

ISSN 0023-124X

Холодильная техника

111 (1) 2022

Refrigeration Technology



УЧРЕДИТЕЛЬ

- ООО «Эко-Вектор»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-81858 от 09.09.2021 г.

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: https://eco-vector.com
Тел.: +7 (812) 648-83-66

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 495 308 83 89
E-mail: adv2@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Адрес: 127349, Москва, Шенкурский проезд, 3Б, офис 311.
E-mail: kholodtech@eco-vector.com
Тел.: +7 (495) 409-83-09

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через интернет:

- www.journals.eco-vector.com/
- www.akc.ru
- www.pressa-rr.ru

OPEN ACCESS

В электронном виде журнал распространяется бесплатно — в режиме немедленного открытого доступа

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ
- ВАК
- Agris
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

Журнал включен в перечень периодических изданий **ВАК**, в которых рекомендована публикация работ соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук по следующим специальностям: 05.04.03 — Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения (технические науки); 05.18.04 — Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)

Оригинал-макет

подготовлен в издательстве Эко-вектор.
Литературный редактор, корректор:
Г.Б. Арбатская
Верстка: Д.А. Полунин
Перевод: А.А. Богачев

Сдано в набор 15.08.2022
Подписано в печать 31.08.2022
Формат 60 × 88%. Печать офсетная.
Печ. л. 9,7. Усл. печ. л. 9. Уч.-изд. л. 5,3.
Тираж 500 экз. Заказ №

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс 2В2».
191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки,
д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.
Тел.: +7(812)646-33-77.

© ООО «Эко-Вектор», 2022

ISSN 0023-124X

Холодильная ТЕХНИКА

Том 111 | Выпуск 1 | 2022

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ
ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с января 1912

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Талызин Максим Сергеевич, канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0001-7244-1946

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Баранов Игорь Владимирович,

профессор, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0003-0595-368X

Бондаренко Виталий Леонидович,

профессор, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0002-8345-3579

Бараненко Александр Владимирович,

профессор, д-р техн. наук;
ORCID iD: 0000-0003-3675-9513

Галимова Лариса Васильевна,

профессор, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0002-7905-6570

Галкин Михаил Леонидович,

академик МАХ, д-р техн. наук, профессор
ORCID iD: 0000-0001-7396-0625

Гончарова Галина Юрьевна,

д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0003-4270-819X

Короткий Игорь Алексеевич,

профессор, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0002-7623-0940

Крысанов Константин Сергеевич,

канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0003-2218-320X

Малафеев Илья Игоревич,

канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0003-2011-3750

Малышев Александр Александрович,

доцент, канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0002-5012-0647

Плешанов Сергей Юрьевич,

ORCID iD: 0000-0002-9514-8248

Похольченко Вячеслав Александрович,

доцент, канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0001-5847-5947

Пузина Юлия Юрьевна,

доцент, канд. техн. наук
ORCID iD: 0000-0001-9120-8146

Сапожников Владимир Борисович,

профессор, д-р техн. наук
Творогова Антонина Анатольевна,

доцент, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0001-7293-9162

Цой Александр Петрович,

доцент, д-р техн. наук
ORCID iD: 0000-0002-3073-6698

Шишов Виктор Викторович,

доцент, канд. техн. наук

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://freezetechnology.ru/>.



16+

FOUNDER

- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,
191186, Saint Petersburg Russian Federation
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>
Phone: +7 (812) 648-83-66

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (495) 308 83 89
E-mail: adv2@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Address: 127349, Moscow
3B, Shenkurskiy proezd, office 311.
E-mail: kholodtech@eco-vector.com
Ten: +7 (495) 409-83-09

SUBSCRIPTION

For print version:

- www.journals.eco-vector.com
- www.akc.ru
- www.pressa-rf.ru

OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory
for all published articles

INDEXATION

- Russian Science Citation Index
- Agris
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

TYPESET

complete in Eco-Vector
Copyeditor: *G.B. Arbatskaya*
Proofreader: *G.B. Arbatskaya*
Layout editor: *D.A. Polunin*
Translator: *A.A. Bogachev*

Put in a set: August 15, 2022
Signed to the press: August 31, 2022
Format 60×88 1/8. Offset printing.
Printed sheet 9,7.
Circulation of 500 copies.

ISSN 0023-124X

Refrigeration Technology

Volume 111 | Issue 1 | 2022

PEER-REVIEW QUARTERLY
SCHOLARLY & ACADEMIC JOURNAL

Published since January, 1912

EDITOR-IN-CHIEF

Maksim S. Talyzin, Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0001-7244-1946

EDITORIAL BOARD

Igor V. Baranov,
Professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0003-0595-368X
Vitaly L. Bondarenko,
Professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0002-8345-3579
Aleksandr V. Baranenko,
Professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0003-3675-9513
Larisa V. Galimova,
Professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0002-7905-6570
Mikhail L. Galkin,
Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0001-7396-0625
Galina Yu. Goncharova,
Dr. Sci. (engineering)
ORCID iD: 0000-0003-4270-819X
Igor A. Korotkiy,
professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0002-7623-0940
Konstantin S. Krysanov,
Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0003-2218-320X

Ilya I. Malafeev,
Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0003-2011-3750
Aleksandr A. Malyshev,
Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0002-5012-0647
Sergei Yu. Pleshanov,
ORCID iD: 0000-0002-9514-8248
Vyacheslav A. Pokholchenko,
associate professor, Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0001-5847-5947
Yulia Yu. Puzina,
Cand. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0001-9120-8146
Vladimir B. Sapozhnikov,
Professor, Dr. Sci. (technics)
Antonina A. Tvorogova,
assistant professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0001-7293-9162
Alexandr P. Tsoy,
assistant professor, Dr. Sci. (technics)
ORCID iD: 0000-0002-3073-6698
Victor V. Shishov,
assistant professor, Cand. Sci. (technics)

16+



The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://freezetechn.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В.В. Осипенко, Н.А. Лавров

Анализ потерь в фанкойлах с помощью энтропийно-статистического метода 5

В.С. Николаев, С.А. Абалакин, И.В. Тищенко

Сравнение потерь эффективности из-за перетечек для турбоагрегатов авиационных систем кондиционирования на лепестковых газодинамических подшипниках и шарикоподшипниках 13

И.Д. Шелякин

Анализ продолжительности низкотемпературной циркуляционной заправки адсорбционной системы аккумулирования метана при помощи программного пакета ANSYS 21

В.С. Колодязная, Е.И. Кипрушкина, О.Н. Румянцева, Д.Ю. Миронова

Изменение содержания фенольных соединений в полуфабрикатах из цикория салатного Эндивий в процессе низкотемпературной обработки 29

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

Разработка технологии создания систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея) 37

НОВОСТИ

А.В. Бараненко

Итоги деятельности Международной академии холода в 2021 г. и задачи на 2022 г. (доклад на XXIX Общем годовичном собрании 21 апреля 2022 г.) 45

XXIX годовичное общее собрание Международной академии холода: краткий отчет 51

О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев

Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода (1–2 февраля 2022, Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург) 53

Рыбохозяйственный комплекс Мурманской области: перспектива – отказ от использования озоноразрушающих веществ 55

BITZER на зимних Олимпийских играх 2022 в Пекине 57

«Мир климата» успешно вернулся в рынок в новом формате и прошел в 17-й раз 65

Индустрия холода и аграрная политика России: безопасность и качество продукции 71

РЕЦЕНЗИИ НА КНИГИ

И.В. Новиков

Новый учебник «Автоматизация холодильных установок» 75

НЕКРОЛОГИ

А.А. Казакова

Колосов Михаил Анатольевич (29.02.1956 – 17.04.2022) 77

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Valentin V. Osipenko, Nikolai A. Lavrov

Analysis of losses in fan coil units by using the entropy-statistical method 5

Vitaly S. Nikolaev, Sergey. A. Abalakin, Igor V. Tishchenko

Comparison of efficiency losses due to leaks for turbine units of aviation air conditioning systems
with petal-type gas-dynamic bearings and ball bearings 13

Igor D. Shelyakin

Analysis of the duration of the low-temperature circulation charging of an adsorption methane storage system
using the ANSYS Fluent software package. 21

Valentina S. Kolodyaznaya, Elena I. Kiprushkina, Olga N. Rumiantseva, Daria Yu. Mironova

Change in the content of phenolic compounds in semi-finished products
from endive Cichorium endivia during low-temperature processing 29

Larisa V. Galimova, Aleksandr E. Semenov, Debas G. Luvam

Development of the technology for creating air conditioning systems in an arid climate (Eritrea) 37

NEWS

Aleksandr V. Baranenko

Results of the activities of the International Academy of Refrigeration in 2021 and tasks for 2022 45

XXIX Annual General Meeting of the International Academy of Refrigeration: Summary Report 51

Oleg B. Tsvetkov, Yuri A. Laptev

Low-temperature technology in the context of a new energy transition paradigm
(February 1–2, 2022, ITMO National Research University, St. Petersburg) 53

Fishery complex of the Murmansk region: renunciation of the use of ozone-depleting substances in perspective 55

BITZER at the 2022 Winter Olympics in Beijing. 57

After a break in 2021, the Climate World Expo returned to Moscow in a new format 65

Refrigeration industry and agricultural policy in Russia: product safety and quality 71

BOOK REVIEWS

Ilya V. Novikov

The new textbook Automation of Refrigeration Units. 75

OBITUARY

Anastasiya A. Kazakova

In memoriam of Mikhail A. Kolosov (29.02.1956 – 17.04.2022) 77

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF100464>

Анализ потерь в фанкойлах с помощью энтропийно-статистического метода

В.В. Осипенко¹, Н.А. Лавров²

¹ ООО «ВЕЗА», Московская область, Россия

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Системы с чиллерами и фанкойлами широко применяются в кондиционировании воздуха, именно поэтому представляется актуальным энтропийно-статистический анализ потерь энергии в канальном двухтрубном фанкойле с регулируемым расходом воздуха.

Цель настоящей работы – рассмотреть методику определения потерь с помощью энтропийно-статистического метода, произвести расчет потерь вследствие неидеальности теплообмена и гидравлических потерь в фанкойлах.

Материалы и методы. Определение потерь проводилось с помощью энтропийно-статистического метода.

Результаты и их применение. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, представлены диаграммы распределения составляющих потерь и рекомендации для их уменьшения.

Ключевые слова: фанкойл, система кондиционирования, энтропийно-статистический анализ

Для цитирования:

Осипенко В.В., Лавров Н.А. Анализ потерь в фанкойлах с помощью энтропийно-статистического метода // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF100464>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF100464>

Analysis of losses in fan coil units by using the entropy-statistical method

Valentin V. Osipenko¹, Nikolai A. Lavrov²

¹ VEZA, Moscow Region, Russia

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Systems with chillers and fan coil units are widely used in air conditioning. Therefore, entropy-statistical analysis of energy losses in a duct-type two-pipe fan coil unit with controlled air flow is relevant.

AIM: This work aimed to review a method for determining losses by using the entropy-statistical method and to calculate losses due to non-ideal heat transfer and hydraulic losses in fan coil units.

MATERIALS AND METHODS: Losses were determined using the entropy-statistical method.

RESULTS: A comparative analysis of the results was performed. Diagrams of the distribution of loss components and recommendations for their reduction are presented.

Keywords: fan coil, air conditioning system, entropy-statistical analysis

To cite this article:

Osipenko VV, Lavrov NA. Analysis of loss in in fan coil units using an entropy and statistical method. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):5–12.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF100464>

Received: 09.02.2022

Accepted: 07.04.2022

Published: 24.08.2022

ВВЕДЕНИЕ

Экономия энергии – одна из основных задач современной науки и техники. Поскольку низкотемпературные установки потребляют 13–18% всей вырабатываемой в мире электроэнергии, снижение их энергопотребления за счет уменьшения имеющихся в них потерь – задача актуальная. Для анализа потерь в низкотемпературных установках наиболее эффективным методом признан метод энтропийного анализа [1], с помощью которого можно выполнить анализ потерь в отдельных частях холодильной установки [2–4], локализовать места наибольших потерь и выработать технические решения для их уменьшения [5–8].

Системы с чиллерами и фанкойлами [9] широко применяются в кондиционировании воздуха, поэтому анализ потерь в них имеет существенное значения для реализации мер по сокращению энергопотребления.

Рассмотрим фанкойл, в котором происходит охлаждение воздуха, движимого вентилятором. В качестве прототипа принимаем канальный двухтрубный фанкойл ВЕНДО-КС-10/2-Н с регулируемым расходом воздуха от 850 до 1700 м³/ч, производительностью на охлаждение 9,0 кВт, изображенный на рис. 1. Охлаждающая жидкость – вода.

Затрачиваемая на охлаждение воздуха работа L может быть разделена на две составляющие:

- минимальная (теоретическая) работа L_{min} , при которой процессы возможны только теоретически;
- работа на компенсацию потерь вследствие необратимости $\delta L_{потери}$:

$$L = L_{min} + \delta L_{потери}.$$

С точки зрения энтропийно-статистического метода, потери энергии пропорциональны производству энтропии.

Согласно теореме Гюи – Стодолы [1], потери энергии в системе $\delta L_{потери}$ за счет неравновесности

протекающих в ней процессов пропорциональны производству энтропии в системе $\Delta S'$:

$$\delta L_{потери} = T_{oc} \Delta S',$$

где T_{oc} — температура окружающей среды. Определение производства энтропии в отдельных частях установки позволяет найти наиболее энергозатратный элемент рассматриваемой системы и попытаться уменьшить необратимость в найденном элементе.

К потерям следует отнести следующие.

1. Потери из-за несовершенства теплообмена между охлаждающей жидкостью и воздухом в фанкойле.
2. Гидравлические потери при прохождении воздуха через фанкойл, которые выражаются через мощность вентилятора и кинетическую энергию выходящего воздуха.
3. Гидравлические потери при прохождении охлаждающей жидкости через теплообменник фанкойла, которые приводят к увеличению требуемой мощности жидкостного насоса.

Расчет потерь

1. Потери вследствие несовершенства теплообмена между охлаждающей жидкостью и воздухом в фанкойле.

Потери вследствие неидеальности теплообмена в фанкойле $\Delta S'_{то}$ можно рассчитать через производство энтропии как суммарное изменение энтропии воздушного потока $\Delta S'_B$ и охлаждающей жидкости $\Delta S'_ж$:

$$\Delta S'_{то} = \Delta S'_B + \Delta S'_ж, \quad (1)$$

$$\Delta S'_B = G_B C_{p,B} \ln \left(\frac{T_{B,ВЫХ}}{T_{B,ВХ}} \right), \quad (2)$$

$$\Delta S'_ж = G_ж C_{ж} \ln \left(\frac{T_{ж,ВЫХ}}{T_{ж,ВХ}} \right), \quad (3)$$

где $C_{p,g}$ и $C_ж$ – теплоемкости воздуха и жидкости в фанкойле соответственно; G_B и $G_ж$ – расходы воздуха и жидкости в фанкойле соответственно; $T_{B,ВХ}$ и $T_{B,ВЫХ}$, $T_{ж,ВХ}$ и $T_{ж,ВЫХ}$ – термодинамические температуры воздуха и жидкости на входе и выходе из фанкойла.

2. Гидравлические потери при прохождении воздуха через фанкойл выражаются через мощность вентилятора и кинетическую энергию выходящего воздуха:

$$\Delta S'_{вент} = \frac{N_{вент} - G_B v_{B,ВЫХ}^2 / 2}{T_{oc}}, \quad (4)$$

где $N_{вент}$ — мощность, потребляемая вентилятором, T_{oc} — термодинамическая температура окружающей



Рис. 1. Канальный двухтрубный двухтрубный фанкойл ВЕНДО-КС-10/2-Н.

Fig. 1. Duct-type two-pipe fan coil unit VENDO-KS-10/2-N.

среды. Массовый расход воздуха, проходящего через фанкойл G_v , рассчитывается по формуле

$$G_v = \rho_{v, \text{вых}} F v_{v, \text{вых}}, \quad (5)$$

где на выходе из фанкойла $\rho_{v, \text{вых}}$ — плотность воздуха при температуре и давлении, F — площадь проходного сечения, $v_{v, \text{вых}}$ — скорость воздуха.

Мощность, потребляемую вентилятором, можно определить как произведение действующего напряжения в сети U , от которого запитывается вентилятор (обычно 220 В/230 В), на действующее значение силы тока I в цепи вентилятора:

$$N_{\text{вент}} = UI. \quad (6)$$

3. Гидравлические потери при прохождении охлаждающей жидкости через теплообменник фанкойла, приводящие к увеличению потребляемой мощности жидкостного насоса:

$$\Delta S'_{\text{насоса}} = \frac{Q_{\text{нас}} \Delta p}{\eta_{\text{нас}} T_{\text{ос}}}, \quad (7)$$

где $\eta_{\text{нас}}$ — КПД насоса, $Q_{\text{нас}}$ — объемный расход жидкости, выходящей из насоса, м³/с, Δp — потеря напора жидкости при прохождении жидкостного

теплообменника в фанкойле, Па, $T_{\text{ос}}$ — температура окружающей среды, К.

Для измерения требуемых параметров использовалось следующее оборудование.

1. Термометры, измеряющие температуру воздуха на входе $T_{v, \text{вх}}$ и выходе $T_{v, \text{вых}}$ из фанкойла.
2. Термометры, измеряющие температуру охлаждающей жидкости на входе $T_{ж, \text{вх}}$ и выходе $T_{ж, \text{вых}}$ из фанкойла.
3. Манометры для измерения давления охлаждающей жидкости на входе $p_{ж, \text{вх}}$ и выходе $p_{ж, \text{вых}}$ из фанкойла.
4. Расходомер, измеряющий расход охлаждающей жидкости, протекающей через фанкойл. При пересчете использован объемный расход $Q_{ж}$.
5. Анемометры, измеряющие скорость воздуха на входе $v_{v, \text{вх}}$ и выходе $v_{v, \text{вых}}$ из фанкойла.
6. Амперметр для измерения силы тока в цепи вентилятора I .
7. Вольтметр для измерения напряжения в цепи вентилятора U .

