридной установкой.

Проведенные научные исследования позволили выявить следующее:

1. Применение на судах газовозах термохимической регенерации естественного выпара груза за счет вторичных энергоресурсов в комбинированной энергетической установке повышает эффективность на 4-5% за счет рационального использования температурного потенциала вторичных энергоресурсов
2. Применение на судах газовозах с двухтопливным малооборотным дизельным двигателем утилизации вторичных энергоресурсов в металлгидридной установке повышает эффективность на 6-10%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. LNG SHIPPING AT 50. A COMMEMORATIVE SIGTTO/GIIGNL PUBLICATION. OCTOBER, 2014.
2. Głomski, P. Problems with Determination of Evaporation Rate and Properties of Boil-off Gas on Board LNG Carriers [Текст] / P. Głomski and R. Michalski // Journal of Polish Cimac, Energetic aspects, Vol. 6, No. 1, Gdańsk 2011. – pp. 133–140
1. Gaspar H. M., Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design [Текст] / H. M. Gaspar, A. Ross, D.H. Rhodes, S. Erikstad// Int'l Maritime Design Conference - Glasgow, UK, June 2012 - p. 150-160.
3. Erikstad, S.O., A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels [Текст]/ S.O Erikstad, S. Solem, K. Fagerholt// Ship Technology Research, vol 58, no 3, september 2011, pp 132-141.
4. LNG Carriers with ME-GI Engine and – High Pressure Gas Supply System. MAN Diesel & Turbo. 2013.
5. Чередниченко А.К. Моделирование энергокомплексов с термохимической регенерацией тепла для судов-газовозов [Текст] / А. К. Чередниченко //Вестник двигателестроения. – 2016. – №2. – С. 36–41.

6. Чередниченко А.К. Оценка эффективности термохимической регенерации тепла в дизель-газотурбинной энергетической установке / А.К. Чередниченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. №2(11), 2014 р. - Херсон, ХДМА. - 2014.-С. 89-96.

7. Чередниченко А.К. Повышение эффективности комбинированной энергетической установки термохимической регенерацией тепла/А.К. Чередниченко, М.Р. Ткач // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 7(124) – С. 94-99.

8. Ткач М. Р. Утилизация низкопотенциального тепла ДВС 9G80 ME металлогидридной установкой непрерывного действия [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С. М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Двигатели внутреннего сгорания. - 2014. - № 1. - С. 35-41.

9. Ткач М. Р. Удельная мощность металлогидридных утилизационных установок непрерывного действия [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С. М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 10(127) – С. 106-110.

10. Ткач М. Р. Утилизация тепла вторичных энергоресурсов малооборотных двигателей стационарных электростанций металлогидридными установками непрерывного действия [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С. М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Двигатели внутреннего сгорания. - 2016. - № 2. - С. 31-35.

УДК 621.515

## **РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА СМЕШАННОГО ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ ЗАВОДОВ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

*Юн В.К., д.т.н., Фафинов М.А., Максимова Е.И.*

*Акционерное общество «РЭП Холдинг», г. Санкт-Петербург Россия*

*E-mail: v.yun@reph.ru, m.fafinov@reph.ru, ek.maksimova@reph.ru*

Согласно «Перечню наиболее важных видов продукции для импортозамещения и локализации производств с целью технологического развития ПАО «Газпром», утвержденных председателем Правления от 24.03.2015г., особое место занимает производство сжиженного природного газа (СПГ). Это новое направление стратегического развития технологических процессов и производств СПГ, которое должно осуществиться в ближайшие годы в ПАО «Газпром», оно содержит практически все критические технологии и товарные группы: 1) криогенный теплообменник; 2) насосно-компрессорное оборудование; 3) газовые турбины большой мощности; 4) оборудование для хранения и налива СПГ. Факторами критичности являются ограничения и условия, накладываемые иностранными проектировщиками заводов СПГ, владеющими технологиями получения СПГ. В настоящее время, по данным ООО «Газпром ВНИИГАЗ», существуют и успешно эксплуатируются заводы СПГ по нескольким разработанным технологиям: а) SMR – цикл со смешанным хладагентом (СХА); б) СЗMR – процесс с предварительным пропановым охлаждением и основным циклом СХА; в) AP-X – технологический процесс СЗMR, при котором СПГ переохлаждается не смешанным хладагентом, а простой и эффективной системой азотного детандера; г) DMR – процесс с предварительным двухуровневым циклом на первом СХА и основным детандерно-дроссельным циклом на втором СХА; д) MFC – процесс с предварительным двухуровневым циклом на первом СХА и двумя дрессельными циклами на СХА. Вышеуказанные технологии представлены на рисунке 1.

АО «РЭПХ» — российский энергомашиностроительный холдинг, основан в 2004 году, входит в структуру промышленных активов Банка ГПБ (АО). Группа промышленных, научно-производственных и сервисных компаний с общей численностью сотрудников 2000 человек. Осуществляет инжиниринговые разработки, изготовление и комплексные поставки энергетического и электротехнического оборудования для газовой, нефтяной, металлургической и химической промышленности, для энергетики и электросетевого комплекса. Поставляемое оборудование применяется для модернизации газотранспортной системы, при строительстве современных энергоблоков и электростанций, в нефтегазовой, металлургической и химической промышленности, в энергетике, на рынке сервисных услуг, в малой генерации и ряде других отраслей. В состав Холдинга входят такие крупные предприятия Петербурга как «Невский Завод» и «Завод ЭЛЕКТРОПУЛЬТ», а также собственный проектный «Институт энергетического машиностроения и электротехники». На предприятиях проведена глобальная реконструкция: построены новые производственные цеха, внедрены современные технологии, приобретены уникальные станки.

АО «РЭПХ» участвует в поставке турбокомпрессорного оборудования для завода СПГ «Высоцк», который разрабатывается по технологии SMR – цикл со смешанным хладагентом.

Основное турбокомпрессорное оборудование составляет газовая турбина Т25 поставки АО «РЭПХ» и центробежный компрессор (ЦК) К905-71-1С. Двухвальная газовая турбина Т25 является полностью интегрированным и самостоятельным приводом, основные параметры представлены в таблице 1. Центробежный компрессор К905-71-1С представляет собой двухсекционный однокорпусной компрессор, содержащий 4 ступени сжатия в первой секции и 3 ступени сжатия во второй секции, основные параметры представлены в таблице 2.

Известно, что течения газа в проточной части центробежном компрессоре (ЦК) являются турбулентными, теоретический анализ таких потоков сложен, а в ряде случаев невозможен, так как в настоящее время отсутствует замкнутая система уравнений описывающих пространственное турбулентные течения. В более простых случаях для замыкания систем, описывающих турбулентные течения приходится использовать эмпирические соотношения, полученные при эксперименте. Расчёт проточной части ЦК подчиняется определенной логической последовательности, заключающейся в выборе принципиальной аэродинамической схемы и основных размеров. Перед выбором принципиальной схемы следует определиться с начальными условиями, с такими как массовая или объемная производительность, начальное и конечное давления, начальная температура, состав и свойства газа, желательный тип привода, требования к регулированию и т.д.

Проточная часть ЦК состоит из элементов, включающих всасывающую камеру, рабочие колеса, диффузоры, обратные направляющие аппараты и выходное устройство. Каждый из этих элементов имеет определенный коэффициент потерь  $\zeta$ , который уменьшает эффективность всей проточной части  $\eta_{пол}$ , исходя из предложенных в [1, 2] зависимостей коэффициентов потерь в каждом из вышеперечисленных элементов, можно представить политропный коэффициент полезного действия (КПД) в виде:

$$\eta_{пол} = \frac{1}{(1 + \beta_{мп}) \cdot (1 + \beta_{пр})} - \frac{\zeta_{н-0} \cdot \varphi_0^2}{2 \cdot \chi_2} - \frac{\zeta_{0-2} \cdot \bar{w}_1^{-2}}{2 \cdot \chi_2} - \left( \zeta_{2-4} + \zeta_{4-0} \bar{c}_4^{-2} + \frac{\zeta_{4-\kappa}}{\kappa_0^2} \right) \frac{\varphi_{r2}^2 + \varphi_{u2}^2}{2 \cdot \chi_2}, \quad (1)$$

где  $\zeta_{н-0}$ ,  $\zeta_{0-2}$ ,  $\zeta_{2-4}$ ,  $\zeta_{4-0}$  и  $\zeta_{4-\kappa}$  - коэффициенты потерь всасывающей камеры, колеса, диффузора, обратно-направляющего аппарата и выходного устройства  $\beta_{мп}$ ,  $\beta_{пр}$  - относительные коэффициенты, учитывающие потери на трение и протечки;  $\varphi_0$ ,  $\varphi_{r2}$  - коэффициенты расхода в контрольных сечениях на входе в рабочее колесо и на выходе из рабочего колеса;  $\varphi_{u2}$  - коэффициент теоретической работы;  $\chi_2$  - коэффициент мощности;  $\bar{w}_1$  - безразмерная величина относительной скорости на входе лопаток рабочего колеса;  $\bar{c}_4$  - безразмерная величина абсолютной скорости на выходе из диффузора;  $\kappa_0$  - коэффициент диффузорности.

Общем случае эти коэффициенты могут быть вычислены с помощью программ для расчёта течения газа и численных методов решения газовой динамики [1, 3], а также с помощью приближенных методик и эмпирических формул [2, 4], относящихся, как правило, к случаю малых чисел Маха и больших чисел Рейнольдса. Кинематические параметры – отношения скоростей  $\varphi_0 = c_0 / u_2$  и  $\bar{w}_1 = w_1 / u_2$ , коэффициент диффузорности  $\kappa_0 = c_2 / c_4$  при расчётном режиме, совпадающем с режимом максимального КПД, можно связать с геометрическими параметрами ступени и коэффициентом расхода  $\varphi_{r2}$ .

Проточные части первых отечественных ЦК были малоэффективными и имели относительно невысокий политропный КПД  $\eta_{пол}$ , на уровне 0,6 – 0,7. С развитием турбокомпрессоростроения в стране, стали появляться исследовательские центры и лаборатории газодинамики и прочности ЦК. На тот момент не ясным был вопрос о применимости классических методов газовой динамики используемых теорий газодинамических решеток и пограничного слоя для лопаточных систем центробежных ступеней, имеющих чрезвычайно малые удлинения лопаток. Для решения этого вопроса необходимо было получить такие экспериментальные данные, которые можно было бы сопоставлять с результатами теоретических расчетов. Исследования рабочих колёс и ступеней проводятся на экспериментальном стенде, специально изготовленного для этих целей и представленного на рисунке 2.

Проводившиеся на НЗЛ исследования, с целью выявления и устранения дополнительных потерь во всасывающей камере показали, что наибольшие потери возникают при резком повороте

потока от входного патрубка до входа в рабочее колесо. Введение разделительного ребра на входе во всасывающую камеру позволило устранить закрутку и неравномерность потока на входе в ступень. Исследования показали, что наименьшие потери во всасывающей камере возникают при плавном изменении направления потока и зависят от радиуса закругления внутренней стенки на выпуклой стороне. Получены значения наименьших потерь до  $\zeta=0,15$ . На рисунке 3 представлены результаты исследования различных типов всасывающих устройств. Обычные конструкции всасывающих камер имеют значения коэффициентов потерь порядка  $\zeta=0,35 - 0,4$ . В конструкции ЦК К905-71-1С смешанного хладагента используются всасывающие камеры по типу №1, результаты которых показывают небольшие значения коэффициентов потерь  $\zeta=0,1 - 0,15$ . Численные исследования при помощи современных вычислительных программ были выполнены Санкт-Петербургским Государственным Политехническим Университетом (СПбГПУ) кафедрой компрессорной, вакуумной и холодильной техники (КВХТ) [4].

Рабочее колесо является единственным элементом ступени, в котором происходит увеличение энергии газового потока – механическая энергия привода затрачивается на увеличение потенциальной и кинетической энергии газа и преодоление сопротивления течению. Результаты исследовательских работ по рабочим колёсам показали, что максимальное значение внутреннего КПД достигается уровня 0,93 - 0,96. Разработка ряда ступеней на базе высокоэффективных рабочих колёс позволяет спроектировать проточные части ЦК с политропным КПД не менее 0,85. Объектом исследования являлась двухзвенная ступень, состоящая из входного патрубка с обтекателем, осерадиальным рабочим колесом (РК - 1 звено) закрытого типа и лопаточным диффузором (ЛД - 2 звено), представленная на рисунке 4. Для проведения оптимизации и определения необходимых геометрических размеров проточной части и критериев эффективности была проведена верификация результатов CFD расчета базового варианта на основе экспериментальных данных с выбором модели турбулентности. Разработана методика проведения автоматической оптимизации контура покрывного диска, ширины канала лопаточного диффузора и числа лопаток элементов проточной части ЦК на основе метода вычислительной газодинамики. Расчет проводился при помощи метода осреднения уравнений Навье-Стокса RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) в моделях турбулентности: Spalart-Allmaras (SA), RNG k- $\epsilon$ , Shear Stress Transport (SST). Результаты верификации приведены на рисунке 5. Все модели турбулентности показали хорошее совпадение с экспериментом, инженерная погрешность в зоне оптимального расчетного режима не превышает 5%.

Конструкция диффузора практически не оказывает влияния на мощность, потребляемую ступенью и её теоретический напор  $h$ . Однако тип диффузора существенно влияет на КПД ступени и протяженность её зоны устойчивой работы. Впервые на НЗЛ, исследования, посвященные безлопаточным диффузорам (БЛД), были выполнены Г. Н. Деном. Удалось вскрыть причину более низких КПД в ступенях с БЛД и большей крутизны напорной характеристики при наличии ЛД. Исследования течения и потерь в ЛД и БЛД показали, что численные значения коэффициентов потерь диффузора  $\zeta_{3-4}$  на оптимальном режиме практически одинаковы [1, 5], однако БЛД с приемлемыми по конструктивным соображениям радиальными габаритами ( $D_4/D_2 = 1,6 \div 1,7$ ) имеет значительно более низкий коэффициент диффузорности  $k_d$ , характеризующий уменьшение средней скорости газа в диффузоре, чем ЛД меньших радиальных габаритов.

Обратные направляющие аппараты (ОНА) располагаются за диффузорами, следовательно скорости потока перед ОНА невелики, в 1,5  $\div$  2,5 раза меньше, чем перед диффузором. Хотя скорости потока перед ОНА действительно невелики, коэффициенты потерь ОНА оказываются высокими, их значения достигают 0,6  $\div$  0,9 и в 4  $\div$  6 раз превосходят коэффициенты потерь диффузоров. Поэтому потери энергии в ОНА соизмеримы с потерями в диффузорах или рабочих колёсах. Высокий уровень коэффициентов потерь ОНА свидетельствует о том, что именно в нём скрыты резервы повышения КПД ступеней. Одним из последних исследований в ОНА, проводившиеся в СПбГПУ на кафедре КВХТ [6], подтверждаются справедливые высказывания и предположения НЗЛ. Последней модификацией выходного устройства, обеспечивающей уменьшение трудоёмкости изготовления и меньшую массу корпуса ЦК смешанного хладагента при некотором повышении КПД проточной части, является спиральная камера, представленная на рисунке 6 с результатами численного исследования.

Таким образом, исследования аэродинамики элементов проточной части ЦК позволяют качественно представить себе картину течения газа и количественно оценить эффективность и соответственно КПД ступени.

По результатам расчётов и численных исследований проточной части ЦК смешанного хладагента, необходимо использовать осерадиальные рабочие колёса с 3D лопатками.

Исследовательские работы по совершенствованию проточных частей ЦК на предприятии АО «РЭПХ» продолжались в направлении создания высокоэффективных осерадиальных РК с 3D-лопатками [7]. Для решения этого вопроса был приобретен новый пятикоординатный станок, позволяющий изготавливать рабочие колеса цельнофрезерованным способом, позволяющий обходиться без традиционных методов сварки и клепки, представленный на рисунке 7. Применение осерадиальных колес с 3D-лопатками для ЦК с высокооборотными газовой турбиной Т25 с частотой вращения ротора силовой турбиной  $n_{ст}=6300$  об/мин является приоритетным.

Следует отметить, что важным процессом при поставке качественного оборудования является испытание готовой продукции. Для испытания компрессора целесообразно будет построить специальный стенд на замкнутом контуре и с модельным газом, для того чтобы проверить газодинамические и механические характеристики. Однако, возможно и испытание компрессора на атмосферном воздухе, при этом следует учесть высокую температуру на выходе из первой секции и высокие окружные скорости рабочих колес, поэтому предполагается испытывать на частотах вращения отличающихся от эквивалентных частотах вращения. После подтверждения параметров ЦБК на стенде-предприятия турбокомпрессорный агрегат мощностью 22 МВт будет поставлен на место эксплуатации.

При испытании ЦК смешанного хладагента, вследствие отсутствия полного подобия процессов сжатия, могут быть отклонения газодинамических характеристик, получаемых на стенде-предприятия на открытом воздухе и на месте эксплуатации при рабочих давлениях газа. Как показывает опыт испытаний отдельных модельных ступеней и натуральных многоступенчатых проточных частей, составленных из геометрически подобных ступеней, всегда имеются отклонения от кинематических и динамических критериев подобий. Учет влияния критериев подобий на газодинамические характеристики проточных частей представлен в международных стандартах [8], однако нет объяснений тому, что насколько точно они отражают действительную картину течения газа на режимах максимальной пропускной способности и предпомпажного состояния. Доказано, что на этих режимах преимущественно преобладает вращающийся срыв, либо в каналах рабочих колёс, либо в каналах статорных элементов, при этом пульсации давлений и неравномерности скоростей достигают больших значений, соизмеримых с их средними значениями. Следовательно, кинематическое подобие треугольников скоростей и соответственно, коэффициентов расхода и напора на этих режимах нарушается.

Известно что, основными критериями при испытании проточных частей центробежных компрессоров являются критерии подобия, соблюдение которых в той или иной степени приближенности может оказать влияние на конечный результат получаемых при испытаниях и пересчётах газодинамических и кинематических характеристик – напор  $h$ , расход  $Q$ , политропический коэффициент полезного действия  $\eta_{пол}$  и эквивалентная частота вращения ротора пэkv. Если на номинальном (расчётном) режиме, соответствующему оптимальному политропному КПД, для многоступенчатых проточных частей (более 3-х ступеней сжатия) методика пересчёта характеристик на сходственных режимах справедлива и не дает больших отклонений от полученных в реальных условиях параметров, то на режимах не соответствующему оптимальному наблюдаются несоответствия с экспериментальными данными. Испытания двухсекционного ЦК смешанного хладагента на стенде-предприятия проводятся по-секционно, чтобы не нарушать критериев подобий при приближенном моделировании.

Таким образом, «РЭП Холдинг» активно участвует в стратегическом плане ПАО «Газпром» по созданию и запуску заводов СПГ. Важно отметить, что в направлении развития СПГ опыт, который будет получен при поставке отечественного турбокомпрессорного оборудования будет использоваться при дальнейших поставках аналогичного оборудования.