Измерения проводились при следующих параметрах:

- давление жидкости на входе $p_{ж, \text{вх}} = 150$ Па;
- температура жидкости на входе в фанкойла $T_{ж, \text{вх}} = 7$ °С;
- температура жидкости на выходе из фанкойла $T_{ж, \text{вых}} = 12$ °С;
- напряжение $U = 220$ В;
- проходное сечение вход $0,24$ м²;
- проходное сечение выход $0,18$ м².

Таблица 1. Результаты измерений

Table 1. Measurement results

№	Время замера	Температура воздуха на входе, $T_{v, \text{вх}}$	Относительная влажность воздуха на входе, $\phi_{\text{вх}}$	Температура воздуха на выходе, $T_{v, \text{вых}}$	Относительная влажность, $\phi_{\text{нар. вых}}$	Давление жидкости на выходе, $P_{ж, \text{вых}}$	Объемный расход $Q_{ж}$	Расход воздуха	Скорость воздуха на входе $v_{v, \text{вх}}$	Скорость воздуха на выходе $v_{v, \text{вых}}$	Сила тока, I
	чч:мм	°С	%	°С	%	Па	л/с	м ³ /ч	м/с	м/с	А
1	06:00	+24	63	+12,8	95	126	0,38	1275	1,48	1,97	0,52
2	08:00	+25	57	+13,7	95	126	0,38	1275	1,48	1,97	0,52
3	10:00	+26	52	+13,7	95	126	0,38	1275	1,48	1,97	0,52
4	12:00	+27	47	+13,7	95	118	0,43	1700	1,97	2,62	0,78
5	14:00	+27	47	+13,7	95	118	0,43	1700	1,97	2,62	0,78
6	16:00	+27	47	+13,7	95	118	0,43	1700	1,97	2,62	0,78
7	18:00	+26	52	+13,7	95	118	0,43	1700	1,97	2,62	0,78
8	20:00	+25	57	+12,8	96	126	0,43	1275	1,48	1,97	0,52
9	22:00	+23	69	+12,5	96	125	0,43	1275	1,48	1,97	0,52
10	00:00	+20	91	+13,0	97	125	0,43	1275	1,48	1,97	0,52

Измерения проводились в фанкойле с расходом воздуха от 850 до 1700 м³/ч каждые два часа в течение суток (табл. 1)..

На основании результатов эксперимента проведем необходимые расчеты.

1. По температуре и относительной влажности воздуха на входе и выходе из вентилятора определяем плотность воздуха $\rho_{в,вх}$ и $\rho_{в,вых}$ при атмосферном давлении 101 325 Па (табл. 2), а также по средним параметрам ($T_{в,вх} = 19^\circ\text{C}$ и $\phi_{нар}^{вх} = 76,8\%$) теплоемкость воздуха $C_{p,в}$ рассчитываем по формуле:

$$C_{p,в} = 1,005 + 1,8d / 1000, \quad (8)$$

где 1,005 и 1,8 кДж/кг·К – теплоемкости сухого воздуха и водяного пара соответственно, $d = 10,54$ г/кг – влагосодержание воздуха при средних параметрах.

$$C_{p,в} = 1,005 + 1,8 \times \frac{10,54}{1000} = 1,024 \text{ кДж/кг·К.} \quad (9)$$

2. По формуле (5) определяем массовый расход воздуха на входе и выходе из фанкойла (результаты приведены в табл. 2). В случае несовпадения этих величин, для дальнейших вычислений берем среднее значение.
3. По разности давлений жидкости на входе и выходе определяем потерю давления (табл. 2) как:

$$\Delta p = \rho_{ж,вх} - \rho_{ж,вых}. \quad (10)$$

По средним параметрам воды ($T_{ж,ср} = 9,5^\circ\text{C}$, $\rho_{ж,ср} = 136,3$ Па) определяем величину удельной объемной теплоемкости при этих условиях:

$$C_{ж} = 4190,8 \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{K)}. \quad (11)$$

4. По формулам (1)–(3) рассчитываем производство энтропии вследствие неидеальности теплообмена в фанкойле (в табл. 3). На рис. 2 представлена гистограмма потерь энергии от неидеальности



Рис. 2. Потери энергии вследствие неидеальности теплообмена.

Fig. 2. Energy losses due to non-ideal heat transfer.

Таблица 2. Результаты измерений параметров воздуха в фанкойле

Table 2. Results of measurements of air parameters in a fan coil unit

№ замера	Время замера	Плотность воздуха $\rho_{в, вх}$	Плотность воздуха $\rho_{в, вых}$	Расход воздуха $G_{в, вх}$	Расход воздуха $G_{в, вых}$	Расход воздуха средний $G_{в, ср}$	Потеря давления Δp	Мощность вентилятора, $N_{вент}$
	чч:мм	кг/м ³	кг/м ³	кг/с	кг/с	кг/с	Па	Вт
1	06:00	1,18	1,23	0,419	0,436	0,428	24	114,4
2	08:00	1,18	1,22	0,419	0,433	0,426	24	114,4
3	10:00	1,17	1,22	0,416	0,433	0,425	24	114,4
4	12:00	1,17	1,22	0,553	0,575	0,564	32	171,6
5	14:00	1,17	1,22	0,553	0,575	0,564	32	171,6
6	16:00	1,17	1,22	0,553	0,575	0,564	32	171,6
7	18:00	1,17	1,22	0,553	0,575	0,564	32	171,6
8	20:00	1,18	1,23	0,419	0,436	0,428	24	114,4
9	22:00	1,18	1,23	0,419	0,436	0,428	25	114,4
10	00:00	1,19	1,23	0,423	0,436	0,430	25	114,4

теплообмена в зависимости от номера измерения.

- По формуле (6) определяем мощность, потребляемую вентилятором (результаты представлены в табл. 2), а по выражению (4) – производство энтропии в вентиляторе вследствие гидравлических потерь (табл. 4), температуру окружающей среды принимаем как среднюю входных и выходных температур воздуха (табл. 3).

На рис. 3 приведена величина потерь в вентиляторе для каждого измерения.

- По формуле (7) рассчитываем производство энтропии вследствие гидравлических сопротивлений жидкости при прохождении жидкостного теплообменника в фанкойле (табл. 2) и строим гистограмму в зависимости от номера измерения (рис. 4). КПД

насоса задаем, исходя из принятого прототипа гидромодуля АкваВЕНС 2.0 КН-Р4-1Н и насоса в этом гидромодуле: Ebara DWC-V 500/2.2 (КПД равен 0,862 при 100% загрузке).

- Результаты расчета производства энтропии в фанкойле представлены в табл. 4.

Таким образом, создана методика определения потерь в фанкойлах с помощью энтропийного метода, которая позволила определить составляющие потерь в фанкойле и их вклад в суммарные потери.

ВЫВОДЫ

- Анализ полученных результатов показывает, что потери, связанные с неидеальностью теплообмена в фанкойле в 10 раз выше, чем гидравлические

Таблица 3. Результаты измерений температур в фанкойле

Table 3. Results of temperature measurements in the fan coil unit

Номер замера	Время замера	Температура окружающей среды T_{oc}	Температура окружающей среды T_{oc}
№	чч:мм	°C	K
1	06:00	+18,4	291,5
2	08:00	+19,4	292,5
3	10:00	+19,9	293,0
4	12:00	+20,4	293,5
5	14:00	+20,4	293,5
6	16:00	+20,4	293,5
7	18:00	+19,9	293,0
8	20:00	+18,9	292,0
9	22:00	+17,8	290,9
10	00:00	+16,5	289,6

Таблица 4. Производство энтропии в фанкойле

Table 4. Entropy production in a fan coil unit

Номер замера	Время замера	$\Delta S_{то}$	$\Delta S_{вент}$	$\Delta S_{насос}$
№	чч:мм	Вт/К	Вт/К	Вт/К
1	06:00	11,34	0,390	3,630E-05
2	08:00	11,32	0,388	3,617E-05
3	10:00	9,90	0,388	3,611E-05
4	12:00	5,70	0,578	5,439E-05
5	14:00	5,70	0,578	5,439E-05
6	16:00	5,70	0,578	5,439E-05
7	18:00	7,63	0,579	5,448E-05
8	20:00	9,86	0,389	3,623E-05
9	22:00	12,35	0,390	3,789E-05
10	00:00	17,53	0,392	3,806E-05



Рис. 3. Величина потерь энергии в вентиляторе.

Fig. 3. Energy loss in the fan.

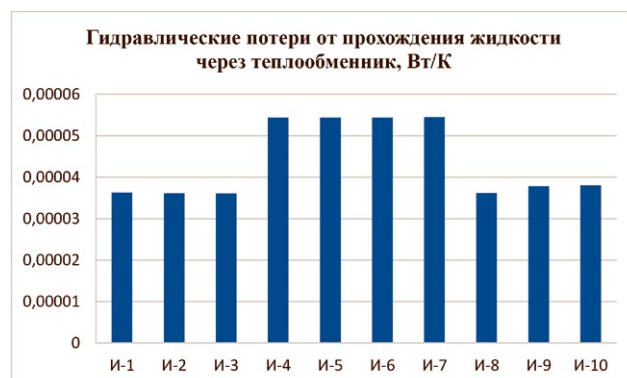


Рис. 4. Гидравлические потери от прохождения жидкости через теплообменник.

Fig. 4. Hydraulic losses from the passage of liquid through the heat exchanger.

потери при прохождении воздуха и охлаждающей жидкости через фанкойл.

2. Основным направлением для снижения потерь должно быть повышение эффективности процесса теплообмена, которое может быть достигнуто за счет увеличения площади теплообмена, и как следствие, снижения перепада температур.
3. Гидравлические потери от движения воздуха и жидкости составляют не более 10% от общего энергопотребления, и хотя вносят свой вклад в потребляемые мощности вентилятора в фанкойле и насоса в гидромодуле, несколько увеличивая их, но в то же время незначительно влияют на общее энергопотребление.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Финансирование. Статья не имеет спонсорской поддержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архаров А.М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 507 с.
2. Шишов В.В., Талызин М.С. Практическое применение энтропийно-статистического метода анализа холодильных циклов // Холодильная техника. 2015. № 3. С. 25–30.
3. Архаров А.М., Шишов В.В., Талызин М.С. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных холодильных циклов и выбор на его основе оптимальной системы холодоснабжения магазина // Холодильная техника. 2016. № 3. С. 30–34.
4. Здобнов М.И., Лавров Н.А., Шишов В.В. Анализ потерь в теплообменнике теплоутилизаторе с помощью энтропийно-статистического метода // Холодильная техника. 2019. № 2. С. 37–40.
5. Здобнов М.И., Лавров Н.А., Шишов В.В., Каракулов С.И. Анализ потерь в испарительно конденсаторном контуре центрального кондиционера с помощью энтропийно-статистического метода // Холодильная техника. 2019. № 8. С. 28–33.

REFERENCES

1. Arharov AM. Osnovy kriologii. *Jentropijno-statisticheskij analiz nizkotemperaturnyh sistem*. Moscow: Izdatel'stvo MG TU im. N. Je. Bauman, 2014, 507 p. (in Russ.).
2. Shishov VV, Talyzin MS. Prakticheskoe primenenie jentropijno-statisticheskogo metoda analiza holodil'nyh ciklov. *Refrigeration Technology*. 2015;104(3):25–30. (in Russ.). doi: 10.17816/RF98878
3. Arharov AM, Shishov VV, Talyzin MS. Jentropijno-statisticheskij analiz nizkotemperaturnyh holodil'nyh ciklov i izbor na ego osnove optimal'noj sistemy holodosnabzhenija magazina. *Refrigeration Technology*. 2016;105(3):30–34. (in Russ.). doi: 10.17816/RF99047
4. Zdobnov MI, Lavrov NA, Shishov VV. Analiz poter' v teploobmennike teploutilizatore s pomoshh'ju jentropijno-statisticheskogo metoda. *Refrigeration Technology*. 2019;108(2):37–40. (in Russ.). doi: 10.17816/RF99501
5. Zdobnov MI, Lavrov NA, Shishov VV, Karakulov SI. Analiz poter' v isparitel'no kondensatornom konture central'nogo kondicionera

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. Article is not sponsored.

Contribution of authors. All authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

ного кондиционера с помощью энтропийно-статистического метода // Холодильная техника. 2019. № 8. С. 28–33.

6. Здобнов М.И., Лавров Н.А. Анализ потерь в вентиляционных установках с помощью энтропийно-статистического метода // Холодильная техника. 2018. № 8. С. 36–41.

7. Тищенко И.В., Абалакин С.А., Меркулов В.И., Жаров А.А. Энтропийно-статистический анализ системы кондиционирования воздуха пассажирского самолета // Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения: материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 318–326.

8. Архаров А.М., Архаров И.А., Сычёв В.В., Батенин В.М., Клименко А.В. О результатах энтропийного и эксергетического анализа процесса смешения частей идеального газа разной температуры // Холодильная техника. 2014. № 7. С. 35–39.

9. Белова Е.М. Системы кондиционирования с чиллерами и фэнкойлами. М.: Изд-во Евроклимат, 2003. 400 с.

s pomoshh'ju jentropijno-statisticheskogo metoda. *Refrigeration Technology*. 2019;108(8):28–33. (in Russ.). doi: 10.17816/RF104152

6. Zdobnov MI, Lavrov NA. Analiz poter' v ventiljacionnyh ustanovkah s pomoshh'ju jentropijno-statisticheskogo metoda. *Refrigeration Technology*. 2018;107(8):36–41. (in Russ.). doi: 10.17816/RF99432

7. Tishhenko IV, Abalakin SA, Merkulov VI, et al. Jentropijno-statisticheskij analiz sistemy kondicionirovanija vozduha passazhirskogo samoleta. *Holodil'naja i kriogennaja tehnika, sistemy kondicionirovanija i zhizneobespechenija: materialy Tret'ej mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. 2020, p. 318–326. (in Russ.).

8. Arharov AM, Arharov IA, Sychov VV, et al. O rezul'tatah jentropijnogo i jeksergeticheskogo analiza processa smeshenija chastej ideal'nogo gaza raznoj temperatury // *Refrigeration Technology*. 2014;103(7):35–39. (in Russ.). doi: 10.17816/RF98779

9. Belova EM. *Sistemy kondicionirovanija s chillerami i fjenkojlami*. Moscow: Izd-vo Evroklimat, 2003, 400 p. (in Russ.).

ОБ АВТОРАХ

Осипенко Валентина Владимировна, инженер;
e-mail: region@veza.ru

***Лавров Николай Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор;
адрес: 105005, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Москва, Россия;
eLibrary SPIN: 9187-7444;
e-mail: 79035596471@yandex.ru

***Автор для переписки**

AUTHOR'S INFO

Valentin V. Osipenko, Engineer;
e-mail: region@veza.ru

***Nikolai A. Lavrov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor;
address: 5, 2-nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia;
eLibrary SPIN: 9187-7444;
e-mail: 79035596471@yandex.ru

***Corresponding author**

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF96964>

Сравнение потерь эффективности из-за перетечек для турбоагрегатов авиационных систем кондиционирования на лепестковых газодинамических подшипниках и шарикоподшипниках

В.С. Николаев^{1,2}, С.А. Абалакин², И.В. Тищенко^{1,2}¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия² ПАО НПО «Наука», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Конструкторы турбомашин стремятся повысить эффективность процесса расширения сжатых газов путём уменьшения всевозможных энергетических потерь, которые происходят, в частности, из-за наличия зазоров между рабочим колесом и корпусными элементами турбомшины.

Цель – оценить возможное повышение эффективности при уменьшении радиального и осевого зазора между лопатками радиально-осевого рабочего колеса и корпусом турбодетандера в конструкциях турбомашин на шарикоподшипниках и лепестковых газодинамических подшипниках.

Материалы и методы. Сравнение величины радиального и осевого зазора между лопатками радиально-осевого рабочего колеса и корпусом турбодетандера в конструкциях турбомашин на шарикоподшипниках и лепестковых газодинамических подшипниках выполнялось с помощью анализа опыта разработки турбомашин отечественными и зарубежными специалистами. Приводятся модели оценки потерь эффективности турбодетандера в зависимости от величины радиального и осевого зазоров. Выполнен сравнительный расчёт потери эффективности для турбохолодильников средней и большой холодопроизводительности авиационных систем кондиционирования воздуха.

Результаты и их применение. На основании проведенных расчетов сделан вывод о преобладании влияния радиального зазора. Расчёт показал, что для турбохолодильника средней холодопроизводительности (16 кВт, 2 рабочих колеса) при уменьшении зазоров между рабочим колесом и корпусом в конструкции на лепестковых подшипниках в среднем можно рассчитывать на увеличение КПД на 2,3%, а для турбохолодильника большой производительности (55 кВт, 3 или 4 рабочих колеса) – от 0,75 до 1,4%. Сделан вывод о целесообразности проведения работ по уменьшению радиальных зазоров в конструкциях турбомашин на лепестковых газодинамических подшипниках.