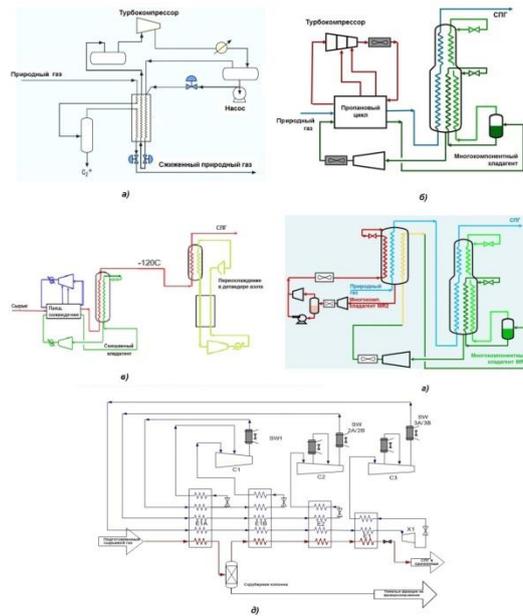


Рисунок 1 – Технологические схемы различных способов получения сжиженного природного газа: а) SMR – цикл со смешанным хладагентом (СХА); б) С3MR – процесс с предварительным пропановым охлаждением и основным циклом СХА; в) AP-X – технологический процесс С3MR, при котором СПГ переохлаждается не смешанным хладагентом, а простой и эффективной системой азотного детандера; г) DMR – процесс с предварительным двухуровневым циклом на первом СХА и основным детандерно-дрессельным циклом на втором СХА; д) MFC – процесс с предварительным двухуровневым циклом на первом СХА и двумя дрессельными циклами на СХА



Рисунок 2 – Экспериментальный стенд для испытаний модельных рабочих колес и ступеней

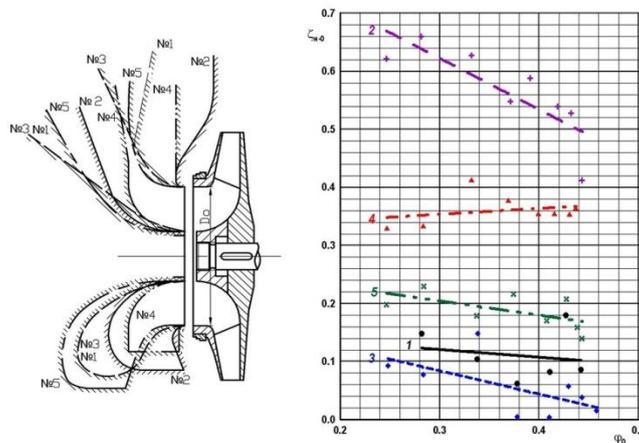


Рисунок 3 – Варианты исполнения всасывающих устройств и их результаты исследований.

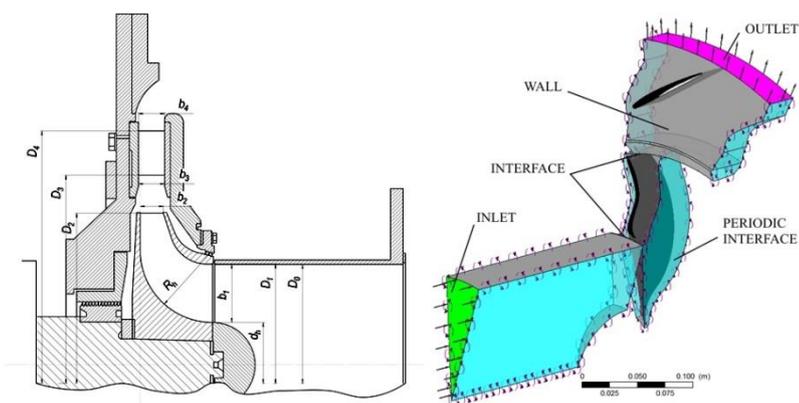


Рисунок 4 – Схема объекта исследования и расчетная модель с расположением граничных условий.

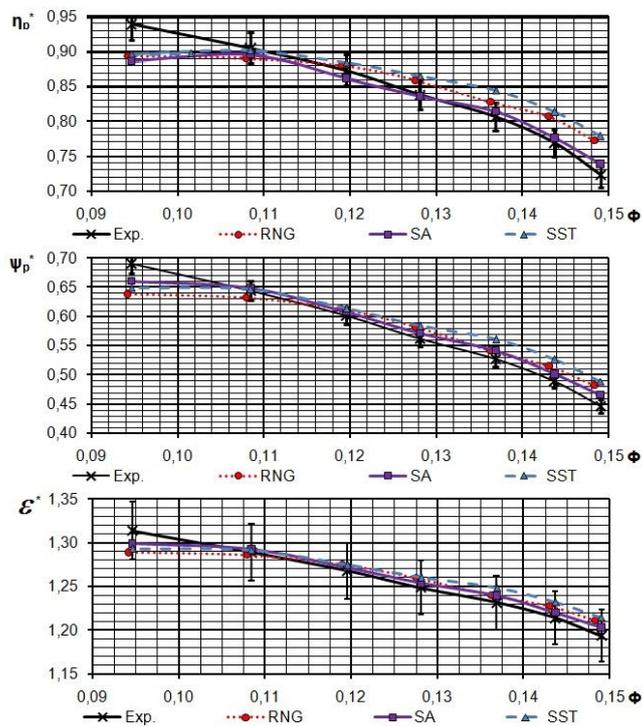


Рисунок 5 – Результаты верификации по 3 моделям турбулентности на выходе из рабочего колеса.

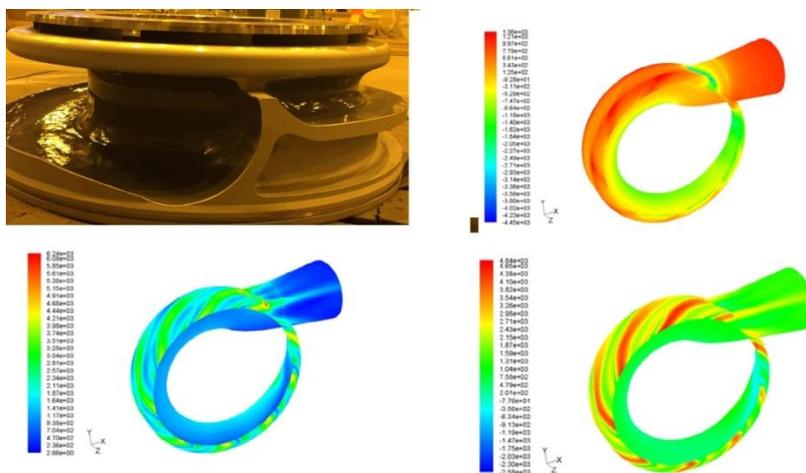


Рисунок 6 – Спиральная камера и её результаты численного исследования



Рисунок 7 – Изготовление цельнофрезерованного осерадиального рабочего колеса с 3D лопатками на пятикоординатном станке.

Таблица 1 – Основные характеристики газовой турбины T25.

Наименование параметров	Значение
Мощность на муфте привода номинальная, МВт	21,87
Эффективный КПД ГТУ при работе на номинальной мощности, %	39,1
Частота вращения силовой турбины номинальная, об/мин	6300
Экологические характеристики, ppm	
NOx	15
CO	25
CnHm	10

Таблица 2 – Основные параметры центробежного компрессора K905-71-1C

Наименование параметров	Значение
Давление на входе 1-ой секции, бар (а)	3,0
Температура на входе 1-ой секции, °С	33,0
Давление на выходе 1-ой секции, бар (а)	18,2
Давление на входе 2-ой секции, бар (а)	17,7
Температура на входе 2-ой секции, °С	35,0
Давление на выходе 2-ой секции, бар (а)	51,0
Объемная производительность 1-ой секции, приведенная к температуре 0°С и давлению 1,013 бар (абс) нм3/час	147000
Объемный расход на входе 1-ой секции, м <sup>3</sup> /ч	54146
Объемная производительность 2-ой секции, приведенная к температуре 0°С и давлению 1,013 бар (абс), нм3/час	134492
Объемный расход на входе 2-ой секции, м <sup>3</sup> /ч	8077
Потребляемая мощность на валу компрессора в гарантированной точке, кВт	17230

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ден Г.Н. Механика потока в центробежных компрессорах. Л., «Машиностроение», 1973.- 272 с.
2. Рис. В.Ф. Центробежные компрессорные машины. М.-Л., «Машиностроение». 1981.- 351 с.
3. A M Danilishin, Y V Kozhukov, V K Yun. Multi-objective optimization for impeller shroud contour, the width of vane diffuser and the number of blades of the centrifugal compressor stage based on the CFD calculation// 9th International conference on compressors and their systems 2015.
4. Кожухов Ю.В., Юн В.К., Гилева Л.В., Лебедев А.А. Численное моделирование течения в радиальных входных устройствах центробежного компрессора с валидацией результатов расчета и оценкой влияния количества дефлекторов // Компрессорная техника и пневматика Вып. №3 2016. -С. 18-23.
5. Тилевич И.А. Исследование лопаточных диффузоров центробежных компрессорных машин. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Л., ЦКТИ им. И.И. Ползунова, 1969.- 19с.
6. Коршунов А.В. Метод профилирования лопаток обратноподводящего аппарата центробежного компрессора с применением сплайн функций. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. СПб., СПбГПУ, 2009.- 16 с.
7. В.К. Юн, А.С. Рейдер. Применение осерадиальных рабочих колес с пространственными лопатками в центробежных компрессорах в составе газоперекачивающих агрегатов с высокоскоростными газотурбинными двигателями мощностью 32, 25 и 16МВт // Газотурбинные технологии, Вып. декабрь №8. 2015.-С. 18 – 20. Turbocompressors. Performance test code.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАСЛОСИСТЕМЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МАСЛОЗАПОЛНЕННОГО ВИНТОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕССОРА

*Юша В.Л.<sup>1</sup>, д-р.техн. наук., Чернов Г.И.<sup>1</sup>, канд. техн. наук., Васильев В.К.<sup>1</sup>, д-р. техн. наук.,  
Панютнич А.А.<sup>2</sup>*

*Омский государственный технический университет, «НТК «Криогенная техника» г.Омск, Россия  
E-mail: yusha@omgtu.ru, gi\_chernov2002@mail.ru,*

Винтовые холодильные маслозаполненные компрессоры нашли широкое применение, при этом в процессе эксплуатации часто имеет место изменение как отдельных режимных параметров (производительность, давления всасывания и нагнетания, температуры кипения и конденсации, холодопроизводительность), так и их различных сочетаний [1–6 и др.]. Иногда имеет место быстротечное изменение режимных параметров, например, на пусковых режимах [6]. Реализуемый в том или ином случае способ регулирования винтового компрессора определяет не только экономичность его работы, но и надёжность конструкции, её ремонтпригодность, массогабаритные характеристики, себестоимость компрессора и компрессорной установки в целом. В настоящее время в низкотемпературной технике всё более широкое применение получает способ регулирования винтовых компрессоров путём плавного изменения частоты вращения роторов, или так называемое частотное регулирование.

В этой связи необходимо отметить, что частотное регулирование холодопроизводительности в большинстве случаев сопровождается принудительной подачей масла под давлением. При этом количество подаваемого в компрессор масла определяется фиксированными геометрическими размерами элементов проточной части маслосистемы и разностью между величинами давлений конденсации и кипения, которые не зависят от частоты вращения роторов компрессора. С целью определения возможности и целесообразности обеспечения снижения энергозатрат в холодильных установках в данной статье исследуется рабочий процесс винтового маслозаполненного компрессора на режимах частотного регулирования в части взаимосвязи режимов работы компрессора и его маслосистемы.

Расчётно-теоретические исследования проводились с использованием математической модели рабочего процесса винтового маслозаполненного компрессора и имели своей целью определение его мощности, КПД, производительности, коэффициента подачи и других характеристик при работе на различных режимах (частота вращения, количество подаваемого масла). Анализ существующих на сегодняшний день методик расчёта рабочих процессов винтовых маслозаполненных компрессоров [7–10] позволил разработать методику, учитывающую взаимосвязь работы компрессорной ступени и её маслосистемы.

Рабочий цикл винтового компрессора состоит из следующих процессов.

1. Процесс впуска. При вращении ведущего вала от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  через впускное окно рабочее тело, которое имеет давление газа во впускной магистрали, заполняет рабочую полость. Величина объёма рабочей полости постоянно увеличивается.

2. Процесс сжатия. При закрытии впускного окна при угле поворота  $360^\circ$  происходит отсекание газа, зашедшего в рабочую полость, от впускной магистрали. В этой точке осуществляется впрыск охлаждающего масла. Процесс сжатия продолжается до угла поворота вала  $\varphi_{\text{вып}}$ . Величина объёма рабочей полости непрерывно уменьшается.

3. Процесс нагнетания. Осуществляется на угле поворота от  $\varphi_{\text{вып}}$  до  $720^\circ$ . При угле поворота  $\varphi_{\text{вып}}$  происходит открытие выпускного окна, которое остаётся открытым до угла  $720^\circ$ . В течение процесса нагнетания происходит уменьшение объёма рабочей полости, в результате чего смесь сжимаемого газа и охлаждающего масла вытесняется в нагнетательную магистраль.

В рассматриваемой математической модели зависимости объёма рабочей полости, площадей впускного и выпускного окна, а также площади зазора по вершинам зубцов от угла поворота ведущего ротора компрессора задавались как кусочно-гладкие функции.

Между рабочей полостью компрессора и другими полостями существуют перетечки через зазоры по вершинам зубцов, профильные зазоры, а также торцевые зазоры.

Физическая модель процессов, протекающих в рабочей полости компрессора, состоит из следующих допущений: рабочим веществом является реальный газ и мелкодиспергированная

несжимаемая жидкость – масло; газ и мелкодиспергированное масло в общем случае имеют разные температуры; мелкодиспергированное масло представляет собой большое количество сферических капель, радиус которых известен; между идеальным газом и маслом протекает теплообмен, обусловленный разностью температур; коэффициент теплоотдачи между газом и маслом считается постоянным; при протекании теплообмена между маслом и газом масло не претерпевает фазовых переходов; физические свойства масла и газа считаются постоянными; идеальный газ в рабочей полости в каждый момент времени находится в равновесном состоянии; в силу большой частоты вращения роторов компрессора, а значит в силу большой скорости протекания рабочего процесса, теплообменом между газом стенками рабочей полости компрессора пренебрегаем; теплообменом между маслом и стенками рабочей полости компрессора пренебрегаем; массовая доля масла в газе в рабочей полости остаётся всё время постоянной; между рабочей полостью и смежными полостями существуют перетечки, обусловленные разностью давлений между этими полостями.

Основными расчётными уравнениями являются следующие: уравнения первого закона термодинамики для открытой системы, уравнения состояния реального газа, выражения для работы расширения, а также выражения для изменения массы газа в рабочей полости и изменения объёма в зависимости от угла поворота ведущего ротора компрессора. Все эти уравнения приведены к форме дифференциальных уравнений, при этом дифференцирование основных искомым величин проводится по углу поворота ведущего ротора  $\varphi$ .

Если учесть, что жидкость подаётся в рабочую полость в начале процесса сжатия при  $\varphi=360^0$ , то система уравнений для расчёта процесса впуска газа в рабочую полость примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{d\varphi} = (k-1) \cdot \frac{T}{m} \cdot \frac{\dot{m}}{\omega} + \frac{\sum_{i \neq 1} (k \cdot T_i - T) \cdot \dot{m}_i}{m \cdot \omega} - (k-1) \frac{T}{V} \cdot \frac{dV}{d\varphi} \\ \frac{dp}{d\varphi} = z \cdot k \cdot \frac{p}{m} \cdot \frac{\dot{m}}{\omega} + z \cdot \frac{p}{m} \cdot \frac{k \cdot \sum_{i \neq 1} T_i \cdot \dot{m}_i}{T \cdot \omega} - k \cdot \frac{p}{V} \cdot \frac{dV}{d\varphi} \\ \frac{dV}{d\varphi} = f(\varphi) \\ \frac{dm}{d\varphi} = \frac{\sum \dot{m}}{\omega} \\ \frac{dL}{d\varphi} = p \cdot \frac{dV}{d\varphi} \end{array} \right. ,$$

а система для процессов сжатия и нагнетания

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{d\varphi} = \frac{3 \cdot \alpha \cdot d}{c_v \cdot r \cdot \rho_{ж}} \cdot \frac{(T_{ж} - T)}{\omega} + (k-1) \cdot \frac{T}{m} \cdot \frac{\dot{m}}{\omega} + \frac{\sum_{i \neq 1} (k \cdot T_i - T) \cdot \dot{m}_i}{m \cdot \omega} - (k-1) \frac{T}{V} \cdot \frac{dV}{d\varphi} \\ \frac{dp}{d\varphi} = z \cdot (k-1) \cdot \frac{3 \cdot \alpha \cdot d}{r \cdot \rho_{ж}} \cdot \frac{m}{V} \cdot \frac{(T_{ж} - T)}{\omega} + z \cdot k \cdot \frac{p}{m} \cdot \frac{\dot{m}}{\omega} + \frac{p}{m} \cdot \frac{k \cdot \sum_{i \neq 1} T_i \cdot \dot{m}_i}{T \cdot \omega} - k \cdot \frac{p}{V} \cdot \frac{dV}{d\varphi} \\ \frac{dT_{ж}}{d\varphi} = \frac{3 \cdot \alpha \cdot d}{c_{ж} \cdot r \cdot \rho_{ж}} \cdot \frac{(T - T_{ж})}{\omega} \\ \frac{dV}{d\varphi} = f(\varphi) \\ \frac{dm}{d\varphi} = \frac{\dot{m}}{\omega} \\ \frac{dL}{d\varphi} = p \cdot f(\varphi) \end{array} \right.$$

В этой системе  $T$  – абсолютная температура газа в рабочей полости, К;  $p$  – давление газа в рабочей полости, Па;  $V$  – объём рабочей полости, м<sup>3</sup>;  $L$  – работа расширения, Дж;  $\omega$  – угловая скорость вращения ведущего ротора, град/с;  $T_i$  – температура в  $i$  – ой полости компрессора;  $m$  – масса газа в рабочей полости, кг/с;  $k$  – коэффициент адиабаты сжимаемого газа;  $\dot{m}_i$  – массовый расход газа при перетечках из  $i$  – полости рабочую, кг/с;  $z$  – коэффициент сжимаемости;  $c_v$  – удельная массовая изохорная теплоёмкость, Дж/(кг·К);  $L$  – работа расширения, Дж;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи между каплями жидкости и газом;  $T_{ж}$  – температура жидкости;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости;  $m_{ж}$  – масса

жидкости в рабочей полости;  $r$  – радиус капли;  $c_{ж}$  – удельная массовая теплоёмкость жидкости, Дж/(кг·К).

Анализ работы парных полостей винтовой расширительной машины показывает, что рабочая полость участвует в массообмене с опережающей полостью, запаздывающей полостью и противоположной полостью. Кроме того, рабочая полость участвует также в массообмене с сопряжённой полостью через зазор профильного зацепления роторов.