Ключевые слова: турбохолодильник, турбодетандер, КПД, потери, лепестковые газодинамические подшипники, радиальный зазор, осевой зазор

Для цитирования:

Николаев В.С., Абалакин С.А., Тищенко И.В. Сравнение потерь эффективности из-за перетечек для турбоагрегатов авиационных систем кондиционирования на лепестковых газодинамических подшипниках и шарикоподшипниках // Холодильная техника. 2022. Т. 111, № 1. С. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF96964>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF96964>

Comparison of efficiency losses due to leaks for turbine units of aviation air conditioning systems with petal-type gas-dynamic bearings and ball bearings

Vitaly S. Nikolaev^{1,2}, Sergey. A. Abalakin², Igor V. Tishchenko^{1,2}

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

² PJSC NPO Nauka, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Designers of turbomachines strive to increase the efficiency of expanding compressed gases by reducing all kinds of energy losses, particularly due to clearances between the impeller and the body elements of the turbomachine.

AIM: This article aimed to evaluate a possible increase in efficiency with a decrease in the radial and axial clearance between the blades of a radial-axial impeller and the casing of a centrifugal expander in the designs of turbomachines with ball bearings and petal-type gas-dynamic bearings.

MATERIALS AND METHODS: The radial and axial clearances between the blades of the radial-axial impeller and the centrifugal expander casing in the designs of turbomachines with ball bearings and petal-type gas-dynamic bearings were compared by analyzing the experience of Russian and international experts in developing turbomachines. Models were presented for estimating the efficiency losses of a centrifugal expander depending on the value of the radial and axial clearances. A comparative calculation of the efficiency loss for medium- and high-cooling-capacity refrigeration turbines of aircraft air conditioning systems was performed.

RESULTS: Based on the calculations, a conclusion was derived about the predominance of the influence of the radial clearance. The calculations revealed that with a decrease in the clearances between the impeller and the casing in a design with petal-type bearings, a refrigeration turbine of medium cooling capacity (16 kW, 2 impellers) can be expected to experience an increase in efficiency by an average of 2.3%; this expected increase is 0.75% to 1.4% for a high-capacity refrigeration turbine (55 kW, 3 or 4 impellers). Findings indicate that performing works to reduce radial clearances in the designs of turbomachines with petal-type gas-dynamic bearings is necessary.

Keywords: refrigeration turbine, centrifugal expander, efficiency, losses, petal-type gas-dynamic bearings, radial clearance, axial clearance

To cite this article:

Nikolaev VS, Abalakin SA, Tishchenko IV. Comparison of Efficiency Losses Due to Leaks for Air Cycle Machine of Aircraft Air Conditioning Systems on Foil Gas-Dynamic Bearings and Ball Bearings. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):13–20. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF96964>

Турбомашины – весьма полезные, а зачастую и ключевые элементы холодопроизводящих технологических процессов. В частности, авиационные системы кондиционирования воздуха оснащаются турбохолодильными агрегатами для охлаждения воздуха, подаваемого от компрессора двигателя в гермокабину для обеспечения дыхания экипажа и пассажиров [1]. Современные турбохолодильники гражданских воздушных судов имеют в конструкции от 2-х до 4-х рабочих колёс. Роторы таких турбохолодильников устанавливаются на лепестковые газодинамические подшипники, обладающие по сравнению с опорами качения повышенным ресурсом и не требующие системы смазки и обслуживания.

Конструкторы турбомашин стремятся повысить эффективность процесса расширения сжатых газов путём уменьшения всевозможных энергетических потерь. Схема проточной части турбодетандера приведена на рис. 1. Наряду с такими факторами снижения эффективности, как потери на трение, потери при неравновесном расширении при изменении геометрии проточной части и утечки рабочего тела, существенные потери вызывает наличие зазоров между рабочим колесом и корпусными элементами турбомашин. Наличие зазоров влечет переток рабочего тела в обход колеса без совершения газом работы. Таким образом, при создании турбомашин для повышения эффективности необходимо стремиться минимизировать величины этих зазоров.

В то же время зазоры не могут быть слишком малы ввиду того, что во время работы турбомашин возникают различные вибрации, вызванные как внутренними (переходные процессы), так и внешними причинами (внешняя вибрация, ударные нагрузки, линейное ускорение). Зазоры необходимы для исключения возможности касания движущихся частей ротора (колёс, бесконтактных уплотнений) с неподвижными корпусными частями. Касания могут привести к износу и даже разрушению деталей турбомашин и её выходу из строя.

Таким образом, необходимо искать оптимальную величину зазоров.

Точкой отсчёта при назначении зазоров служит зазор в подшипниках. На рис. 2 приведены характерные зазоры в подшипниках качения и лепестковых газодинамических подшипниках 2-го поколения. Если в подшипниках качения величина зазора сравнительно мала (порядка 10–20 мкм) и трудно поддаётся регулированию, то в газодинамических подшипниках, особенно лепестковых, которые зачастую проектируются под конкретную машину, эта величина может существенно варьировать: от 30 мкм для монтажного зазора, кроме того, прибавляется ещё и высота гофров демпфирующего элемента, на которую может перемещаться ротор $h = 0,1–0,3$ мм.

В нашей стране и за рубежом экспериментальные исследования влияния зазоров начали проводить с 1950-х

годов [2, 3, 4]. Многолетний опыт отечественных учёных суммирован в учебнике В.И. Епифановой [5]. Подобные исследования проводились и в NASA: Futural и Holeski в [6] показывают, что влияние радиального зазора значительно выше, чем влияние осевого зазора; к аналогичным выводам пришли Давыдов и др. [7], а также

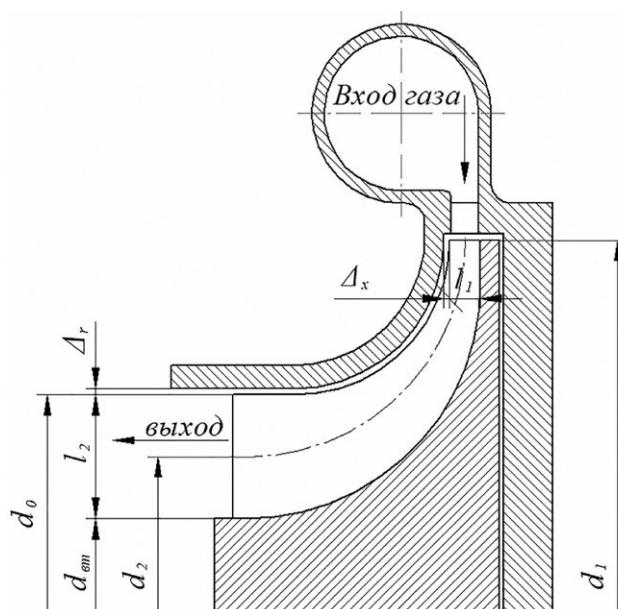


Рис. 1. Схема течения газа в проточной части радиально-осевой турбины: d_1 – наружный диаметр колеса, d_2 – средний диаметр колеса на выходе, d_0 – диаметр воронки колеса, d_{em} – диаметр втулки колеса, l_1 , l_2 – высота лопатки на входе и выходе из колеса, соответственно, Δ_x – величина осевого зазора, Δ_r – величина радиального зазора.

Fig. 1. Scheme of gas flow in the flow path of a radial-axial turbine: d_1 – outer diameter of the impeller, d_2 – average diameter of the impeller at the outlet, d_0 – diameter of the impeller funnel, d_{em} – diameter of the impeller hub, l_1 and l_2 – blade height at the impeller inlet and outlet, respectively, Δ_x – axial clearance, Δ_r – radial clearance.

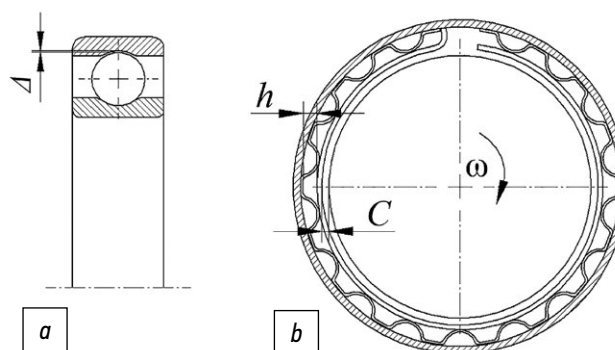


Рис. 2. Источники зазоров в шариковом подшипнике качения (a) и лепестковом газодинамическом подшипнике (b): Δ – радиальный зазор; C – монтажный зазор, h – высота гофров упругого демпфера.

Fig. 2. Sources of clearances in a ball bearing (a) and a petal-type gas-dynamic bearing (b): Δ – radial clearance; C – mounting clearance, h – height of the corrugations of the elastic damper.

Dambach и соавт. в [8]. В работах [5, 9, 10] величина осевого зазора не входит в формулы оценки потери эффективности. В [11] Persky и соавт. и в [12] Cho и соавт. рассматриваются различные комбинации моделей потерь в проточной части для получения лучшей оценки эффективности турбины.

МОДЕЛИ ПОТЕРЬ

Рассмотренные в данной работе методики оценки потерь сведены в таблице. Остановимся на них подробнее. Модели делятся на две группы: оценивающие непосредственно уменьшение изэнтропного КПД $\delta\eta_s = \eta_s - \eta_{\text{действ}}$ или некоторое соотношение, позволяющее его оценить: например, это оценка потери удельной холодопроизводительности (уменьшение действительной разности энтальпии процесса расширения) δh . Тогда потеря КПД выражается как отношение потери удельной холодопроизводительности к максимальной удельной разности энтальпий $\delta\eta_s = \delta h / \Delta h_s$.

Наиболее простую оценку потери эффективности (см. таблицу) можно получить с помощью формулы (1), предложенной в работе [10]. Более сложная формула (2) связывает потерю холодопроизводительности процесса расширения со скоростью потока газа на входе [11]. Формулы (3) и (4) связывают величину потерь и конструктивные параметры рабочего колеса [5, 9]. Формулы (5)–(8) аппроксимируют экспериментальные данные [6–8, 13].

Отсутствие осевого зазора во многих из представленных моделей также говорит о его слабом влиянии на эффективность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мы проанализировали три конфигурации турбохолодильников: средней мощности с холодопроизводительностью 16 кВт, крупный – с холодопроизводительностью 55 кВт и аналогичный турбохолодильник с двумя ступенями расширения. Для всех вариантов расширение начинается с температурного уровня 308 К.

Для указанных типоразмеров турбохолодильников рассмотрены два варианта назначения радиальных зазоров: первый, когда в конструкции заложены шарикоподшипники на упругих кольцах, и второй, когда ротор турбохолодильника опирается на лепестковые газодинамические подшипники. Ввиду малости конструктивных зазоров в шарикоподшипниках, а соответственно и малых зазоров между рабочими колёсами и корпусом, этот случай будем считать «оптимальным» зазором. Во втором случае, так как на практике неизвестны возможные перемещения ротора в лепестковых подшипниках, назначается «гарантированный» зазор, исключающий возможность касания колёс и корпуса. Обычно гарантированный зазор для лепестковых подшипников

как минимум в несколько раз больше зазора для шарикоподшипников.

Сравним потери эффективности в описанных конструкциях в зависимости от величин зазоров и характер изменения этих потерь.

Предварительный анализ показал, что только модели (5) и (7) пригодны для оценки потерь при увеличении относительного осевого зазора, остальные модели не учитывают осевые зазоры для современных турбомашин либо дают некорректные результаты. Модели (5) и (7) показывают, что для увеличения КПД на 1% требуется на порядок уменьшить величину осевого зазора. Однако это возможно при применении мягких (например, графитовых) либо адаптивных уплотнений. Вообще расчёт и обеспечение осевого зазора в конструкциях турбомашин на шарикоподшипниках и на газодинамических подшипниках принципиально не различается. Поэтому далее мы не будем обсуждать влияние осевого зазора и примем его постоянным.

На рисунках 3–5 представлены графики зависимости относительного адиабатического КПД $\bar{\eta}_s = \frac{\eta_s - \delta\eta_s}{\eta_s}$,

который выражает зависимость потери эффективности от величины зазоров при увеличении относительного радиального зазора $\bar{\Delta}_r = \frac{\Delta_r}{l_2}$.

Повышение адиабатического КПД при уменьшении зазора можно оценить по следующему соотношению:

$$\Delta\eta_s = \eta_{s,\max} \left(\frac{1}{\bar{\eta}_{s,\text{исходный_зазор}}} - \frac{1}{\bar{\eta}_{s,\text{уменьшенный_зазор}}} \right).$$

Рисунок 3 иллюстрирует следующее: для турбохолодильника среднего размера оценки разделились на две группы. Первая, в которую входят формулы (3)–(6), показывает сильное падение эффективности при применении газодинамических подшипников: потеря КПД турбодетандера при увеличении относительного радиального зазора $\bar{\Delta}_r$ может составлять от 3,2 до 4,9%, по сравнению с шарикоподшипниками. Вторая группа, в которую входят формулы (1), (7) и (8), напротив, показывает слабую зависимость относительного КПД от относительной величины радиального зазора (потеря от 0,1 до 0,5%). Среднее положение занимает оценка по формуле (2): КПД меньше на 1,9%.

Таким образом, можно сделать вывод, что в среднем можно рассчитывать на повышение КПД на 2,3%, если удастся приблизить значение зазора для турбохолодильника на лепестковых подшипниках к зазору турбохолодильника на шарикоподшипниках.

Для турбохолодильника большой холодопроизводительности (рис. 4) оценки в целом сходятся в величине утечки при назначении гарантированного зазора. Однако предсказание уменьшения потерь при уменьшении

Таблица. Методики оценки потерь**Table.** Loss estimation methods

Формула	Соотношения для оценки потери эффективности	Потеря эффективности	Ссылка
(1)	–	$\delta\eta_s = 0,1\bar{\Delta}_r$	[10]
(2)	$\delta h = 0,4\bar{\Delta}_r c_1^2$	$\delta\eta_s = \delta h / \Delta h_s$	[11]
(3)	–	$\delta\eta_s = 2\bar{\Delta}_r \left(\frac{r_2}{r_1} - 0,275 \right)$	[9]
(4)	$\alpha_{\text{утечки}} = \frac{4\mu_{\text{зав}} \Delta_r / d_0}{\tau_2 (1 - \xi_{\text{вт}}^2)}$	$\delta\eta_s = \eta_r \alpha_{\text{утечки}}$	[5]
(5)	–	$\bar{\eta}_s = 1,02 - 1,852\bar{\Delta}_r + 10,226\bar{\Delta}_r^2 -$ $-0,279\bar{\Delta}_x + 0,9\bar{\Delta}_x^2 - 1,258\bar{\Delta}_x\bar{\Delta}_r$	[6]
(6)	–	$\delta\eta_s = 1,017 - 0,5\frac{\Delta_r}{l_1} + 0,55\left(\frac{\Delta_r}{l_1}\right)^2 -$ «для крупных ТД»	[7]
(7)	$\delta h = \frac{u_1^3 Z_1}{8\pi} (K_x \Delta_x C_x + K_r \Delta_r C_r)$	$\delta\eta_s = \delta h / \Delta h_s$	[13]
(8)	$\delta h = \frac{u_1^3 Z_1}{8\pi} (K_x \Delta_x C_x + K_r \Delta_r C_r + K_{xr} \sqrt{\Delta_x C_x \Delta_r C_r})$	$\delta\eta_s = \delta h / \Delta h_s$	[8]

Примечание. Конструктивные параметры см. на рис. 1. $r_1 (d_1)$ – наружный радиус (диаметр) входа колеса, мм; $r_2 (d_2)$ – средний радиус (диаметр) выхода колеса, мм; d_0 – диаметр воронки колеса; Δ_r – величина радиального зазора, мм; Δ_x – величина осевого зазора, мм; $\bar{\Delta}_r = \Delta_r / l_2$ – относительная величина радиального зазора; $\bar{\Delta}_x = \Delta_x / l_1$ – относительная величина радиального зазора; c_1 – абсолютная скорость потока рабочего газа на входе в колесо, м/с; u_1 – окружная скорость колеса на входе, м/с; Z_1 – количество лопаток на входе в колесо; $\mu_{\text{зав}} = 0,5 \dots 0,8$ – коэффициент расхода; $\xi_{\text{вт}}$ – втулочное отношение колеса [5]; τ_2 – коэффициент стеснения проходного сечения на выходе из колеса [5]; $K_x = 0,4$, $K_r = 0,75$, $K_{xr} = -0,3$; $C_x = \frac{1 - d_2 / d_1}{C_{1u} \cdot l_1}$, $C_r = \frac{d_2}{d_1} \frac{\Delta_x}{C_{2u} d_2 l_2}$.**Note.** Design parameters are given in Fig. 1. $r_1 (d_1)$ – outer radius (diameter) of the impeller inlet, mm; $r_2 (d_2)$ – average radius (diameter) of the impeller outlet, mm; d_0 – impeller funnel diameter; Δ_r – radial clearance, mm; Δ_x – axial clearance, mm; $\bar{\Delta}_r = \Delta_r / l_2$ – relative value of the radial clearance; $\bar{\Delta}_x = \Delta_x / l_1$ – relative value of the radial clearance; c_1 – absolute velocity of the working gas flow at the impeller inlet, m/s; u_1 – circumferential speed of the impeller at the inlet, m/s; Z_1 – number of blades at the impeller inlet; $\mu_{\text{зав}} = 0,5 \dots 0,8$ – flow rate; $\xi_{\text{вт}}$ – hub-tip ratio of the impeller [5]; τ_2 – constraint coefficient of the passage section at the impeller outlet [5]; $K_x = 0,4$, $K_r = 0,75$, $K_{xr} = -0,3$; $C_x = \frac{1 - d_2 / d_1}{C_{1u} \cdot l_1}$, $C_r = \frac{d_2}{d_1} \frac{\Delta_x}{C_{2u} d_2 l_2}$.