С опережающей полостью рабочая полость участвует в массообмене посредством перетечек через периферийные зазоры между вершинами зубьев и корпусом машины, через торцевые зазоры. Причём перетечки могут идти как из рабочей полости в опережающую полость, так и наоборот, в зависимости от того, в какой полости выше давление.

С запаздывающей полостью рабочая полость участвует в массообмене посредством перетечек через периферийные зазоры между вершинами зубьев и корпусом машины, через торцевые зазоры. Перетечки также здесь могут идти как из рабочей полости в запаздывающую, так и наоборот.

С противоположной полостью рабочая полость участвует в массообмене только посредством перетечек через торцевые зазоры.

Со смежной полостью рабочая полость участвует в массообмене только посредством перетечек через профильные зазоры.

Если давление в рабочей полости больше давления в  $i$  – полости, расход газа из рабочей полости в  $i$  – ую полость будет отрицателен и определяться выражением.

$$\dot{m}_i = - \left( \sum_j \mu_{ij} \cdot S_{ij} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p^2}{RT} \cdot \left[ \left( \frac{p_i}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_i}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]},$$

В этой формуле суммирование ведётся по всем зазорам, по которым газ может перетекать из рабочей полости в  $i$  – тую полость.

Если давление в рабочей полости меньше давления в  $i$ -й полости, расход газа будет положителен и определяться выражением

$$\dot{m}_i = + \sum_j \mu_{ij} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_i^2}{RT_i} \cdot \left[ \left( \frac{p}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p}{p_i} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}.$$

В этих выражениях  $R$  – газовая постоянная сжимаемого газа;  $\mu_{ij}$  - коэффициент расхода для перетечек между рабочей и  $i$ -ой полостью через  $j$  – ый зазор;  $S_{ij}$  - площадь  $j$  – ого зазора при перетечках между рабочей и  $i$ -ой полостью.

Расчёт проводился для следующих исходных данных:

диаметр ведущего ротора – 142 мм; диаметр ведомого ротора - 110 мм; длина роторов составляла 236 мм; ведущий ротор – пять зубцов, ведомый ротор - шесть впадин, средняя высота профильных зазоров – 80 мкм, торцевых зазоров - 50 мкм, по вершинам зубьев - 100 мкм;

внутренняя (геометрическая) степень сжатия  $\epsilon$  равна 2;

рабочий газ - фреон R134a;

давление всасывания принималось равным 1,96 бар (что соответствует температуре кипения - 10<sup>0</sup>С; при этом температура газа на входе в компрессор бралась перегретой на 5<sup>0</sup>С по отношению к температуре кипения); степень повышения давления  $\pi$  принималась равной 2, 4 и 6, причём номинальной для заданной геометрической степени сжатия  $\epsilon=2$  является значение  $\pi=4$  (этот режим работы компрессора и был выбран в качестве основного для дальнейшего анализа).

Основные результаты расчётов представлены на рис. 1 – 3 в виде трёхмерных поверхностей. На них изображены данные по расчётам зависимости КПД  $\eta$  от частоты вращения ведущего ротора  $n$  и массовой доли масла  $d_m$ , которое подавалось в рабочую полость компрессора в начале процесса сжатия независимым насосом.

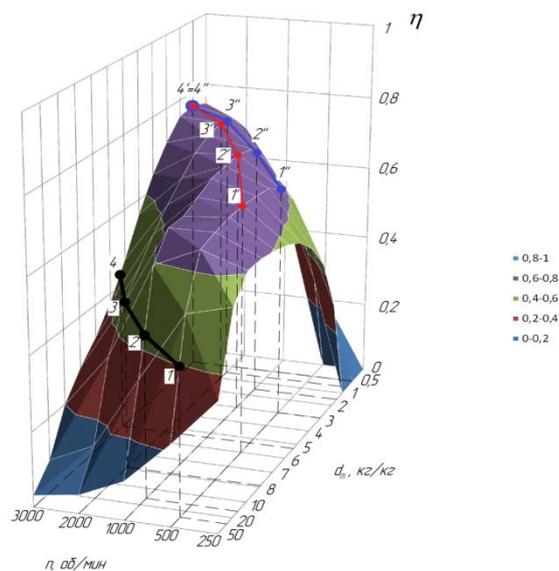


Рисунок 1 – Зависимость КПД компрессора от частоты вращения ведущего ротора винтового компрессора  $n$  и величины относительного количества масла, подаваемого в его рабочую камеру  $d_m$  при  $\pi=4$  (красная линия 1'-2'-3'-4' изображает оптимальную зависимость КПД компрессора от частоты вращения  $n$ ; синяя линия 1''-2''-3''-4'' показывает изменение КПД от частоты вращения при безнасосной системе подачи масла, которая настроена на оптимальный КПД при номинальной частоте 3000 об/мин; чёрная линия 1-2-3-4 показывает зависимость КПД от частоты вращения при неоптимальной работе системы подачи масла на номинальной частоте 3000 об/мин )

Как видно из результатов, представленных на рис.1, изменение частоты вращения роторов при неизменной величине  $d_m$  приводит к недопустимому снижению КПД (изменение КПД может составить 20 – 40%). Это возможно при насосной подаче масла, при которой насос механически связан с роторами и его производительность изменяется пропорционально частоте вращения роторов. Из этого же рисунка видно, что при золотниковом регулировании, при котором номинальная частота вращения роторов не изменяется и абсолютное количество подаваемого в компрессор масла также остаётся примерно постоянным, относительное количество масла растёт, что также приводит к существенному снижению КПД. Важно отметить, что при каждой частоте вращения роторов имеется оптимальная величина  $d_m$ , при которой КПД компрессора будет максимальным. При этом снижение КПД по сравнению с номинальным режимом составит не более 10%. Совокупность оптимальных величин  $d_m$  при различных  $n$  формируют некоторый массив оптимальных для каждой частоты величин КПД, который можно представить в графическом виде (рис. 1, линия 1'-2'-3'-4'). (На рисунках 1 – 3 для большей наглядности по оси значений КПД использована цветовая растяжка, выделяющая различные уровни значений КПД (численно – цветное соответствие представлено на легенде графиков на правом поле). По-существу эта линия определяет требуемый алгоритм подачи масла в рабочую камеру при частотном регулировании холодопроизводительности винтового компрессора. Разумеется, для различных компрессоров этот алгоритм будет индивидуален. При отсутствии насоса количество масла, подаваемого в рабочую камеру, отличается от оптимального (рис. 1; линия 1''-2''-3''-4''). В точке 4''(4'') значения КПД совпадают, однако при снижении  $n$  КПД незначительно падает (в пределах 5%, что соизмеримо с погрешностью расчёта). Это происходит вследствие того, что при фиксированной геометрии проточной части маслосистемы и неизменном перепаде давления количество подаваемого масла отличается от оптимального для пониженных частот вращения. Если же при проектировании маслосистемы геометрия её проточной части не обеспечивает оптимальный КПД на номинальной частоте вращения (точка 4 вместо точки 4''(4'')), то в зависимости от степени несовершенства конструкции проточной части маслосистемы снижение КПД может достигать недопустимых значений (рис. 1; линия 1-2-3-4).

На рис. 2 и 3 представлены результаты, отражающие зависимость КПД от частоты вращения и количества подаваемого в компрессор масла при изменении степени повышения давления. Легко заметить, что при номинальной частоте вращения (в данном случае 3000 об/мин) отклонение давления нагнетания от номинального ( $\pi=2$  и  $\pi=6$  вместо  $\pi=4$ ) приводит к снижению КПД. При частотном регулировании холодопроизводительности при  $\pi=2$  и  $\pi=6$  имеет место снижение КПД, характер которого такой же, как и при  $\pi=4$ .

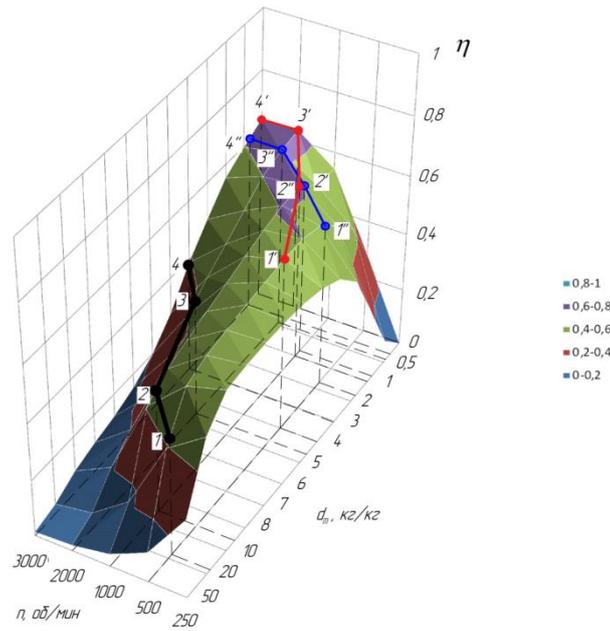


Рисунок 2 – Зависимость КПД компрессора  $\eta$  от частоты вращения ведущего ротора винтового компрессора  $n$  и величины относительного количества масла, подаваемого в его рабочую камеру  $d_m$  при  $\pi=2$  (красная линия 1'-2'-3'-4' соответствует оптимальной зависимости КПД компрессора от частоты вращения; синяя линия 1''-2''-3''-4'' показывает изменение КПД от частоты вращения при безнасосной системе подачи масла, которая настроена на оптимальный КПД при номинальной частоте 3000 об/мин и степени повышения давления  $\pi=4$ ; чёрная линия 1-2-3-4 соответствует неоптимальному режиму работы системы подачи масла на номинальной частоте 3000 об/мин при степени повышения давления  $\pi=4$  )