зазора различается. Наиболее оптимистичная оценка, по формуле (6), показывает, что при уменьшении радиального зазора в 2 раза КПД увеличится на 3,4%. По наиболее пессимистичной оценке, формуле (8), увеличение произойдёт только на 0,1%, а в среднем – на 1,4%

Помимо конструктивного совершенствования проточной части турбодетандера в наиболее современных

и совершенных системах кондиционирования воздуха применяются схемы с расширением воздуха в двух ступенях с промежуточным теплообменом и влагоотделением. На рис. 5, А, В представлены графики оценок потери эффективности от величины радиального зазора в турбохолодильнике большой холодопроизводительности с двумя ступенями расширения. При уменьшении возможного перемещения ротора в радиальном

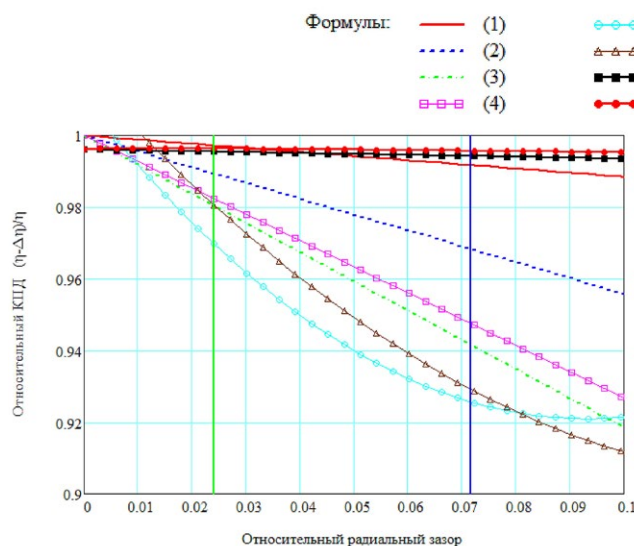


Рис. 3. Графики оценок потери эффективности от величины радиального зазора в турбодетандере средней холодопроизводительности (16 кВт) турбохолодильника на лепестковых газодинамических подшипниках, $\eta_{s,max}=0,864$ (см. источники формул в таблице).

Fig. 3. Graphs of estimates of efficiency loss as a function of the radial clearance in the centrifugal expander of medium cooling capacity (16 kW) of the refrigeration turbine on petal-type gas-dynamic bearings, $\eta_{s,max}=0,864$ (the formula sources are given in Table).

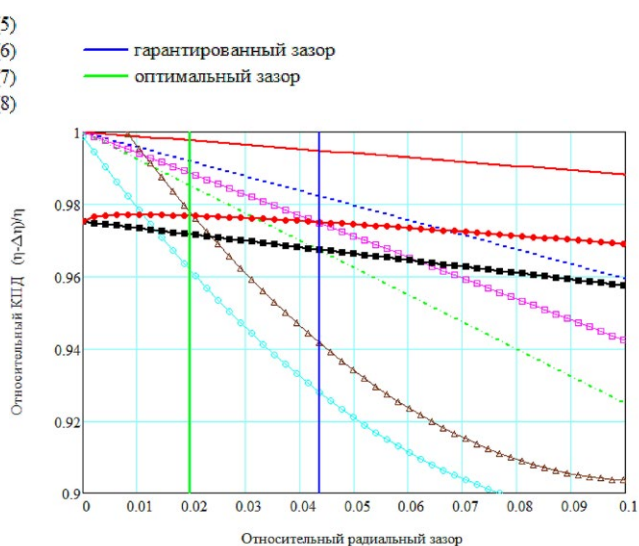


Рис. 4. Графики оценок потери эффективности от величины радиального зазора в турбодетандере большой холодопроизводительности (55 кВт) турбохолодильника на лепестковых газодинамических подшипниках, $\eta_{s,max}=0,850$ (обозначения см. на рис. 3).

Fig. 4. Graphs of estimates of efficiency loss as a function of the radial clearance in the centrifugal expander with a large cooling capacity (55 kW) of a refrigeration turbine on petal-type gas-dynamic bearings, $\eta_{s,max}=0,850$ (designations are given in Fig. 3).

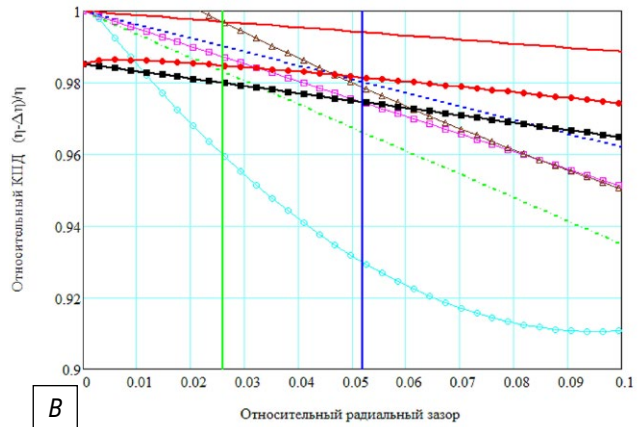
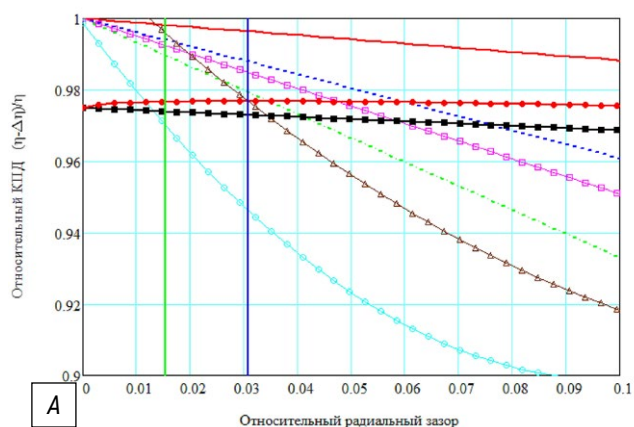


Рис 5. Графики оценок потери эффективности от величины радиального зазора в крупном турбохолодильнике на лепестковых газодинамических подшипниках с двумя ступенями расширения. А – в первой ступени (холодопроизводительность 23 кВт), $\eta_{s,max.1}=0,852$; В – во второй ступени (холодопроизводительность 24,7 кВт), $\eta_{s,max.2}=0,877$ (обозначения см. на рис. 3).

Fig. 5. Graphs of estimates of efficiency loss as a function of the value of the radial clearance in a large refrigeration turbine on petal-type gas-dynamic bearings with two stages of expansion. А – stage 1 (cooling capacity 23 kW), $\eta_{s,max.1}=0,852$; В – stage 2 (cooling capacity 24.7 kW), $\eta_{s,max.2}=0,877$ (designations are given in Fig. 3).

подшипнике в 2 раза КПД первой ступени в среднем увеличится на 0,8%, второй – на 1,2%. При равных степенях расширения общий КПД процесса расширения увеличится на 1,0%.

ВЫВОДЫ

Проведённый анализ показывает, что назначение гарантированного зазора между лопатками рабочего колеса и корпусом турбодетандера не оптимально, так как снижает максимальный возможный КПД.

Большинство исследователей отмечают преобладающее влияние зазора Δ_r между корпусом и радиальной частью радиально-осевого рабочего колеса по сравнению с осевым зазором Δ_x в снижении КПД.

Следует тщательно анализировать возможные перемещения ротора турбоагрегата транспортной системы кондиционирования воздуха на основных и переходных режимах работы, а также в условиях воздействия внешних механических факторов, таких как линейное ускорение, синусоидальная и случайная вибрации и различные ударные нагрузки.

Результаты подробного анализа позволяют назначить обоснованную величину радиального зазора в конструкциях на лепестковых газодинамических подшипниках, приблизить его значение к величинам зазоров

в конструкциях на подшипниках качения, установленных на упругих кольцах, и в некоторых случаях повысить КПД ступени на несколько процентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Финансирование. Статья не имеет спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. Article is not sponsored.

Competing interests. The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Contribution of authors. All authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяченко Ю.В., Спарин В.А., Чичиндаев А.В. и др. Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. 319 с.
2. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. М.; Л. Машиностроение, 1964. 336 с.
3. Чистяков Ф.М. Холодильные турбоагрегаты. М.: Машиностроение, 1967. 287 с.
4. Эккерт Б. Осевые и центробежные компрессоры: Применение, теория, расчет: пер. с нем. М.: Машгиз, 1959. 679 с.
5. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашин радиального типа: учебник для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 623 с.
6. Futral S.M., Holeski D.E. Experimental results of varying the blade-shroud clearance in a 6.02-inch radial-inflow turbine // National Aeronautics and Space Administration. 1970.
7. Давыдов А.Б., Кобулашвили А.Ш., Шерстюк А.Н. Расчёт и конструирование турбодетандеров. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
8. Dambach R., Hodson H.P., Huntsman I. Turbomachinery Committee Best Paper Award: An Experimental Study

REFERENCES

1. D'yachenko JuV, Sparin VA, Chichindaev AV, et al. *Sistemy zhizneobespecheniya letatel'nykh apparatov*. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU; 2019. 319 p. (In Russ.).
2. Ris VF. *Centrobezhnyye kompressornyye mashiny*. Moscow, Leningrad: Mashinostroyeniye; 1964. 336 p.

- of Tip Clearance Flow in a Radial Inflow Turbine. *J. Turbomach.* 1998. № 121. C. 644–650. DOI: 10.1115/1.2836716
9. Krylov E.P., Spunde Y.A. About the influence of the clearance between the working blades and housing of a radial turbine on its exponent. // *Physics, Engineering.* 1967. 9 June.
10. Rodgers C. A cycle analysis technique for small gas turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Conference Proceedings*, Vol. 183. SAGE Publications Sage UK, London, England, 1968, p. 37–49.
11. Persky R., Sauret E. Loss models for on and off-design performance of radial inflow turbomachinery. *Applied Thermal Engineering.* 2019;150:1066–1077. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.042
12. Cho S.K., Lee J., Lee J.I. Comparison of loss models for performance prediction of radial inflow turbine. *International Journal of Fluid Machinery and Systems.* 2018;11(1):97–109. DOI: 10.5293/ijfms.2018.11.1.097
13. Moustapha H., Zelesky M., Baines N.C. et al. *Axial and Radial Turbines*. Vol. 2. Concepts ETI, Inc., 2003. 358 p.

3. Chistjakov FM. *Holodil'nye turboagregaty*. Moscow: Mashinostroyeniye; 1967. 287 p. (In Russ.).
4. Jekkert B. *Osevyie i centrobezhnyye kompressory: Primenenie, teorija, raschet: perevod s nemeckogo*. Moscow: Mashgiz; 1959. 679 p. (In Russ.).

5. Epifanova VI. *Kompressornye i rasshiritel'nye turbomashiny radial'nogo tipa: uchebnik dlja vuzov*. Moscow: Izdatel'stvo MG TU im. N. Je. Bauman; 1998. 623 p. (In Russ.).
6. Futral SM, Holeski DE. Experimental results of varying the blade-shroud clearance in a 6.02-inch radial-inflow turbine. National Aeronautics and Space Administration, 1970.
7. Davydov AB, Kobulashvili ASH, Sherstjuk AN. Raschjot i konstruirovaniye turbodetandorov. Moscow: Mashinostroenie; 1987. 232 p. (In Russ.).
8. Dambach R, Hodson HP, Huntsman I. Turbomachinery Committee Best Paper Award: An Experimental Study of Tip Clearance Flow in a Radial Inflow Turbine. *J. Turbomach.* 1999;121(4):644–650. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2836716>
9. Krylov EP, Spunde YaA. About the influence of the clearance between the working blades and housing of a radial turbine on its exponent. *Physics, Engineering.* 9 June 1967.
10. Rodgers C. A cycle analysis technique for small gas turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Conference Proceedings*, Vol. 183. SAGE Publications Sage UK, London, England; 1968. p. 37–49.
11. Persky R, Sauret E. Loss models for on and off-design performance of radial inflow turbomachinery. *Applied Thermal Engineering.* 2019;150:1066–1077. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.042
12. Cho SK, Lee J, Lee JI. Comparison of loss models for performance prediction of radial inflow turbine. *International J. of Fluid Machinery and Systems.* 2018;11(1):97–109. doi: 10.5293/ijfms.2018.11.1.097
13. Moustapha H, Zelesky M, Baines NC, et al. *Axial and Radial Turbines*. Vol. 2. Concepts ETI, Inc.; 2003. 358 p.

ОБ АВТОРАХ

***Николаев Виталий Станиславович**, аспирант;
адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1;
eLibrary SPIN: 5847-3632;
e-mail: vs.nikolaev.bmstu@gmail.com

Абалакин Сергей Александрович, инженер-конструктор;
e-mail: SA.Abalakin@gmail.com

Тищенко Игорь Валерьевич, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 5630-4301;
Scopus Author ID 632877;
e-mail: iv.tishchenko@bmstu.ru

*Автор для переписки

AUTHOR'S INFO

***Vitaly S. Nikolaev**, Postgraduate Student;
address: 5, 2-nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia;
eLibrary SPIN: 5847-3632;
e-mail: vs.nikolaev.bmstu@gmail.com

Sergey. A. Abalakin, Design Engineer;
e-mail: SA.Abalakin@gmail.com

Igor V. Tishchenko, Ph.D. (Engin.), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 5630-4301;
Scopus Author ID 632877;
e-mail: iv.tishchenko@bmstu.ru

*Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105246>

Анализ продолжительности низкотемпературной циркуляционной заправки адсорбционной системы аккумулирования метана при помощи программного пакета ANSYS Fluent

И.Д. Шелякин

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Системы адсорбированного природного газа являются перспективной альтернативой сжиженному природному газу высоких давлений и сжиженному природному газу низких температур. Системы адсорбированного природного газа позволяют аккумулировать метан при меньших энергозатратах и с повышенной пожаровзрывобезопасностью вследствие «связанного» состояния газа в порах. Однако процесс заправки осложняется тепловыми эффектами адсорбции, снижающими энергетическую эффективность метода и требующими дополнительного терморегулирования. Проведено исследование продолжительности низкотемпературной циркуляционной заправки элементарной адсорбционной ячейки различных геометрий при разных режимах по температуре и давлению. Критерием окончания заправки выбрано достижение количества аккумулированного метана в 95% от предельного значения, постоянного для всех рассматриваемых случаев. В результате моделирования отмечено сокращение продолжительности аккумулирования газа при повышении рабочего давления. Установлено, что на длительность заправки значительное влияние оказывает диаметр отверстия газового канала, необходимого для снижения гидравлического сопротивления слоя адсорбента: с увеличением диаметра канала с 4 до 6 мм продолжительность заправки в среднем уменьшилась на 138 с, или на 25%. Вдвое меньший эффект, около 13%, наблюдался при увеличении диаметра с 2 до 4 мм, что обусловлено изменением характера охлаждения.

Ключевые слова: математическое моделирование, вычислительная гидродинамика, пористая среда, адсорбция, адсорбент, метан, процессы тепло- и массообмена, хранение метана, метод конечных элементов, циркуляционная заправка

Как цитировать:

Шелякин И.Д. Анализ продолжительности низкотемпературной циркуляционной заправки адсорбционной системы аккумулирования метана при помощи программного пакета ANSYS Fluent // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111. № 1. С. 21–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105246>

DOI <https://doi.org/10.17816/RF105246>

Analysis of the duration of the low-temperature circulation charging of an adsorption methane storage system using the ANSYS Fluent software package

Igor D. Shelyakin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Adsorbed natural gas (ANG) systems are a promising alternative to the high-pressure compressed natural gas and low-temperature liquefied natural gas. ANG systems accumulate methane with lower energy consumption and an increased fire and explosion safety due to the gas-bound state in the pores. However, the charging process is complicated due to the thermal effects of adsorption, which reduce the method's energy efficiency, thus needing an additional thermal control. A study of the duration of low-temperature circulation charging of an elementary adsorption cell of various geometries was conducted under different temperature and pressure modes. The charging completion criterion was achieving 95% limit value of the amount of accumulated methane, which was constant for all considered cases. As a result of modeling, a reduction in the duration of gas accumulation was observed with an increase in the operating pressure. It has been established that the charging time is significantly affected by the gas channel opening diameter, required to reduce the hydraulic resistance of the adsorbent layer as when the channel diameter increased from 4 to 6 mm, the charging time decreased by 138 s or 25% on an average. A twofold smaller effect of ~13% was registered with an increase in the diameter from 2 to 4 mm due to the changing cooling nature.

Keywords: mathematical modeling; computational fluid dynamics; porous medium; adsorption; adsorbent; methane; heat and mass transfer; methane storage; finite element method, circulation charging

To cite this article:

Shelyakin ID. Analysis of the duration of low-temperature circulating charging of an adsorption methane storage system using the ANSYS Fluent software package. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):21–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105246>

Received: 19.03.2022

Accepted: 11.06.2022

Published: 24.08.2022

ВВЕДЕНИЕ

Технология адсорбированного природного газа (АПГ) является одним из наиболее актуальных направлений развития систем хранения газа, в частности за счет высокой энергоэффективности [1], отсутствия экстремально высоких давлений и криогенных температур, а также повышенной пожаровзрывобезопасности [2]. Однако из-за значительных тепловых эффектов процессов адсорбции и десорбции, приводящих к существенному изменению температуры адсорбента и влияющих на эффективность всей системы, требуется разработка новых подходов к организации процессов заправки и выдачи в системах АПГ и их терморегулированию. Как правило, для снижения влияния тепловых эффектов могут быть использованы специальные системы терморегулирования: теплообменники, установленные внутри [3–5] или снаружи [3, 6–8] адсорбера–аккумулятора АПГ, а также циркуляционные контуры рабочего газа [9–11] с охлаждением/нагревом во внешнем теплообменнике [10–13]. Поскольку в случае циркуляционной системы АПГ агентом, снимающим теплоту адсорбции, может являться сам поглощаемый адсорбентом природный газ (ПГ), возникает вопрос о конструктивном исполнении и структуре адсорбционного слоя.