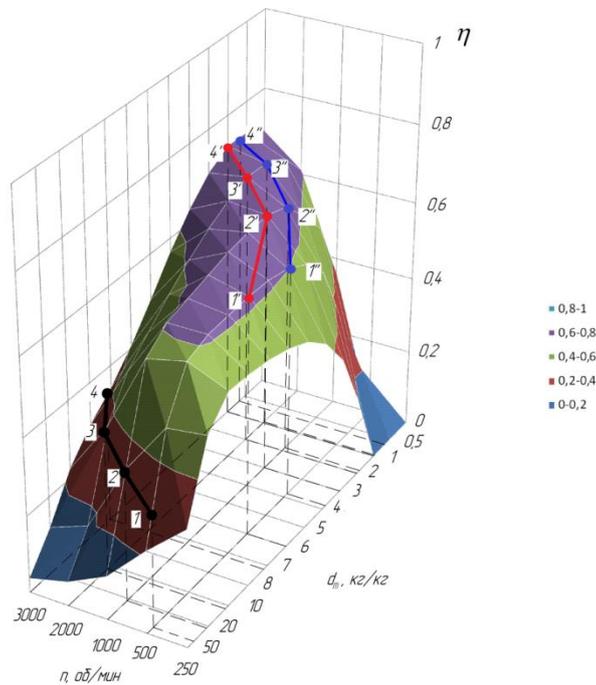


Рисунок 3 – Зависимость КПД компрессора  $\eta$  от частоты вращения ведущего ротора винтового компрессора  $n$  и величины относительного количества масла, подаваемого в его рабочую камеру  $d_m$  при  $\pi=6$  (красная линия 1'-2'-3'-4' соответствует оптимальной зависимости КПД компрессора от частоты вращения; синяя линия 1''-2''-3''-4'' показывает изменение КПД от частоты вращения при безнасосной системе подачи масла, которая настроена на оптимальный КПД при номинальной частоте 3000 об/мин и степени повышения давления  $\pi=4$ ; чёрная линия 1-2-3-4 соответствует неоптимальному режиму работы системы подачи масла на номинальной частоте 3000 об/мин при степени повышения давления  $\pi=4$  )

Следует отметить, что при одновременном изменении частоты вращения и давления нагнетания снижение КПД может составить 15 – 20% (при переходе с режима 4' (рис.1;) на режим 1" (рис.2 и рис.3). Обеспечение более высоких КПД на режимах регулирования предполагает необходимость применения дополнительных конструктивных решений (например, независимый маслонасос).

Можно предположить, что величина снижения КПД будет зависеть также и от ряда других конструктивных и режимных факторов. Например, вязкость масла может влиять на конфигурацию поверхности, отражающей зависимость КПД от частоты вращения  $n$  и массовой доли масла  $d_m$ . А это, в свою очередь, будет определять величину отклонения КПД от оптимального для данного режима работы. Влияние этого фактора необходимо исследовать дополнительно.

Таким образом, анализ эффективности работы винтового маслозаполненного компрессора на режимах регулирования показал, что частотное регулирование при безнасосной подаче масла в проточную часть имеет преимущество в сравнении с золотниковым регулированием или регулированием путём дросселирования газа на всасывании. Оно состоит в том, что при правильном подборе расходных характеристик системы маслоподачи изменение частоты вращения роторов не приводит к существенному изменению КПД винтового компрессора, так как при этом величина  $d_m$  незначительно (до 5%) отличается от оптимальных значений во всем диапазоне регулирования  $n$ . Однако при этом предъявляются жёсткие требования к определению оптимальной величины  $d_m$  при номинальной величине  $n$ . Невыполнении этих требований приводит к снижению КПД на десятки процентов как при номинальной частоте вращения роторов, так и при её уменьшении в процессе частотного регулирования компрессора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодильные машины / А.В. Бараненко, Н.Н. Бухарин, В.И. Пекарев и др. – СПб.: Политехника, 1987. – 992 с.
2. Хисамеев И.Г., Максимов В.А. Двухроторные винтовые и прямозубые компрессоры: теория, расчет и проектирование. – Казань: Фэн, 2000. – 638 с.
3. Саун И.А. Винтовые компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 400 с.
4. Mosemann, D., Krienke, S., Nowotny, S. Improvements of Refrigeration Screw Compressors of Large Capacity. – Proceeding of the International Compressor Engineering Conference, Purdue, USA.- 1988. – p.p. 250 – 255.
5. Wu, H., Peng, X., Xing, Z., Shu, P. Experimental Study on P – V Indicator Diagrams of Twin Screw Refrigeration Compressor with Economizer. – Applied Thermal Engineering. – Vol. 24. – 2004. – p.p, 1491 – 1500,
6. Патент №2509678, РФ, Способ регулирования холодильной машины судовой системы кондиционирования воздуха, МПК В63G 8/36, F25B 49/02 - Смирнов Б.В., Мифтахов Р.М., Милютин Ю.В. и др. – Заявлено 01.10.2012; Опубл. 20.03.2014
7. Stosic, N., Smith, I.K., Kovacevic, F. Screw Compressors: Mathematical Modelling and Performance Calculation. - Springer. – 2005. – 145 p.
8. Sangfors, B. Computer Simulation of Effects from Injection of Different Liquids in Screw Compressors. - International Compressor Engineering Conference, Purdue, USA. - Vol. I. – 1998. – p.p. 595 – 600.
9. Верный А.Л. Исследование и метод расчёта винтовых компрессоров // Процессы, технология и контроль в криогенном машиностроении: Тр. ВНИИкриогенмаш. – Балашиха, 1978. – С. 72 – 82.
10. Юша В.Л. Повышение экономичности и безопасности работы винтового компрессора с газожидкостным рабочим телом: Дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1987. – 273 с.

УДК 621.56

#### ТЕПЛОВЫЕ И МАССОВЫЕ РАСЧЕТЫ ВАКУУМНО-ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИНАРНОГО ЛЬДА

*Круглов А.А., канд. техн. наук., Тазитдинов Р.Р., аспирант  
Университет ИТМО, Россия  
E-mail: AL-X-kRU@yandex.ru, t.r\_92@mail.ru*

В последние годы в холодильной технике большое внимание уделяется поиску альтернативных хладагентов, которые не разрушают озоновый слой. Хладагенты, предлагаемые для этих целей, не содержащие молекулы хлора (HFC), и широко используемые в настоящее время, дороги и, как правило, обладают высоким значением потенциала глобального потепления. В результате, с каждым годом возрастает применение холодильных установок, работающих на природных хладагентах [1].

Бинарный лед – это двухфазный хладоноситель, состоящий из жидкости и мелких кристаллов льда. Массовая доля льда может варьироваться в диапазоне от 5% до 40%. Популярность бинарного льда растет и области его применения расширяются. Это вызвано прежде всего его высокой эффективностью и скоростью охлаждения за счет использования фазового перехода (лёд-жидкость, 333 кДж/кг), а также возможностью перекачивания с помощью обычных центробежных насосов. Коэффициент теплоотдачи бинарного льда при контакте с теплыми твердыми поверхностями составляет порядка 3 кВт/(м<sup>2</sup>·К) [2], а холодопроизводительность может быть в 5 – 6 раз выше, чем у эквивалентного количества охлажденной воды [3]. Аккумуляторы холода с использованием бинарного льда имеют множество преимуществ по сравнению с другими технологиями. Для сравнения, емкость аккумулятора холода, использующего смесь с массовой долей льда 40%, в 8 раз меньше, чем при использовании ледяной воды [4].

При производстве бинарного льда самым важным и энергозатратным процессом является генерация кристаллов льда. Размер, форма и шероховатость полученных ледяных кристаллов определяют теплофизические и гидродинамические свойства бинарной смеси.

В качестве объекта рассматривается холодильная установка для получения бинарного льда методом вакуумно-выпарной кристаллизации (см. рисунок 1).

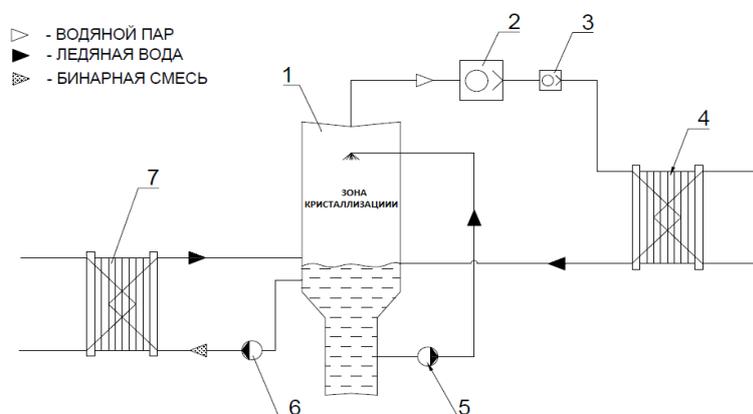


Рисунок 1 – Принципиальная схема вакуумно-выпарной установки для получения бинарного льда. 1 – бак-кристаллизатор; 2 – вакуумный насос; 3 – форвакуумный насос; 4 – конденсатор; 5 – рециркуляционный насос; 6 – циркуляционный насос; 7 – теплообменный аппарат

Работа вакуумно-выпарной установки для получения бинарного льда осуществляется в следующей последовательности. Форвакуумный насос создает предварительное разрежение, необходимое для работы основного насоса. Как только давление в баке-кристаллизаторе достигнет требуемого значения (1100 – 2500 Па), включается основной вакуумный насос, который создаёт рабочее давление в баке-кристаллизаторе на уровне 200 – 400 Па (абс.). С помощью рециркуляционного насоса подается вода в верхнюю часть бака-кристаллизатора к форсункам для непрерывного распыления воды и формирования капель требуемого размера, обеспечивается перемешивание в баке, предотвращающее слипание кристаллов. В полете часть жидкости с поверхности капель испаряется, а часть – кристаллизуется. Таким образом в нижней части бака-кристаллизатора у поверхности жидкости накапливается бинарная смесь с частицами льда. В дальнейшем бинарный лед перекачивается с помощью центробежных насосов по трубопроводу к потребителю холода.

Тепловые и массовые балансы вакуумно-выпарной установки

Уравнения тепловых и массовых балансов, являются важнейшими для описания математической модели холодильной установки. Они позволяют вести технологический расчёт и анализировать теплообменные процессы, влияющие на работу установки.

Тепловые и массовые балансы в баке-кристаллизаторе (см. рисунок 2) можно представить следующей системой уравнений:

$$G_{CM} \cdot i_{CM} - G_{CM} \cdot i_B + G_{II} \cdot i_{II} - G_K \cdot i_K + G_P \cdot i_P - G_P \cdot i_{P2} = 0;$$

$$G_P \cdot i_P - G_P \cdot i_{P2} + N_P = 0;$$

$$G_{CM} = (G_L + G_B);$$

$$G_P = (G_L + G_{II}),$$

где  $G_{см}$  – расход бинарной смеси, кг/с;  $i_{см}$  – энтальпия на входе в теплообменник, кДж/кг;  $i_{в}$  – энтальпия бинарной смеси на выходе из теплообменника, кДж/кг;  $G_{п}$  – расход водяного пара, кг/с;  $i_{п}$  – энтальпия водяного пара, кДж/кг;  $G_{к}$  – расход воды после конденсатора, кг/с (принимаем  $G_{п} = G_{к}$ );  $i_{к}$  – энтальпия воды после конденсатора, кДж/кг;  $G_{р}$  – расход воды через рециркуляционный насос, кг/с;  $i_{р}$  – энтальпия воды перед рециркуляционным насосом, кДж/кг;  $i_{р2}$  – энтальпия воды после рециркуляционного насоса, кДж/кг;  $G_{л}$  – расход льда в бинарной смеси, кг/с;  $G_{в}$  – расход воды в бинарной смеси, кг/с;  $N_{р}$  – мощность рециркуляционного насоса, кВт.

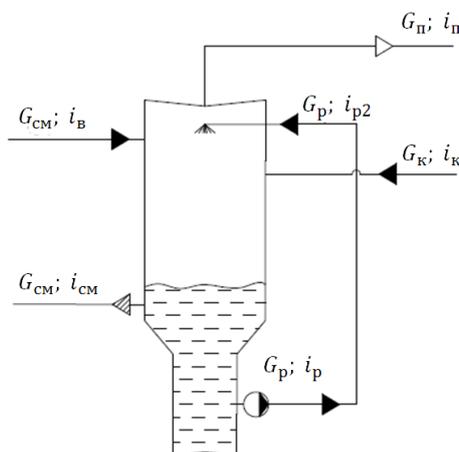


Рисунок 2 – Схема расчёта тепловых и массовых балансов бака-кристаллизатора

Тепловые и массовые балансы процесса кристаллизации каплей (см. рисунок 3) можно представить следующей системой уравнений:

$$G_{р} \cdot i_{р2} - G_{л} \cdot i_{л} - G_{п} \cdot i_{п} + Q_{п} - Q_{кр} - Q_{т} = 0;$$

$$Q_{кр} = (G_{п} + G_{л}) \cdot i_{р2} + (G_{п} + G_{л}) \cdot i_{в0} + (G_{п} + G_{л}) \cdot i_{л};$$

$$Q_{п} = G_{п} \cdot r_{п},$$

где  $i_{л}$  – энтальпия переохлажденного льда, кДж/кг;  $i_{в0}$  – энтальпия воды при температуре фазового перехода, кДж/кг;  $r_{п}$  – теплота парообразования, кДж/кг;  $Q_{п}$  – количество теплоты при испарении воды, кВт;  $Q_{кр}$  – количество теплоты при кристаллизации воды, кВт;  $Q_{т}$  – внешние теплопритоки через стенки бака-кристаллизатора, кВт.

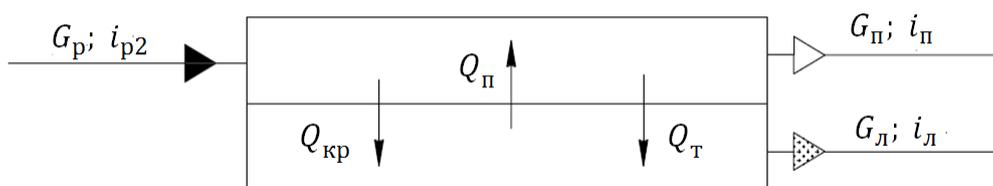


Рисунок 3 – Схема расчёта тепловых и массовых балансов процесса кристаллизации каплей

Тепловые и массовые балансы в теплообменном аппарате потребителя холода (см. рисунок 4) можно представить следующей системой уравнений:

$$G_{пр} \cdot i_{пр} - G_{пр} \cdot i_{пр2} + N_{осч} + Q_{см} = 0;$$

$$G_{см} \cdot i_{см} - G_{см} \cdot i_{в} + N_{осч} + Q_{пр} = 0;$$

$$Q_{см} = G_{л} \cdot i_{л} - G_{л} \cdot i_{в0} + G_{л} \cdot r_{п} + G_{см} \cdot i_{в0} - G_{см} \cdot i_{в};$$

$$Q_{пр} = G_{пр} \cdot i_{пр} - G_{пр} \cdot i_{пр2};$$

$$Q_{см} = Q_{пр},$$

где  $G_{пр}$  – расход охлаждаемого продукта, кг/с;  $i_{пр}$  – энтальпия продукта на входе, кДж/кг;  $i_{пр2}$  – энтальпия продукта на выходе, кДж/кг;  $Q_{см}$  – тепловая нагрузка, воспринимаемая бинарной смесью, кВт;  $Q_{пр}$  – тепловая нагрузка от продукта, кВт.

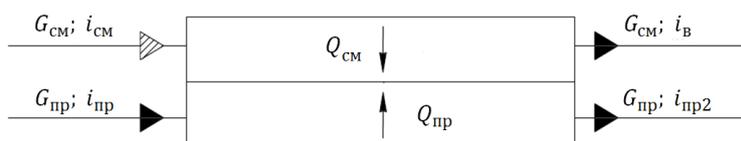


Рисунок 4 – Схема расчёта тепловых и массовых балансов в теплообменнике

Тепловые и массовые балансы в конденсаторе (см. рисунок 5) представим следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 G_w \cdot i_w - G_w \cdot i_{w2} + N_{вн} + Q_{кд} &= 0; \\
 G_{п} \cdot i_{п} - G_{к} \cdot i_{к} + N_{вн} + Q_w &= 0; \\
 Q_w &= G_w \cdot i_w - G_w \cdot i_{w2}; \\
 Q_{кд} &= G_{п} \cdot r_{п}; \\
 Q_w &= Q_{кд},
 \end{aligned}$$

где  $G_w$  – расход охлаждающей воды в конденсаторе, кг/с;  $i_w$  – энтальпия охлаждающей воды на входе в конденсатор, кДж/кг;  $i_{w2}$  – энтальпия охлаждающей воды на выходе из конденсатора, кДж/кг;  $Q_{кд}$  – тепловая нагрузка от конденсации водяного пара, кВт;  $Q_w$  – тепловая нагрузка, отводимая охлаждающей водой, кВт;  $N_{вн}$  – мощность вакуумного насоса, кВт.

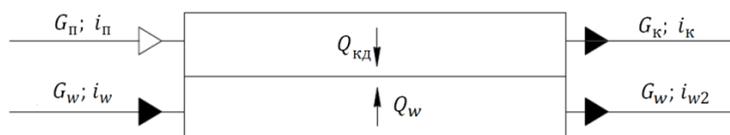


Рисунок 5 – Схема расчёта тепловых и массовых балансов в конденсаторе

Таким образом, основные этапы расчета вакуумно-выпарной установки включают: составление тепломассовых балансов, расчёт процессов в баке-кристаллизаторе, и расчет геометрических параметров бака-кристаллизатора.

По выше приведенным уравнениям, произведен расчет вакуумно-выпарной установки и построен график (см. рисунок 6) зависимости скорости откачки водяного пара при разных значениях требуемой холодопроизводительности и массовой доли льда (при температуре возврата бинарной смеси и сконденсировавшегося водяного пара в баке-кристаллизаторе не более 2°C).