Применение низкотемпературной циркуляционной заправки особенно актуально при использовании моноблочного адсорбента с системой проточных каналов для снижения гидравлического сопротивления адсорбционного слоя [9, 10]. Подобное решение позволяет одновременно увеличить количество аккумулируемого вещества за счет высокой плотности моноблоков и сохранить достаточный расход газового потока. Согласно [10, 11] понижение температуры подаваемого газа позволяет значительно улучшить пожаровзрывобезопасные характеристики заправочной системы, но может привести к замедлению процесса заправки [10, 11].

Математическое моделирование является одним из основных методов исследования процессов тепломассопереноса, происходящих при заправке и выдаче ПГ из адсорбера–аккумулятора. Чаще всего рассматривают одномерные [7, 8, 11] и двумерные [4, 6, 9, 12, 13] математические модели с учетом осесимметричной конструкции адсорберов. Модели с сосредоточенными параметрами [3, 14] и трехмерные модели [5] встречаются сравнительно редко. Помимо «конвективных» моделей [4–6], рассматриваются также математические модели «эквивалентной теплопроводности» [7, 8]. В работе [15] сравниваются результаты расчета процессов тепломассопереноса при заправке адсорбера объемом 150 мл по одномерной, двумерной и трехмерной моделям и делаются выводы об адекватности использования математических моделей различной сложности. Для задач моделирования терморегулируемых систем

хранения АПГ авторы данной работы рекомендуют использовать двумерные и трехмерные модели. Одномерные модели рекомендуются только для предварительных расчетов.

Относительно часто встречаются статьи по моделированию процесса адсорбции непосредственно в среде ANSYS Fluent. В ряде работ Л.Л. Васильева, Л.Е. Канончика и др. [4, 12] приводятся различные исследования на тему хранения и терморегулирования АПГ. Моделирование адсорбции в упомянутых исследованиях осуществляется при помощи теории объемного заполнения микропор с учетом теплового эффекта адсорбции в виде изостерической теплоты адсорбции при дополнительном влиянии теплоемкой массы адсорбата. Наиболее распространенным упрощением в таких моделях является пренебрежение ограниченностью интенсивности теплообмена [4, 5, 7, 8, 14], что оправдано из-за высокоразвитой поверхности адсорбента.

Математическая модель, используемая в данном исследовании подобна двумерным моделям в [4, 12], однако учитывает особенности трехмерной геометрии, а также свойства реального газа и использует при расчете гладкие аппроксимационные функции экспериментальных данных по адсорбции $\alpha(p, T)$ и удельной энтальпии адсорбата $h_{ab}(a, T)$. При помощи данной математической модели в рамках теоретического исследования проводится анализ продолжительности низкотемпературной циркуляционной заправки методом математического моделирования в ANSYS Fluent при различных режимах по температуре и давлению, а также геометрических параметрах элементарной ячейки.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

При использовании моноблочного адсорбента с проточными каналами, расположенными в шахматном порядке [11], можно выделить ячейку в форме шестиугольной призмы, включающую только одно отверстие, что может существенно сократить время расчетов. Поскольку шестиугольная призма симметрична, достаточно рассмотреть 1/6 часть ячейки, «вырезанной» из моноблока адсорбента (рис. 1).

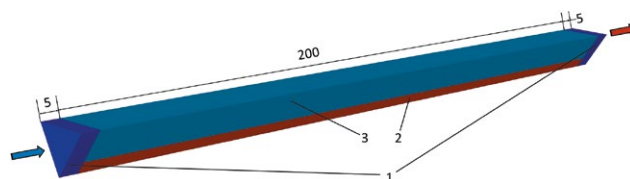


Рис. 1. Геометрия расчетной области: 1 – торцевые области газовой фазы метана; 2 – зона газовой фазы метана в проточной части; 3 – область адсорбента.

Fig. 1. Geometry of the computational domain: 1—end regions of methane gas phase; 2—methane gas phase zone in the flow part; 3—the adsorbent region.

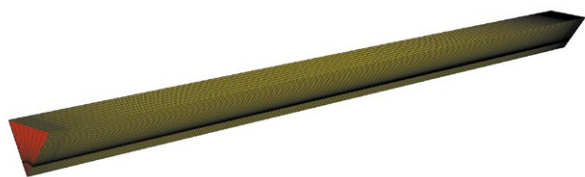


Рис. 2. Структурированная сетка расчетной области.

Fig. 2. Structural grid of the computational domain.

Структурированная сетка расчетной области, состоящая из 562 380 элементов, изображена на рис. 2.

Выбранный масштаб расчетной сетки обеспечивает точность определения продолжительности заправки с погрешностью не более 1 с, что является достаточным для рассматриваемых временных интервалов. Отметим, что дальнейшее сокращение расчетной области до 1/12 от изначальной ячейки нецелесообразно, так как приводит к трудностям при создании структурированной сетки высокого качества и компактности.

Для учета течения части общего потока через торцевую поверхность зоны адсорбента область 3 газовой фазы метана представляет собой проточную часть в сегменте центрального отверстия 2 и два торцевых участка 1 до и после ячейки (рис. 1). Длина участка адсорбента в 200 мм была взята для уменьшения граничных эффектов около торцов и установления стабильного продольного потока газа по слою адсорбента.

В зоне свободного газового пространства 1, 2 решается система из трех уравнений переноса в частных производных: неразрывности (1), импульса (2) и энергии (3):

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho) + \nabla(\rho \vec{v}) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\tau}_{eff}), \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho E) + \nabla(\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla(\lambda_{eff} \nabla T + (\bar{\tau}_{eff} \vec{v})), \quad (3)$$

где τ – время; ρ – плотность; $\vec{v}$ – вектор скорости потока осредненной по Фавру; p – давление; $\bar{\tau}_{eff}$ – эффективный тензор вязких напряжений, учитывающий влияние турбулентных пульсаций; E – полная удельная энергия; λ_{eff} – эффективный коэффициент теплопроводности, учитывающий улучшение теплообмена в потоке газа за счет более интенсивного турбулентного перемешивания; T – абсолютная температура.

В зоне однородно упакованного адсорбента 3, моделируемого как пористая среда, решается система из трех уравнений переноса в частных производных (4)–(6), которая аналогична уравнениям (1)–(3),

но также дополнительно учитывает наличие твердой фазы и адсорбционные эффекты:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\gamma \rho) + \nabla(\gamma \rho \vec{v}) = S_M, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \tau}(\gamma \rho \vec{v}) + \nabla(\gamma \rho \vec{v} \vec{v}) = \\ = -\gamma \nabla p + \nabla(\gamma \bar{\tau}) - \left(\frac{\gamma^2 \mu}{\alpha} \vec{v} + \frac{\gamma^3 C_2}{2} \rho |\vec{v}| \vec{v} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \tau}(\gamma \rho_g E_g + (1 - \gamma) \rho_s E_s) + \nabla(\vec{v}(\rho_g E_g + p)) = \\ = \nabla(\lambda_{gs} \nabla T + (\bar{\tau} \vec{v})) + S_H, \end{aligned} \quad (6)$$

где γ – порозность; $\vec{v}$ – вектор скорости потока; S_M – объемный сток массы в результате адсорбции; $\bar{\tau}$ – тензор вязких напряжений; μ – вязкость; α – проницаемость среды; C_2 – коэффициент инерционных потерь; ρ_g – плотность газовой фазы; E_g – полная удельная энергия газовой фазы; ρ_s – кажущаяся плотность адсорбента вместе с микропорами; E_s – полная энергия адсорбента; λ_{gs} – приведенная теплопроводность системы «адсорбент–адсорбат»; S_H – объемный источник/сток энергии в результате адсорбции.

В окрестностях температуры 273,15 К удельная теплоемкость адсорбента C_s , Дж/(кг×К), с учетом связующего упрощенно задается линейной функцией от температуры T , К (7):

$$C_s = 816,3 + 2,68(T - 273,15). \quad (7)$$

Приведенная теплопроводность в уравнении (6) определяется по формуле (8):

$$\lambda_{gs} = \gamma \lambda_g + (1 - \gamma) \lambda_s, \quad (8)$$

где λ_g – теплопроводность газовой фазы; λ_s – теплопроводность слоя адсорбента.

Теплопроводность слоя адсорбента λ_s , Вт/(м×К) в окрестностях температуры 273,15 К задана упрощенной линейной зависимостью от температуры T по формуле (9):

$$\lambda_s = 0,445 - 0,000384T. \quad (9)$$

Сток массы определяется скоростью процесса адсорбции и задается уравнением (10):

$$S_M = \frac{\partial a}{\partial \tau} M \rho_{bulk}, \quad (10)$$

где a – адсорбция; M – молярная масса; ρ_{bulk} – плотность упаковки слоя адсорбента.

Скорость адсорбции определяется по упрощенному кинетическому уравнению по модели «линейной движущей силы» [4] (11):

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} = K_a (a_{eq} - a) \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (11)$$

где E_a – энергия активации; a_{eq} – равновесная адсорбция; R – универсальная газовая постоянная; K_a – константа пропорциональности.

Для определения изменения энергии S_H , учитывающего теплоту адсорбции, используется подход, описанный в [16]. Запишем первый закон термодинамики для конечного объема V слоя адсорбента (12):

$$\sum \Delta H_i - V \Delta p = \sum Q_i + \sum H_{ei}, \quad (12)$$

где ΔH_i – изменение энтальпии различных составляющих адсорбционной системы; Q_i – тепловые потоки, входящие и выходящие из объема V ; H_{ei} – потоки энтальпии, входящие и выходящие из замкнутого объема.

Раскрывая уравнение (12) для конечной расчетной ячейки в ANSYS Fluent в рамках модели и конечного объема слоя адсорбента без использования источников/стоков энергии получаются соотношения (13) и (14) соответственно:

$$\Delta H_a + \Delta H_g - V \Delta p = \sum Q_i + \sum H_{ei} + S_H, \quad (13)$$

$$\Delta H_a + \Delta H_g + \Delta H_{ab} - V \Delta p = \sum Q_i + \sum H_{ei}, \quad (14)$$

где ΔH_a – изменение энтальпии «скелета» адсорбента; ΔH_g – изменение энтальпии газа; ΔH_{ab} – изменение энтальпии адсорбата.

Совершив преобразования над уравнениями (13) и (14), определим недостающий источник энергии S_H в энергетическом балансе расчетной ячейки ANSYS Fluent:

$$S_H = \Delta H_{ab}. \quad (15)$$

Определение стоков массы S_M и изменения энергии S_H через уравнения (10) и (15) осуществлялось при помощи встраиваемых в функционал ANSYS Fluent

пользовательских функций UDF (User Defined Functions), написанных на языке программирования C.

Основные допущения модели:

- в качестве исходных данных по равновесной адсорбции принимаются экспериментальные данные адсорбции метана на активном угле АУ–1 [16–18], а также результаты их обработки в форме энтальпии адсорбата;
- адсорбтив – метан (100%), который считается «реальным газом», теплофизические свойства определяются по базе данных REFPROP v9.1, встроенной в ANSYS Fluent;
- слой адсорбента однородный и изотропный во всем занимаемом им пространстве;
- тепловая и адсорбционно-стимулированная деформация адсорбента считается пренебрежимо малой;
- кинетика адсорбции задается по модели (11) с учетом температуры;
- равновесная модель теплообмена между адсорбентом и адсорбтивом: мгновенный теплообмен исходя из предположения о высокоразвитой поверхности адсорбента;
- начальные условия системы однородны во всем объеме рассчитываемой области;
- изменение давления с начального до рабочего считается мгновенным (начальное значение адсорбции принимается равновесным при 101 325 Па и 293,15 К);
- течение внутри пористой среды принимается ламинарным;
- в газовой области вне адсорбента турбулентность моделируется при помощи $k-\omega$ SST модели;
- для повышения сходимости расчета используются гладкие аппроксимационные функции адсорбции $a(p, T)$ и удельной энтальпии адсорбата $h_{ab}(a, T)$.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Расчет проводился при различных режимах по температуре и давлению подаваемого газа для циркуляционной заправки ячейки в форме призмы с сечением в виде правильного шестиугольника с вписанным

Таблица 1. Параметры расчетов

Table 1. Calculation parameters

Обозначение геометрии, d , мм	Температурный режим T_{inlet} , К, при давлении p				
	15 бар	25 бар	35 бар	45 бар	55 бар
А (2 мм)	212,0	231,4	246,9	260,4	272,6
Б (4 мм)	208,2	227,5	243,2	256,8	269,1
В (6 мм)	201,4	220,8	236,7	250,6	263,3

диаметром окружности 20 мм и с центральным отверстием с переменным диаметром d (таблица).

При расчёте выполнялось условие постоянного предельного количества аккумулируемого газа $m_{lim} = 7,6$ г на элементарную ячейку или емкости на единицу объема $c_{lim} = 110$ кг/м³ для всех режимов и постоянного массового расхода газа через систему $G_{inlet} = 4$ кг/ч.

В результате математического моделирования получены зависимости продолжительности заправки от температурных режимов работы системы при 95% наполнении от предельного количества аккумулируемого метана, см. рис. 3 (пояснения к рисунку – в тексте ниже).

Полученные зависимости имеют преимущественно монотонно-убывающий характер с ростом температуры и свидетельствуют о сокращении продолжительности заправки при сочетании высоких температур и давлений. В случае геометрии А увеличение температуры на 1 градус в среднем позволило сократить

продолжительность заправки на 3,2 с, а в случае геометрий Б и В – на 2,7 и 2 с соответственно. С увеличением диаметра и соответственно площади поверхности центрального отверстия также происходит сокращение продолжительности заправки. Причем с увеличением диаметра с 2 до 4 мм продолжительность заправки сократилась в среднем на 84 с, или на 13%, а с увеличением диаметра с 4 до 6 мм – на 138 с, или на 25%, т. е. эффект почти в 2 раза больше, что может обуславливаться существенным повышением гидравлического сопротивления адсорбционного блока геометрии А. В случае уменьшения диаметра канала с 6 до 4 мм (в 1,5 раза) и роста потери давления по его длине с 50 до 260 Па (в 5,2 раза) доля потока через слой адсорбента увеличилась с $2 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ кг/ч (в 1,5 раза), а в случае уменьшения диаметра канала с 4 до 2 мм (в 2 раза) и роста потери давления с 260 до 4260 Па (в 16,4 раза) доля потока через слой адсорбента увеличилась с $3 \cdot 10^{-3}$ до 0,224 кг/ч

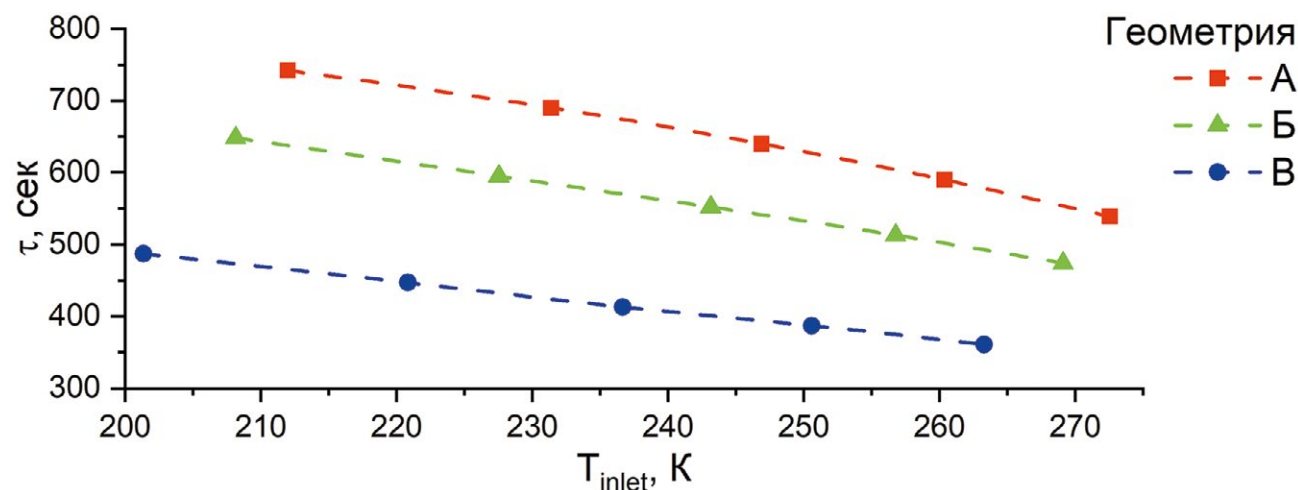


Рис. 3. Зависимость продолжительности заправки до 95% от предельного количества аккумулируемого метана при различных типах геометрии каналов от температурных режимов.

Fig. 3. Dependence of the duration of charging to ~95% of the limiting amount of accumulated methane for various channel geometries under different temperature conditions.

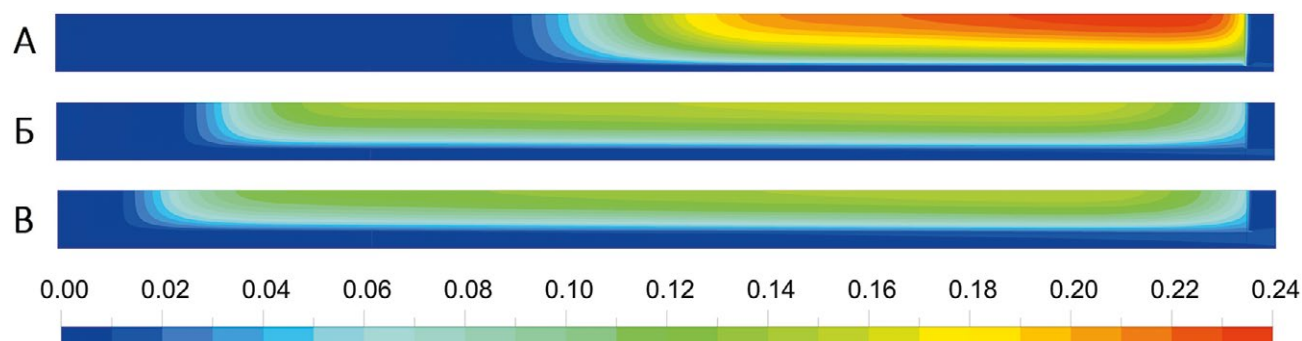


Рис. 4. Температурные поля в безразмерном виде θ для геометрий А, Б и В при давлении 35 бар в момент заполнения адсорбента на 95 % от предельного значения.

Fig. 4. Temperature fields in the dimensionless form θ for geometries A, B, and C at 35-bar pressure at the adsorbent filling of 95% of the limit value.

(в 74,7 раза). Полученные результаты свидетельствуют о существенном повышении интенсивности охлаждения с торцевой поверхности со стороны входящего потока в случае геометрии А по сравнению с геометриями Б и В.

Для сравнения температурных профилей при разной геометрии в силу различных температурных режимов введём безразмерную температуру θ , определяемую по формуле (16) и характеризующую степень охлаждения (при $\theta = 0$ полное охлаждение, при $\theta = 1$ – отсутствие охлаждения):

$$\theta = \frac{T - T_{inlet}}{T_{max} - T_{inlet}}, \quad (16)$$

где T_{inlet} – температура подаваемого в систему потока газа; T_{max} – максимальная температура адсорбционной системы.

Температурные поля в безразмерном виде θ , отражающие увеличение интенсивности охлаждения адсорбента с торцевой поверхности адсорбента геометрии А по сравнению с геометрией Б и В для плоскости симметрии расчетной области (рис. 1), представлены на рис. 4.

ВЫВОДЫ

Повышение давления в циркуляционной системе совместно с повышением температуры подаваемого потока позволяет сократить время циркуляционной

заправки для случаев с одинаковой емкостью аккумулярования. Установлено, что продолжительность циркуляционной заправки системы АПГ уменьшается с увеличением температуры подаваемого газа на 1 градус в диапазоне от 2 до 3,2 с при уменьшении диаметра канала с 6 до 2 мм соответственно. Более значительно на продолжительность заправки влияет геометрия адсорбционного слоя: увеличение диаметра отверстия с 4 до 6 мм уменьшает продолжительность заправки на 138 с или 25%. Вдвое меньший эффект, около 13%, обеспечивает увеличение диаметра с 2 до 4 мм, что обусловлено изменением характера охлаждения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00421).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding. This work was supported by the Russian Science Foundation (grant № 20-19-00421).

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest in financial or any other sphere.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стриженов Е.М., Жердев А.А., Подчуфаров А.А. и др. Энергосберегающая многоступенчатая заправка адсорбционной системы аккумулярования природного газа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 11. С. 40–44.
2. Чугаев С.С., Стриженов Е.М., Жердев А.А. и др. Пожаро-взрывобезопасная низкотемпературная заправка адсорбционной системы аккумулярования природного газа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 12. С. 32–38.
3. Men'shchikov I.E., Shkolin A.V., Strizhenov E.M. et al. Thermodynamic behaviors of adsorbed methane storage systems based on nanoporous carbon adsorbents prepared from coconut shells // Nanomaterials. 2020. V. 10. № 11. P. 1–26.
4. Vasiliev L.L., Kanonchik L.E., Tsitovich A.P. Adsorption system with heat pipe thermal control for mobile storage of gaseous fuel // Int. J. Therm. Sci. 2017. V. 120. P. 252–262.
5. Zhang L.Z., Wang L. Effects of coupled heat and mass transfers in adsorbent on the performance of a waste heat adsorption cooling unit // Applied Thermal Engineering. 1999. V. 19. № 2. P. 195–215.
6. Patil K.H., Sahoo S. Charge characteristics of adsorbed natural gas storage system based on MAXSORB III // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018. V. 52. P. 267–282.
7. Sahoo S., Ramgopal M. Regression equations for predicting discharge performance of adsorbed natural gas storage systems // Applied Thermal Engineering. 2015. V. 86. P. 127–134.
8. Sahoo S., Ramgopal M. A simple regression equation for predicting charge characteristics of adsorbed natural gas storage systems // Applied Thermal Engineering. 2014. V. 73. № 1. P. 1093–1100.
9. Стриженов Е.М., Чугаев С.С., Жердев А.А. Математическая модель процесса циркуляционной заправки адсорбционной системы аккумулярования метана // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2018. № 10. С. 38–43.
10. Strizhenov E.M., Chugaev S.S., Men'shchikov I.E. et al. Experimental study of heat transfer in adsorbed natural gas storage system filled with microporous monolithic active carbon // J Phys: Conf. Ser. 2021. V. 2116. № 1. 4 p.
11. Strizhenov E.M., Chugaev S.S., Men'shchikov I.E. et al. Heat and Mass Transfer in an Adsorbed Natural Gas Storage System Filled with Monolithic Carbon Adsorbent during Circulating Gas Charging // Nanomaterials. 2021. V. 11. № 12. P. 1–22.
12. Kanonchik L.E., Vasiliev L.L. Charge dynamics of a low-pressure natural gas accumulator with solid adsorbent, novel thermosyphon and recirculation loop // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. V. 143. P. 118374.
13. Vasiliev L.L., Kanonchik L.E., Kuzmich M., Kulikowski V. Development of thermosyphon controlled adsorptive natural gas storage system // Applied Thermal Engineering. 2021. V. 185. P. 116–184.

14. Da Silva M.J. M., Sphaier L.A. Dimensionless lumped formulation for performance assessment of adsorbed natural gas storage // *Applied Energy*. 2010. V. 87. № 5. P. 1572–1580.
15. Grande C.A., Vistad Ø. Adequacy versus complexity of mathematical models for engineering an adsorbed natural gas device // *Journal of Energy Storage*. 2020. V. 28. P. 101200.
16. Стриженов Е.М., Жердев А.А. Подчуфаров А.А. и др. Нограмма емкостных и термодинамических свойств адсорбционной системы аккумулирования метана // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2015. № 12. С. 10–14.

17. Стриженов Е.М., Фомкин А.А., Жердев А.А. и др. Адсорбция метана на микропористом углеродном адсорбенте АУ–1 // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2012. Т. 48. № 6. С. 521.
18. Стриженов Е.М., Школин А.В., Фомкин А.А. и др. Низкотемпературная адсорбция метана на микропористом углеродном адсорбенте АУ–1 // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2014. Т. 50. № 1. С. 19–25.

REFERENCES

1. Strizhenov EM, Zherdev AA, Podchufarov AA, et al. Energysaving multistage filling of adsorption natural gas storage system. *Chem Pet Eng*. 2015;(11):40–44. doi: 10.1007/s10556-016-0123-7
2. Chugaev SS, Strizhenov EM, Zherdev AA, et al. Fire and explosion-safe low-temperature filling of an adsorption natural gas storage system. *Chem. Pet. Eng*. 2016;(12):32–38. doi: 10.1007/s10556-016-0123-7
3. Men'shchikov IE, Shkolin AV, Strizhenov EM, et al. Thermodynamic behaviors of adsorbed methane storage systems based on nanoporous carbon adsorbents prepared from coconut shells. *Nanomaterials*. 2020;10(11):1–26. doi: 10.3390/nano10112243
4. Vasiliev LL, Kanonchik LE, Tsitovich AP. Adsorption system with heat pipe thermal control for mobile storage of gaseous fuel. *Int. J. Therm. Sci*. 2017;120:252–262. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.06.005
5. Zhang LZ, Wang L. Effects of coupled heat and mass transfers in adsorbent on the performance of a waste heat adsorption cooling unit. *Applied Thermal Engineering*. 1999;19(2):195–215. doi: 10.1016/S1359-4311(98)00023-4
6. Patil KH, Sahoo S. Charge characteristics of adsorbed natural gas storage system based on MAXSORB III. *J. of Natural Gas Science and Engineering*. 2018;52:267–282. doi: 10.1016/j.jngse.2018.01.008
7. Sahoo S, Ramgopal M. Regression equations for predicting discharge performance of adsorbed natural gas storage systems. *Applied Thermal Engineering*. 2015;86:127–134. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.038
8. Sahoo S, Ramgopal M. A simple regression equation for predicting charge characteristics of adsorbed natural gas storage systems. *Applied Thermal Engineering*. 2014;73(1):1093–1100. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.08.031
9. Strizhenov EM, Chugaev SS, Zherdev AA. Mathematical model of the process of circuit charging of an adsorption methane storage system. *Chem. Pet. Eng*. 2018;10:38–43. doi: 10.1007/s10556-019-00545-5
10. Strizhenov EM, Chugaev SS, Men'shchikov IE, et al. Experimental study of heat transfer in adsorbed natural gas storage system filled with microporous monolithic active carbon. *J Phys: Conf Ser*. 2021;2116(1):4. doi: 10.1088/1742-6596/2116/1/012085
11. Strizhenov EM, Chugaev SS, Men'shchikov IE, et al. Heat and Mass Transfer in an Adsorbed Natural Gas Storage System Filled with Monolithic Carbon Adsorbent during Circulating Gas Charging. *Nanomaterials*. 2021;11(12):1–22. doi: 10.3390/nano11123274
12. Kanonchik LE, Vasiliev LL. Charge dynamics of a low-pressure natural gas accumulator with solid adsorbent, novel thermosyphon and recirculation loop. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019;143:101200. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.024
13. Vasiliev LL, Kanonchik LE, Kuzmich M, et al. Development of thermosyphon controlled adsorptive natural gas storage system. *Applied Thermal Engineering*. 2021;185:116–184. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116184
14. Da Silva MJ M, Sphaier LA. Dimensionless lumped formulation for performance assessment of adsorbed natural gas storage. *Applied Energy*. 2010;87(5):1572–1580. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.09.011
15. Grande CA, Vistad Ø. Adequacy versus complexity of mathematical models for engineering an adsorbed natural gas device. *J. of Energy Storage*. 2020;28:101200. doi: 10.1016/j.est.2020.101200
16. Strizhenov EM, Zherdev AA, Podchufarov AA, et al. Capacity and thermodynamic nomograph for an adsorption methane storage system. *Chem Pet Eng*. 2015;(12):10–14. doi: 10.1007/s10556-016-0127-3
17. Strizhenov EM, Shkolin AV, Fomkin AA, et al. Adsorption of methane on AU-5 microporous carbon adsorbent. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf*. 2013;49(5):521–527. doi: 10.7868/S0044185613050094
18. Strizhenov EM, Zherdev AA, Smirnov IA, et al. Low-temperature adsorption of methane on microporous AU-1 carbon adsorbent. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf*. 2014;50(1):19–25. doi: 10.7868/S0044185614010148.

ОБ АВТОРАХ

Шелякин Игорь Дмитриевич;
eLibrary SPIN: 4624-5336;
e-mail: shelyakinlife@mail.ru

AUTHOR'S INFO

Igor D. Shelyakin;
eLibrary SPIN: 4624-5336;
e-mail: shelyakinlife@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105029>

Изменение содержания фенольных соединений в полуфабрикатах из цикория салатного Эндивий в процессе низкотемпературной обработки

В.С. Колодязная, Е.И. Кипрушкина, О.Н. Румянцева, Д.Ю. Миронова

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Актуальность исследований изменения содержания моно- и димерных фенольных соединений и их суммы при замораживании и хранении полуфабрикатов обусловлена тем, что разновидности Эндивия, цикория салатного, обладающие множеством полезных элементов, применимы для лечебного и диетического питания.

Цель – изучить кинетику реакций окисления и гидролиза фенольных соединений трех сортов цикория салатного в процессе замораживания и хранения.

Материалы и методы. Общее содержание фенольных соединений, сумму фенолкарбоновых кислот и флавоноидов в свежих овощах и полуфабрикатах из салатного цикория отечественных сортов Кружево и Эльвира, а также итальянского сорта Корнетто К-56 определяли методом спектрофотометрии в свежем салате после сбора урожая, затем – после гомогенизации, замораживания, и периодически – в процессе низкотемпературного хранения.

Результаты. Выявлены кинетические зависимости изменения содержания фенольных соединений от продолжительности хранения полуфабрикатов из цикория салатного сортов Кружево, Эльвира, Корнетто К-56 в замороженном состоянии. Рассчитаны константы скорости реакции (псевдопервого порядка) изменения содержания исследуемых веществ в процессе хранения полуфабрикатов из цикория салатного. Установлено, что для снижения потерь клеточного сока при дефростации для сохранения количества фенольных соединений при хранении полуфабрикатов из салатного цикория рекомендуется на стадии гомогенизации добавлять пектин в количестве 3,0% от массы гомогенизированного цикория исследуемых сортов.

Выводы. Показано, что в процессе хранения цикория салатного максимально сохраняются фенольные соединения и снижаются потери клеточного сока: в сортах Эльвира и Кружево – в течение 180 сут, в сорте Корнетто К-56 – 150 сут. Замороженный полуфабрикат из гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов рекомендуется использовать в технологиях здорового питания, в частности при производстве низкокалорийных напитков, хлебобулочных и кондитерских изделий.

Ключевые слова: салатный цикорий Эндивий, замораживание, холодильное хранение, дефростация, фенольные соединения, кинетика реакций, потеря клеточного сока, функциональные продукты

Для цитирования:

Колодязная В.С., Кипрушкина Е.И., Румянцева О.Н., Миронова Д.Ю. Изменение содержания фенольных соединений в полуфабрикатах из цикория салатного Эндивий в процессе низкотемпературной обработки // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 29–36.
DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105029>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105029>

Change in the content of phenolic compounds in semi-finished products from endive *Cichorium endivia* during low-temperature processing

Valentina S. Kolodyaznaya, Elena I. Kiprushkina, Olga N. Rumiantseva, Daria Yu. Mironova

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Research on changes in the content of monomeric and dimeric phenolic compounds and their amount during freezing and storage of semi-finished products is relevant because the varieties of endive *Cichorium endivia*, which have many useful elements, are applicable for medical and dietary nutrition.

AIM: This article aimed to analyze the kinetics of the oxidation and hydrolysis reactions of phenolic compounds of three varieties of endive during freezing and storage.

MATERIALS AND METHODS: The total content of phenolic compounds and the amount of phenolcarboxylic acids and flavonoids in fresh vegetables and semi-finished products from Russian varieties Kruzhevo and Elvira endive, as well as the Italian variety Kornetto K-56, were determined by spectrophotometry in fresh endive after harvesting, then after homogenization, freezing, and periodically in the process of low-temperature storage.

RESULTS: Kinetic dependencies of changes in the content of phenolic compounds on the duration of storage of semi-finished products from endive varieties Kruzhevo, Elvira, and Kornetto K-56 in a frozen state were revealed. The constants of the reaction rate (pseudo-first order) of the change in the content of the studied substances during storage of endive semi-finished products were calculated. To reduce the loss of cell sap during defrosting to maintain the amount of phenolic compounds during storage of endive semi-finished products, adding pectin in the homogenization stage at an amount of 3.0% by weight of the homogenized endive of the varieties under study is recommended.

CONCLUSIONS: During storage of endive, phenolic compounds are preserved to the maximum, and cell sap losses are reduced within 180 days in the Elvira and Kruzhevo varieties, and within 150 days in the Kornetto K-56 variety. The frozen semi-finished product from homogenized endive of the studied varieties is recommended for use in healthy nutrition technologies, particularly in the production of low-calorie drinks and bakery and confectionery products.

Keywords: endive *Cichorium endivia*, freezing, cold storage, defrosting, phenolic compounds, reaction kinetics, cell sap loss, functional products

To cite this article:

Kolodyaznaya VS, Kiprushkina EI, Rumiantseva ON, Mironova DY. Changes in the content of phenolic compounds in semi-finished products of chicory endive in the process of low temperature treatment. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):29–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105029>

ВВЕДЕНИЕ

В пищевом рационе современного человека важная роль отводится зеленым культурам, которые отличаются высоким содержанием биологически активных веществ [1–5].

В почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона Российской Федерации, в том числе в Ленинградской области выращиваются различные сорта цикория салатного (лат. *Cichorium endivia*) – селекционного продукта дикорастущего цикория, многолетнего растения из семейства Астровые (*Asteraceae*). В сельском хозяйстве выращивают три сорта салатного цикория – Эндивий, Эскарриол и Витлуф: они различаются по урожайности, химическому составу и биологической ценности [6, 7]. Как ценная овощная культура салатный цикорий пользуется заслуженным признанием со времен Древней Греции и Рима. Этот салат популярен в ряде европейских стран, например во Франции, Бельгии, Нидерландах, где его выращивают в зимний период и импортируют в другие страны. В Российской Федерации промышленное значение имеет салатный цикорий Эндивий. Наличие гликозида интибина, макро- и микроэлементов калия, кальция, железа, марганца, меди, кобальта, магния, бария, алюминия, цинка, а также ряда витаминов (С, В1, В2, В6, РР, К) позволяет использовать эту разновидность салатного цикория для лечебного и диетического питания [6–12].

Продукты из салатного цикория рекомендуются людям, страдающим сахарным диабетом, от проблем с пищеварением, при малокровии, при диспепсии, заболеваниях печени, селезенки, почек, для улучшения состава крови и как средство, успокаивающее нервную систему.