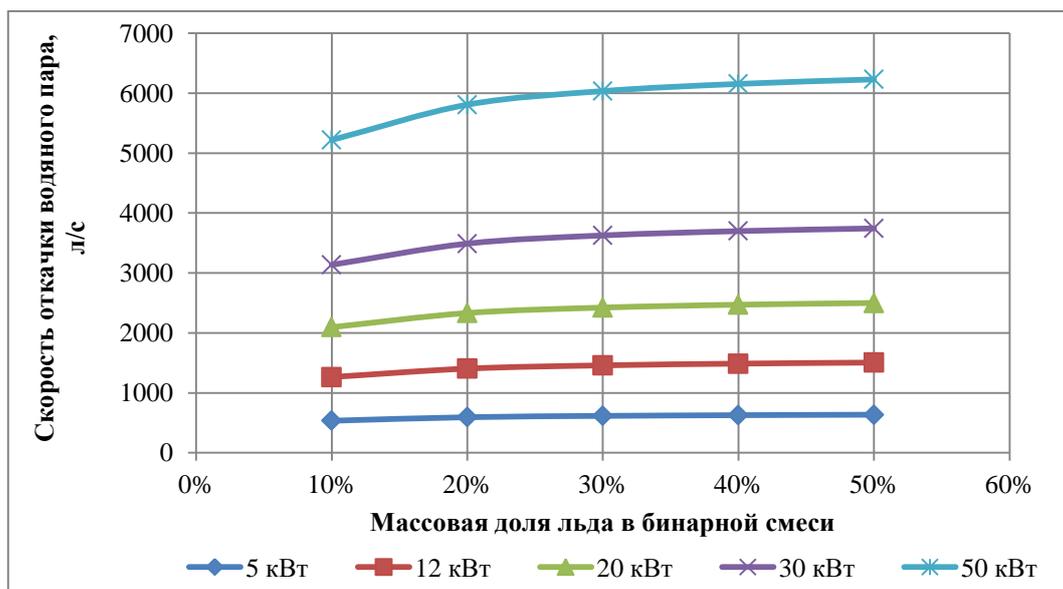


Рисунок 6 – Влияние массовой доли льда в бинарной смеси на скорость откачки водяного пара при различных тепловых нагрузках

Из графика видно, что скорость откачки водяного пара возрастает при увеличении тепловой нагрузки и массовой доли льда в бинарной смеси. Можно отметить, что увеличение массовой доли льда (от 10% до 50%), при малых тепловых нагрузках (до 5 кВт) оказывает незначительное влияние на скорость откачки водяного пара. При нагрузках от 12 кВт до 50 кВт виден рост требуемой скорости откачки водяного пара при увеличении массовой доли льда с 10% до 20%. Для сравнения, при увеличении массовой доли льда: с 10% до 20% рост составляет 10%; с 20% до 30% скорость откачки возрастает на 4%; с 30% до 40% скорость откачки возрастает на 2%; с 40% до 50% увеличение меньше 2% (при тепловых нагрузках 12 кВт, 20 кВт, 30 кВт, 40 кВт и 50 кВт).

Из этого можно сделать вывод, что с энергетической точки зрения более выгодно производить бинарную смесь с массовой долей льда более 20%.

Система уравнений тепловых и массовых балансов для вакуумно-выпарной установки позволяет определить расход получаемой бинарной смеси, исходя из тепловой нагрузки, и расход откачиваемого водяного пара, а при использовании в составе расчётной модели, выполнить конструктивные расчёты и оценивать влияние технологических параметров процесса получения бинарного льда на массогабаритные и стоимостные характеристики установки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков О. Б. Айс-сларри и однофазные хладоносители [Текст] / Цветков О. Б., Лаптев Ю. А. // Холодильная техника. – 2004. – N 3. – С. 2-4. – ISSN 0023-124X.
2. B.D. Knodel, D.M. France, U.S. Choi, M.W. Wambsganss, Heat transfer and pressure drop in ice-water slurries, Appl Therm Eng 20 (7) (2000) 671–685.
3. Z. Ure, Slurry ice rapid cooling applications, EPS Ltd, Yaxley, Cambs. PE7 3HS, UK, 2002.
4. Цой А.П., Круглов А.А., Тазитдинов Р.Р. Основные типы аккумуляторов холода с использованием бинарного льда // VI Международная научно-техническая конференция "Казахстан-Холод 2016" (1-2 марта 2016 г.): сборник докладов конференции - 2016. - С. 144-148.

## Авторский алфавитный указатель

Акимов М.М.	13	Данько В.П.	64
Альтман Э.И.	16	Дорошенко А.В.	159
Антонова А.Р.	22	Должиков С.А.	68
Ашкенова З.Н.	30	Джингилбаев С.С.	74
Ачилов Ю.	33	Дорошенко А.В.	80
Абдилова Г.Б.	117	Доценко Н.В.	90
Айтахметова Ш.А.	155	Данилов Н.П.	188
Асач А.В.	181	Даниченко Н.В.	202
Асенова Б.К.	193	Емельянов А.Л.	152
Алимкешова А.Х.	251	Ермоленко М.В.	68
Абдумасаров Б.А.	251	Ермоленко М.В.	95
Бронников В.А.	137	Есимбеков Ж.С.	119
Бепеева А.Е.	123,126,129	Ережеп Д.	181
Бакиева А.Б.	13	Zhikhareva N.	44
Байбалинова Г.М.	123	Жарикова Л.А.	50
Белецкий Э.В.	18	Жук К.Б.	80
Бошкова И.Л.,	33,40,50,134	Жихарева Н.В.	103
Бурая М.В.	36	Жумадилова Г.А.	106
Бусаров И.С.	46	Железный В.П.	240
Безусов А.Т.	90	Джумажанова М.М.	129
Бусаров С.С.,	46	Зебер Р.А.	176
Байбалинова Г.М.	155	Зацерклянный А.М.	100
Байбалинова Г.М.	235	Зацерклянный М.М.	100
Верхивкер Я.Г.	16	Ибрагимов Н.К.	106
Волгушева Н.В.	40,134	Иванова Л.В.	109
Васильев В.К.	273	Кабулов Б.Б.	13
Вологжанина С.А.	260	Какимова Ж. Х.	30
Bushmanov V.	44	Ким И.А.	36
Butovslyi I.	44	Какимов А.К.	106
Васильев В.К.	46	Khmelniuk M.	44
Волгушева Н.В.	50	Kogut V.	44
Волчок В.А.,	54	Кайрбаева А.Е.	74
Гайдук С.В.	165	Какимов А.К.	117
Грудка Б.Г.	165	Какимов А.К.	119
Глауберман М.А.	22	Какимов А.К.	123,126,129
Грановский А.С.	8	Какимова Ж.Х.	123,126,129
Громов А.Ю.	46	Кенжибекова А.Н.,	132
Галкин Д.М.	56	Колесниченко Н.А.	134
Гриневич Б.С.	60	Кондратьев В.Г.	137
Григорьев А.Ю.	60	Когай В.	183
Галахова Н.А.	249	Khmelniuk M.	196
Гамова К.А.	181	Козонова Ю.А.	224
Григорьев К.А.	60	Какимова Ж.Х.	155
Гераскина Э.А.	202	Лаптев Ю.А.	249
Грицюта Е.С.	206	Людницкий К.В.	22
Грановский А.С.	255	Людницкий К.В.	109
Гордейчук Т.В.	240	Лапардин Н.И.	144
Дорошенко А.В.	109	Лукьянова А.С.	149
Дорошенко А.В.	83	Мустамбаев Н.К.	36
Дорошенко А.В.	22	Медведева К.А.,	60

Майоров А.А.	106	Федоров А.В.	249
Мажибек С.	117	Фафинов М.А.	266
Марченко А.С.	152	Хлиева О.Я.	240
Мирашева Г.О.	155	Хуторянский В.В.	126
Младёнов И.Ю.	179	Хмельнюк М.Г.	103
Мирашева Г.О.	235	Хмельнюк М.Г.	233
Мустафаева А.К.	13	Хабаров А.В.	249
Медведков Е.Б.	74	Чередниченко А.К.	263
Новотельнова А.В.	181	Чернов Г.И.	273
Неганов Д.В.	217	Шалбаев К.К.	8
Носков А.Н.	185	Шарова Н.Ю.	173
Нусупова А.Е.	188	Шлейкин А.Г.	188
Окусханова Э.К.	193	Цой Д.А.	8
Ostapenko O.	196	Цапушел А.Н.	83
Приймак В.Г.	227	Цой А.П.	8,251,255
Петренко Е.В.	18	Цупка С.А.	260
Потапов В.А.	206	Цветков О.Б.	249
Приймак В.Г.	224	Юша В.Л.	237,273
Потапов М.Д.	34	Юн В.К.	266
Подорога В.И.	90		
Петраш В.Д.	202		
Поломаный А.А.	202		
Панютнич А.А. <sup>2</sup>	273		
Рачковский Н.О.	222		
Рябова Т.В.	217		
Ребезов М.Б.	193		
Сулин А.Б.	152		
Суйчинов А.К.	119		
Степанова О.А.	95		
Столевич Т.Б.	100		
Столповская И.В.	249		
Сламбаева М.Ж.	210		
Солодка А.В.	213		
Сулин А.Б.	217		
Сандыкбаева С.Б.	255		
Семенюк Д.П.	206		
Саяпин К.М.	176		
Турлыбекова Н.Е.	117		
Таева А.М.	132		
Титов Д.С.	46		
Татаренко Ю.В.	222		
Тарасенков Д.С.	185		
Тимофеевский А.Л.	217		
Тукмакова А.С.	181		
Титлов А.С.	224		
Титлов А.С.	227		
Трандафилов В.В.	233		
Турсумбекова З.А.	237		
Yakovleva O.	196		
Ўзақов Я.М.	132		
Филькин Н.Ю.	237		

Технический редактор

Дуйсенгалиева А.Д.

Редактор

Кутнякова Е.Ю.

Компьютерная верстка

Тагаева А.Ж.

**За стиль и орфографию авторов редакция ответственности не несет**

---

Сдано в набор 01.03.17. Подписано в печать 09.03.17.  
Формат 60x84 1/18. Бумага офсетная. Печать RISO.  
Объем 16,6 у.п.л. Тираж 50 экз. Заказ № 184

---

Отпечатано в издательском отделе АТУ  
050012, г. Алматы, ул. Толе би, 100

Технический редактор

Дуйсенгалиева А.Д.

Редактор

Кутнякова Е.Ю.

Компьютерная верстка

Тагаева А.Ж

**За стиль и орфографию авторов редакция ответственности не несет**

---

Сдано в набор 01.03.17. Подписано в печать 09.03.17.  
Формат 60x84 1/18. Бумага офсетная. Печать RISO.  
Объем 16,6 у.п.л. Тираж 50 экз. Заказ № 184

---

Отпечатано в издательском отделе АТУ  
050012, г. Алматы, ул. Толе би, 100