Во многих зеленых культурах, в том числе в цикории салатном, содержатся различные по структуре фенольные соединения, благотворно влияющие на здоровье человека, оказывая антиоксидантное, антиканцерогенное и кардиопротекторное действие [6–15]. Из мономерных соединений важное значение имеют фенолкарбоновые кислоты (ФКК), в частности оксibenзойные, п-кумаровая, кофейная, хлорогеновая. Димерные соединения (флавоноиды) $C_6-C_3-C_6$ – самая обширная и распространенная группа фенольных соединений (ФС). Многочисленное семейство флавоноидов делится на 10 структурных групп, в зависимости от строения трехуглеродного мостика и степени его окисленности, что влияет на их антиоксидантные свойства. Из флавоноидов эффективными антиоксидантами являются рутин, кверцетин, кверцетрин, кемпферол-7-гликозид и мирицетин. К ФС относится также обширная группа полимерных соединений (конденсированные дубильные вещества, лигнаны, меланины, гуминовые кислоты). Они не растворимы в воде, не гидролизуются ферментами и не обладают Р-витаминной активностью [15, 16].

Зеленные культуры отличаются высоким содержанием свободной и слабосвязанной влаги и непригодны к длительному хранению в охлажденном состоянии [7, 17]. Для увеличения продолжительности хранения традиционно применяют сушку, что приводит к значительным потерям биологически активных веществ, в том числе фенольных соединений. Эффективность длительного хранения зеленых культур, снижение их потерь от фитопатологических и физиологических заболеваний, максимальное сохранение БАВ зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются сортовые особенности, агротехника выращивания, температурный и влажностный режимы [9, 10, 17].

Замораживание позволяет максимально сохранить пищевую ценность растительных продуктов [9, 13, 18].

В настоящее время нет исследований влияния замораживания и продолжительности хранения салатного цикория различных сортов на изменение содержания фенольных соединений.

Цель настоящей работы – изучить кинетику реакций окисления и гидролиза моно- и димерных фенольных соединений цикория салатного эндивий различных сортов в процессе замораживания и хранения, а также рекомендовать низкотемпературную технологию производства полуфабрикатов из исследуемых сортов с максимальным сохранением фенольных соединений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования выбраны отечественные сорта салатного цикория – Кружево и Эльвира, а также итальянский сорт Корнетто К-56. Сумму фенольных соединений, содержание фенолкарбоновых кислот и флавоноидов определяли в свежем салатном цикории, после гомогенизации и замораживания полуфабрикатов, а также в процессе их хранения. В контрольных и опытных образцах определяли потерю клеточного сока при размораживании [19]. В работе выполнялись задачи выявить кинетические зависимости изменения содержания фенольных соединений от продолжительности хранения замороженных полуфабрикатов из цикория салатного, а также рассчитать константы скорости реакции (псевдопервого порядка) изменения содержания исследуемых веществ в процессе хранения.

Сорта выращены в коллекционном саду Павловской опытной станции ВИР Россельхозакадемии. Урожай собран в начале октября 2019 г.

Сорт Корнетто К-56: растения скороспелые, рано образуют цветоносные побеги и приступают к цветению. Край листа зубчатый, слабоволнистый. Куст средней высоты, раскидистый, с боковыми побегами, отходящими под углом в стороны. Сорт Кружево: растения позднеспелые. Прикорневые розетки крупные, с многочисленными листьями, средней плотности. Листья с удлинённой

пластинкой, рассеченной на крупные, симметрично расположенные доли. Край зубчатый, слабо- и средневолнистый. Окраска зеленая. Сорт Эльвира: с многочисленными темно-зелеными удлинёнными листьями розетки. Прикорневая розетка средней величины или крупная. Листья с широкой листовой пластинкой. Край листа зубчатый или двоякозубчатый, волнистый. Окраска зеленая [6].

Листья цикория салатного измельчали на гомогенизаторе со скоростью 800 об/мин в течение 30 с до пастообразного состояния, добавляя в качестве криопротектора и влагоудерживающего агента пектин в количестве, %: 1,0 (опыт 1), 2,0 (опыт 2), 2,5 (опыт 3) и 3,0 (опыт 4). Затем каждый образец помещали в полимерный контейнер по 200 г. Образцы замораживали при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях естественной конвекции до среднеобъемной температуры $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и хранили при указанной температуре в течение 8 мес. Исследуемые образцы

размораживали при температуре $(4\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях естественной конвекции до $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В свежем салатном цикории, после гомогенизации и замораживания полуфабрикатов, а также в процессе их хранения определяли сумму фенольных соединений, фенолкарбоновых кислот и флавоноидов по методике, изложенной в [19]. В свежем салате определяли влажность методом высушивания до постоянной массы при температуре $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. В контрольных и опытных образцах сразу после замораживания определяли потерю клеточного сока при размораживании [19].

Эксперименты повторяли 2–5 раз, данные обрабатывали методами математической статистики с доверительной вероятностью 95% с использованием стандартных компьютерных программ. В таблицах 1–4 и на рисунке приведены средние арифметические значения исследуемых показателей в пересчете на сырую массу.

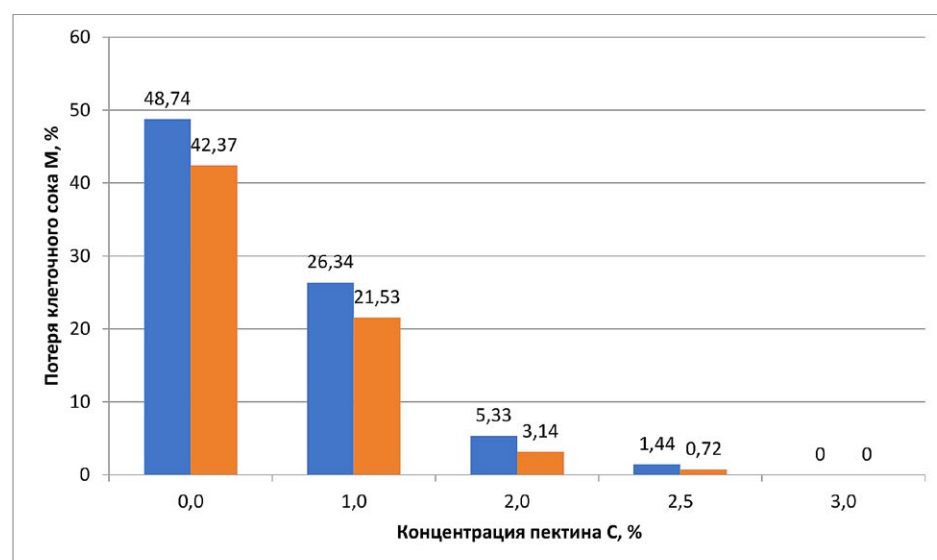


Рисунок. Зависимость изменения потери клеточного сока в процессе размораживания полуфабрикатов из цикория салатного сортов Крузево и Корнетто-56 от массовой доли пектина.

Figure. Dependence of the change in the loss of cell sap in the process of defrosting semi-finished products from endive varieties Kruzhevo and Kornetto K-56 on the mass fraction of pectin.

Таблица 1. Изменение содержания суммы фенольных соединений при хранении замороженных полуфабрикатов, %

Table 1. Change in the content of the total phenolic compounds during storage of frozen semi-finished products, %

Сорт	До замораживания	После замораживания	Продолжительность хранения, сут			
			60	120	180	210
Крузево						
Контроль	1,43±0,12	1,30±0,11	1,27±0,10	1,24±0,09	1,20±0,09	0,76±0,04
Опыт		1,37±0,11	1,32±0,10	1,30±0,10	1,26±0,09	1,07±0,07
Эльвира						
Контроль	1,27±0,10	1,15±0,08	1,12±0,06	1,08±0,07	1,03±0,07	0,67±0,03
Опыт		1,22±0,10	1,18±0,08	1,14±0,08	1,11±0,08	0,96±0,08
Корнетто К-56						
Контроль	1,18±0,09	1,07±0,08	1,04±0,05	1,00±0,05	0,94±0,04	0,56±0,03
Опыт		1,14±0,09	1,12±0,09	1,08±0,06	1,0±0,05	0,94±0,05

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влажность цикория салатного после сбора урожая сортов Кружево, Эльвира и Корнетто К-56 составила, %: $93,62 \pm 0,58$; $88,12 \pm 0,44$; и $91,87 \pm 0,46$ соответственно. Высокое содержание свободной и слабосвязанной влаги в исследуемых сортах приводит к значительной потере клеточного сока при размораживании и, как следствие, к снижению содержания биологически активных веществ, в частности фенольных соединений.

Потери клеточного сока при размораживании контрольных образцов полуфабрикатов из цикория салатного сортов Эльвира, Кружево и Корнетто К-56 составили, %: $43,64 \pm 0,70$; $39,47 \pm 0,29$ и $41,36 \pm 0,21$ соответственно (рисунок). Добавление в гомогенную массу салатного цикория при приготовлении полуфабрикатов в качестве структурообразователя пектина (высокомолекулярного соединения, состоящего в основном из остатков галактуроновой кислоты, связанных α -1-4-гликозидной связью), позволяет существенно снизить потери клеточного сока в процессе размораживания (см. рисунок).

В работе использовался низкоэтерифицированный пектин, степень метилирования 40...45 %, что позволяет поглощать воду независимо от кислотности среды и количества сахара.

Как иллюстрирует рисунок, потери клеточного сока при размораживании цикория салатного зависят от массовой доли пектина: они значительно снижаются при концентрации (2,0–2,5)% и отсутствуют при увеличении его содержания до 3,0% (в сортах Кружево и Эльвира одни и те же значения потери клеточного сока).

В дальнейших исследованиях содержание исследуемых фракций фенольных соединений определяли в контрольных (без пектина) и опытных образцах, содержащих 3,0% пектина, как непосредственно после замораживания полуфабрикатов, так и в процессе их хранения в замороженном состоянии.

В таблицах 1–3 приведены данные по изменению содержания суммы фенольных соединений (Σ ФС), флавоноидов (Σ ФЛ) и фенолкарбоновых кислот (Σ ФКК) в полуфабрикатах из исследуемых сортов цикория салатного при замораживании и в процессе хранения в замороженном состоянии.

Таблица 2. Изменение содержания суммы флавоноидов при хранении замороженного полуфабриката, мг/100 г

Table 2. Change in the content of the total flavonoids during storage of a frozen semi-finished product, mg/100 g

Сорт	До замораживания	После замораживания	Продолжительность хранения, сут			
			60	120	180	210
Кружево						
Контроль	624 ± 26	496 ± 19	480 ± 19	460 ± 19	415 ± 17	360 ± 15
Опыт		587 ± 24	568 ± 22	563 ± 21	527 ± 19	494 ± 17
Эльвира						
Контроль	567 ± 23	448 ± 17	418 ± 16	404 ± 16	366 ± 16	297 ± 9
Опыт		522 ± 22	544 ± 21	508 ± 20	476 ± 19	423 ± 16
Корнетто К-56						
Контроль	514 ± 21	382 ± 15	374 ± 15	353 ± 14	316 ± 12	264 ± 10
Опыт		485 ± 19	478 ± 18	463 ± 18	436 ± 16	383 ± 15

Таблица 3. Изменение содержания фенолкарбоновых кислот при замораживании и хранении полуфабриката, мг/100 г

Table 3. Change in the content of phenolcarboxylic acids during freezing and storage of the semi-finished product, mg/100 g

Сорт	До замораживания	После замораживания	Продолжительность хранения, сут			
			60	120	180	210
Кружево						
Контроль	384 ± 14	297 ± 12	292 ± 11	274 ± 11	226 ± 9	167 ± 6
Опыт		356 ± 14	352 ± 14	342 ± 12	307 ± 11	238 ± 8
Эльвира						
Контроль	324 ± 13	246 ± 9	241 ± 9	224 ± 9	200 ± 8	158 ± 5
Опыт		304 ± 12	296 ± 11	283 ± 11	260 ± 11	208 ± 8

Таблица 4. Константы скорости реакций псевдопервого порядка превращения фенольных соединений цикория салатного при замораживании и хранении

Table 4. Rate constants of pseudo-first-order reactions for the transformation of phenolic compounds in endive during freezing and storage

Условия хранения	K_3	t , период суток						
		0–120		120–180		180–210		Σ ФКК
	Σ ФЛ	Σ ФКК	Σ ФЛ	Σ ФКК	Σ ФЛ	Σ ФКК	Σ ФЛ	
Кружево								
Контроль	0,459	0,513	0,062	0,067	0,17	0,32	0,47	1,12
Опыт	0,122	0,151	0,034	0,033	0,11	0,18	0,21	0,84
Эльвира								
Контроль	0,471	0,550	0,086	0,078	0,16	0,18	0,70	0,78
Опыт	0,165	0,127	0,023	0,059	0,10	0,14	0,39	0,74
Корнетто К-56								
Контроль	0,593	0,615	0,065	0,078	0,18	0,27	0,59	1,23
Опыт	0,116	0,174	0,038	0,052	0,10	0,16	0,43	0,92

Как следует из представленных данных, сорта отличаются по содержанию Σ ФС, Σ ФЛ и Σ ФКК. Максимальным содержанием этих соединений отличается сорт Кружево, минимальным – сорт Корнетто К-56. Значительные изменения ФС отмечены на стадии замораживания и в контрольных, и в опытных образцах. Однако в процессе хранения в течение 180 сут количество исследуемых ФС изменяется незначительно, а при дальнейшем хранении, особенно после 180 сут существенно уменьшается. Данные изменения, возможно, объясняются повышением активности фермента фенолоксидазы и, как следствие, окислением ФС. Однако процесс окисления протекает с различной скоростью в зависимости от структуры ФС, что подтверждается значениями констант скорости реакций окисления ФС.

Константы скорости реакций окисления ФС псевдопервого порядка в процессе хранения цикория салатного сорта Кружево составили: для Σ ФКК и Σ ФЛ – 0,064; 0,017; сорта Эльвира – 0,047; 0,034; сорта Корнетто К-56 – 0,049; 0,006 соответственно. Анализ значений констант показывает, что во всех сортах самая высокая скорость окисления характерна для фенолкарбоновых кислот.

Как следует из табл. 1, Σ ФС в процессе замораживания сортов Кружево, Эльвира и Корнетто К-56 уменьшается на 9,1; 9,3 и 9,4%, а в процессе хранения в течение 7 мес. в замороженном состоянии изменяется незначительно, уменьшаясь на 8,7; 10,5 и 12,2% соответственно.

В таблицах 2–3 показано изменение содержания Σ ФЛ и Σ ФКК в свежих полуфабрикатах, после замораживания и в период хранения до 210 сут (с интервалом 60 сут).

В табл. 4 приведены данные по константам скорости реакции псевдопервого порядка превращения

фенольных соединений цикория салатного сортов Кружево, Эльвира и Корнетто К-56 в свежем виде, а также при замораживании и хранении.

Таким образом, в процессе хранения полуфабрикатов из исследуемых сортов цикория салатного в замороженном состоянии сохраняются различные по структуре ФС, принадлежащие к моно- и димерным соединениям.

ВЫВОДЫ

В работе выявлены кинетические зависимости изменения содержания фенольных соединений от продолжительности хранения замороженных полуфабрикатов, изготовленных из цикория салатного сортов Кружево, Эльвира, Корнетто.

Рассчитаны константы скорости реакции (псевдопервого порядка) изменения содержания исследуемых веществ в процессе хранения.

Для снижения потерь клеточного сока при размораживании полуфабрикатов и для сохранения содержания фенольных соединений при хранении рекомендуется на стадии гомогенизации добавлять пектин в количестве 3,0% от массы гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов.

Показано, что в процессе хранения замороженных полуфабрикатов цикория салатного максимально сохраняются фенольные соединения и снижаются потери клеточного сока в сортах Эльвира и Кружево в течение 180 сут, в сорте Корнетто К-56 – 150 сут.

Замороженный полуфабрикат из гомогенизированного цикория салатного исследуемых сортов

рекомендуется использовать в технологии производства низкокалорийных напитков, хлебобулочных и кондитерских изделий для обеспечения населения Российской Федерации функциональными продуктами питания, способствующими укреплению здоровья человека и долголетию, в том числе за счет высокого содержания фенольных соединений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Финансирование. Статья не имеет спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. Article is not sponsored.

Contribution of authors. All authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Гуркина Л.К. Овощи – продукты и сырье для функционального питания // Вопросы питания. 2017. № 3. С. 121–127. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00054
2. Кипрушкина Е.И., Колодяжная В.С., Филиппов В.И. и др. Значение фактора питания в формировании кишечного микробиома // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С. 52–59. doi: 10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59
3. Shelenga T.V., Kerv Y.A., Perchuk I.N. et al. The Potential of Small Grains Crops in Enhancing Biofortification Breeding Strategies for Human Health Benefit // Agronomy. 2021. Vol. 11. 17 p. doi: 10.3390/agronomy11071420
4. Fernandes I., Oliveira J., Pinho A. et al. The Role of Nutraceutical Containing Polyphenols in Diabetes Prevention // Metabolites. 2022. Vol. 12, N 2. 28 p. doi: 10.3390/metabo12020184
5. Spinelli S., Prescott J., Pierguidi L. et al. Phenol-Rich Food Acceptability: The Influence of Variations in Sweetness Optima and Sensory-Liking Patterns. Nutrients, 2021;13(3):866. doi: 10.3390/nu13030866
6. Шевченко Ю.П., Харченко В.А., Ушакова И.Т. и др. Цикорий салатный – витлуф // Овощи России. 2016. № 2 (31). С. 64–67.
7. Клементьев Д.А., Колодяжная В.С. Биологически активные вещества цикория салатного и кинетика их изменения при холодильном хранении // Холодильная техника. 2019. № 6. С. 46–51.
8. Сайбель О.Л. Изучение фенольных соединений травы цикория обыкновенного (*Cichorium Intybus* L.) // Химический журнал. 2016. № 1. С. 53–58.
9. Моисеев Д.В. Антимикробная активность растительного сырья, содержащего фенольные соединения, в зависимости от типа упаковки и температурных режимов хранения // Вестник ВГМУ. 2014. № 5. С. 130–136.
10. Хайруллина З.А., Канарский А.В., Шуваева Г.П. Сравнительная оценка антиоксидантной активности продуктов из цикория // Вестник ВГУИТ. 2016. № 1. С. 203–206.
11. Хайруллина З.А., Канарский А.В. Фитохимический состав продуктов из цикория (*Cichorium Intybus* L.) // Вестник Международной академии холода. 2016. № 2. С. 21–25.
12. Гинс М.С., Шевченко Ю.П., Колесников М.П. Фракционный состав полифенолов цикорного салата витлуф этиолированных растений и выращенных при освещении // Овощи России. 2009. № 1. С. 31–32. doi: 10.18619/2072-9146-2009-1-31-32
13. Perović J., Tumbas Šaponjac V., Kojić et al. Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review // Food Chemistry. 2021. Vol. 30, N 336. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127676
14. Perović J., Tumbas Šaponjac V., Kojić J. et al. Polyphenolic profile of green/red spotted Italian *Cichorium intybus* salads by RP-HPLC-PDA-ESI-MSn // Journal of Food Composition and Analysis. 2017. N 63. P. 189–197. doi: 10.1016/j.jfca.2017.08.010
15. Мамедов Э.Р., Солодченко Е.Г., Токбаева А.А. и др. Влияние ферментативной обработки мезги на содержание фенольных веществ в вишневых натуральных и спиртованных соках и их стабильность // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 52–57
16. Fam V.W., Charoenwoodhipong P., Sivamani R.K. et al. Plant-Based Foods for Skin Health: A Narrative Review // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2022. Vol. 122, N 3. P. 614–629. doi: 10.1016/j.jand.2021.10.024
17. Ahmad Mohammad Salamatullah, Khizar Hayat, Fohad Mabood Husain et al. Effects of Different Solvents Extractions on Total Polyphenol Content, HPLC Analysis, Antioxidant Capacity, and Antimicrobial Properties of Peppers (Red, Yellow, and Green (*Capsicum annum* L.) // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2022. Article ID 7372101. 11 p. doi: 10.1155/2022/7372101
18. Гусейнова Б.М., Асабутаев И.Х., Даудова Т.И. Оценка пригодности абрикосов к шоковой заморозке по физико-технологическим показателям качества // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 74–83. doi: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83
19. Базарнова Ю.Г. Методы исследования свойств сырья и пищевой продукции. СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 76 с.

REFERENCES

1. Pivovarov VF, Pyshnaja ON, Gurkina LK. Ovoshhi – produkty i syr'e dlja funkcional'nogo pitaniya. *Voprosy pitaniya*. 2017;(3): 121–127. (In Russ.). doi: 10.24411/0042-8833-2017-00054
2. Kiprushkina EI, Kolodjaznaja VS, Filippov VI, et al. Znachenie faktora pitaniya v formirovanii kishechnogo mikrobioma. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2020;(2):52–59. (In Russ.). doi: 10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59
3. Shelenga TV, Kerv YA, Perchuk IN, et al. The Potential of Small Grains Crops in Enhancing Biofortification Breeding Strategies for Human Health Benefit. *Agronomy*. 2021;11:1420. doi: 10.3390/agronomy11071420
4. Fernandes I, Oliveira J, Pinho A, et al. The Role of Nutraceutical Containing Polyphenols in Diabetes Prevention. *Metabolites*. 2022;12(2):184. doi: 10.3390/metabo12020184
5. Spinelli S, Prescott J, Pierguidi L, et al. Phenol-Rich Food Acceptability: The Influence of Variations in Sweetness Optima and Sensory-Liking Patterns. *Nutrients*. 2021;13(3):866. doi: 10.3390/nu13030866
6. Shevchenko JuP, Harchenko VA, Ushakova IT, et al. Cikorij salatnyj – vitluf. *Ovoshhi Rossii*. 2016;(31):64–67. (In Russ.).
7. Klement'ev DA, Kolodjaznaja VS. Biologicheski aktivnye veshhestva cikorija salatnogo i kinetika ih izmenenija pri holodil'nom hranenii. *Refrigeration Technology*. 2019;6:46–51. (In Russ.). doi: 10.17816/RF104209
8. Sajbel' OL. Izuchenie fenol'nyh soedinenij travy cikorija obyknovenogo (Cichorium Intybus L.). *Himicheskij zhurnal*. 2016;(1):53–58. (In Russ.).
9. Moiseev DV. Antimikrobnaja aktivnost' rastitel'nogo syr'ja, sodержashhego fenol'nye soedinenija, v zavisimosti ot tipa upakovki i temperaturnyh rezhimov hranenija. *Vestnik VGMU*. 2014;(5): 130–136. (In Russ.).
10. Hajrullina ZA, Kanarskij AV, Shuvaeva GP. Sravnitel'naja ocenka antioksidantnoj aktivnosti produktov iz cikorija. *Vestnik VGUIT*. 2016;(1):203–206. (In Russ.).
11. Hajrullina ZA, Kanarskij AV. Fitohimicheskij sostav produktov iz cikorija (Cichorium Intybus L.). *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2016;(2):21–25. (In Russ.).
12. Gins MS, Shevchenko JuP, Kolesnikov MP. Frakcionnyj sostav polifenolov cikornogo salata vitluf jetiolirovannyh rastenij i vyrashhenij pri osveshhenii. *Ovoshhi Rossii*. 2009;(1):31–32. (In Russ.). doi: 10.18619/2072-9146-2009-1-31-32
13. Perović J, Tumbas Šaponjac V, Kojić, et al. Chicory (Cichorium intybus L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food Chemistry*. 2021;30(336):127676. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127676
14. Perović J, Tumbas Šaponjac V, Kojić J, et al. Polyphenolic profile of green/red spotted Italian Cichorium intybus salads by RP-HPLC-PDA-ESI-MSn. *J. of Food Composition and Analysis*. 2017;(63): 189–197. doi: 10.1016/j.jfca.2017.08.010
15. Mamedov JeP, Solodchenko EG, Tokbaeva AA, et al. Vlijanie fermentativnoj obrabotki mezgi na sodержanie fenol'nyh veshhestv v vishnevnyh natural'nyh i spirtovannyh sokah i ih stabil'nost'. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2020;(3):52–57. (In Russ.).
16. Fam VW, Charoenwoodhipong P, Sivamani RK, et al. Plant-Based Foods for Skin Health: A Narrative Review. *J. of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2022;122(3):614–629. doi: 10.1016/j.jand.2021.10.024
17. Ahmad Mohammad Salamatullah, Khizar Hayat, Fohad Mabood Husain, et al. Effects of Different Solvents Extractions on Total Polyphenol Content, HPLC Analysis, Antioxidant Capacity, and Antimicrobial Properties of Peppers (Red, Yellow, and Green (Capsicum annum L.). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. January 19, 2022. Article ID 7372101. doi: 10.1155/2022/7372101
18. Gusejnova BM, Asabutaev IH, Daudova TI. Ocenka prigodnosti abrikosov k shokovoj zamorozke po fiziko-tehnologicheskim pokazateljam kachestva. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2021;(1):74–83. doi: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83
19. Bazarnova JuG. Metody issledovanija svojstv syr'ja i pishhevoj produkcii. Saint Petersburg: NIU ITMO; 2012. 76 p.

ОБ АВТОРАХ

Колодязная Валентина Степановна, д.т.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6339-4583>;
eLibrary SPIN: 1446-2732;
e-mail: kvs_holod@mail.ru

Кипрушкина Елена Ивановна, д.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 4424-6265;
e-mail: eikiprushkina@itmo.ru

***Румянцева Ольга Николаевна**, к.т.н.;
адрес: 197101, Кронверкский пр., 49, Санкт-Петербург, Россия;
eLibrary SPIN: 5293-4639;
e-mail: rumiantseva@itmo.ru

Миронова Дарья Юрьевна, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 9182-8188;
e-mail: mironova@itmo.ru

*Автор для переписки

AUTHOR'S INFO

Valentina S. Kolodyaznaya, Dr. Sci. (Engin.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6339-4583>;
eLibrary SPIN: 1446-2732;
e-mail: kvs_holod@mail.ru

Elena I. Kiprushkina, Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 4424-6265;
e-mail: eikiprushkina@itmo.ru

***Olga N. Rumiantseva**,
address: 49, Kronverksky pr., Saint Petersburg, Russia;
eLibrary SPIN: 5293-4639;
e-mail: rumiantseva@itmo.ru

Daria Yu. Mironova,
eLibrary SPIN: 9182-8188;
e-mail: mironova@itmo.ru

*Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

Разработка технологии создания систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея)

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

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

АННОТАЦИЯ

Поставлена задача определения исходных данных и разработки технологии создания систем кондиционирования воздуха в сложных климатических условиях Восточной Африки. Предложены методика и результаты обработки материалов наблюдений, на основании которых определены температурные и влажностные параметры наружного и внутреннего воздуха для помещения Морского колледжа, расположенного в наиболее сложном по климатическим условиям районе Эритреи. Обоснован выбор, проведён расчёт и подбор оборудования специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: аридный климат, материалы наблюдений, методика обработки наблюдений, комбинированная система кондиционирования

Как цитировать:

Галимова Л.В., Семенов А.Е., Лувам Д.Г. Разработка технологии создания систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея) // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111. № 1. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

Development of the technology for creating air conditioning systems in an arid climate (Eritrea)

Larisa V. Galimova, Aleksandr E. Semenov, Debas G. Luvam

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

ABSTRACT

This study aimed to determine the initial data and develop a technology for creating air conditioning systems under the complicated climatic conditions of East Africa. A technique for processing the observational materials is proposed and the corresponding results are stated, which are subsequently used to determine the temperature and humidity of the outdoor and indoor air on the premises of the College of Marine Science and Technology located in the most complicated climatic region of Eritrea. The choice was substantiated, and the calculation and selection of equipment for a special combined environmentally-friendly air conditioning system were performed.

Keywords: arid climate; observational materials; finding processing technique; combined air conditioning systems

To cite this article:

Galimova LV, Semenov AE, Luvam DG. Development of technology for creating arid climate air conditioning systems (Eritrea). *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

Received: 24.03.2022

Accepted: 20.05.2022

Published: 24.08.2022

В условиях ускоренного развития цивилизации и роста жизненного уровня населения в развивающихся странах всё более острой становится проблема комфортного кондиционирования воздуха, в первую очередь это касается жарких стран Африканского региона. При этом важнейшим требованием к техническим системам является их энергоэффективность. Эритрея одна из развивающихся стран восточноафриканских стран со сложными климатическими условиями. Территория страны имеет жаркий и влажный климат на севере и юге региона вдоль Красного моря; жаркий и сухой климат в западной и восточной низменностях; с осадками и относительно умеренный климат в центральном нагорье. По классификации такой климат называется аридным [1]. На рис. 1 приведена климатическая карта с выделением районов аридного климата.

На территории Эритреи выбраны шесть районов с различными климатическими условиями с учётом их географического расположения, представленные на рис. 2 [2].

Ранее из-за недостаточного количества метеорологических наблюдений для жарких развивающихся стран, расчетные данные по состоянию наружного воздуха не формулировались. Вместо этого в качестве исходных данных для проектирования систем кондиционирования воздуха и холодильных систем принимались данные из соседних стран с аналогичными климатическими характеристиками или выбиралась абсолютная максимальная температура наружного воздуха.

В настоящее время почти каждая страна имеет подготовленный открытый набор данных дизайн-параметров для летних и зимних погодных условий. Эритрея не имеет этих данных, что не позволяет проанализировать и сформулировать параметры для каждого города или региона страны, обеспечив исходные данные для создания энергоэффективных климатических систем, что делает актуальным наше исследование.

В качестве объекта исследования выбрана технология создания систем кондиционирования воздуха в сложных условиях аридного климата. Объектом применения технологии выбран город Массава, для которого зафиксированы самые сложные характеристики наружного воздуха, и конкретное здание – Морской колледж, который расположен в городе Массава на побережье Красного моря. На рис. 3 представлен общий вид здания Морского колледжа. На первом этаже расположены аудитории, на втором – лаборатории со специальным оборудованием, третий этаж – административные помещения с актовым залом.

Основная трудность для создания систем кондиционирования воздуха (СКВ) в сложных условиях аридного климата – определение расчётных данных наружного воздуха. Климатические данные, необходимые для определения температуры и относительной влажности наружного воздуха, извлекались путем

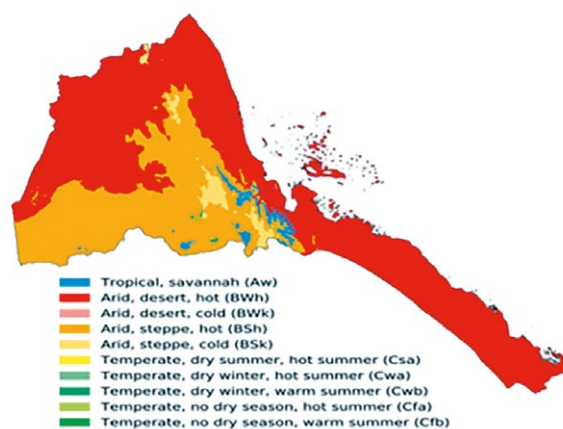


Рис. 1. Климатическая карта страны Эритрея.

Fig. 1. The climate map of Eritrea.



Рис. 2. Административная карта Эритреи.

Fig. 2. The administrative map of Eritrea.



Рис. 3. Общий вид здания Морского колледжа г. Массава.

Fig. 3. A general view of the College of Marine Science and Technology building in Massawa.

фильтрации из общего объема метео данных за 10 мес предполагаемой работы СКВ: ежедневно в течение 12 ч с 8:00 до 20:00 каждые 30 мин за 2020 год. Анализ климатических параметров проводился в соответствии с методикой [3]. Учебный год в колледже состоит из 12 рабочих месяцев, из которых январь и февраль обладают относительно умеренными климатическими условиями, когда не требуется кондиционирование воздуха. Климатические данные, полученные с метеостанции, обрабатывались в виде графиков по дням и месяцам года. Как показали результаты обработки, температура и относительная влажность наружного воздуха зависят не только от времени суток, но и от направления ветра, дующего с жаркой пустыни

или с прохладного моря, что также в соответствии с методикой учитывалось при анализе частотного распределения.

Статистическая обработка климатических данных (табл. 1–3; пояснения см. в тексте далее) показала, что самая высокая частота наружной температуры находится в диапазоне 32,6–33,6 °C (11,32%), тогда как самая высокая частота относительной влажности – в диапазоне 69–71% (11,57%).

На основе проведённого анализа частотного распределения климатических параметров, изучения частоты встречаемости каждого конкретного климатического параметра определены минимальные, средние, максимальные и расчётные значения, необходимые для проектирования системы кондиционирования воздуха с учётом необходимости снижения энергетических затрат. При проведении исследования принимался во внимание оптимальный период записи с целью учёта изменения

Таблица 1. Расчётные параметры наружного воздуха для городов Эритреи

Table 1. Calculated outdoor air parameters for cities in Eritrea

Город	Обеспеченность, %											
	99,6%		99%		97,5%		95%		92,7%		90%	
	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ
Массава	41,8	27,3	40,9	27,9	40,1	26,8	39	26,9	38,3	27,1	37,6	26,6
Асмара	31	14,2	30,2	13,2	28,9	13	27,7	13,3	26,9	12,8	26,1	12,7
Ассаб	39	29,6	38,3	28,2	37,3	27,8	36,4	27,8	35,8	27,6	35,1	26,9
Керен	34,6	17,3	35,6	18	34,7	18,3	33,6	17,4	32,7	17,4	31,9	17,2
Акордат	41,2	21,2	40,4	21,7	39,3	22,1	38,1	21,5	37,3	21,2	36,6	21,7
Мендефера	30,8	14,9	30,1	14,6	29,1	14,4	28	13,8	27,2	13,5	26,5	14,5

Таблица 2. Расчётные значения энтальпии, температуры и относительной влажности

Table 2. Calculated values of enthalpy, temperature and relative humidity

Город	Обеспеченность, %																	
	99,6%			99%			97,5%			95%			92,7%			90%		
	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл
Массава	102,5	42,8	42,0	98,7	36,5	66,6	94,7	36,7	59,4	91,6	34,9	63,9	90,0	36,3	55,9	88,5	35,6	56,9
Асмара	59,7	25,8	48,7	58,3	23,6	34,2	56,2	21,7	64,5	50,5	21,8	56,2	47,7	24,2	40,0	45,9	23,8	38,8
Ассаб	102,8	36,5	66,0	100,1	35,9	71,2	96,0	34,1	70,0	92,2	33,1	72,5	90,0	32,8	71,3	88,2	34,6	60,1
Керен	81,6	28,0	74,0	77,6	30,9	38,4	73,2	27,6	66,0	65,4	27,7	55,3	62,0	28,7	50,2	59,8	30,9	35,4
Акордат	96,9	31,7	78,7	88,6	33,9	44,6	83,6	33,0	59,4	77,8	34,2	48,6	75,6	34,4	45,8	73,6	35,5	39,0
Мендефера	63,0	26,3	53,5	61,0	23,3	36,2	57,9	22,5	65,5	51,7	24,0	48,8	48,9	23,4	47,0	47,1	23,5	44,4

Таблица 3. Абсолютные максимальные параметры наружного воздуха

Table 3. Absolute maximum outdoor air parameters

№	Город	Высота, м	Давление, гПа	Максимальная температура, °C	Максимальная энтальпия, кДж/кг
1	Массава	10	1011	43.1	118.8
2	Асмара	2325	777	32.3	62.2
3	Ассаб	14	1012	40.7	111.7
4	Керен	1389	868	38.1	87.8
5	Акордат	615	948	43.7	103.3
6	Мендефера	1975	810	32.4	66.8

климатических параметров. Установлено, что минимальный (рекордный) период постоянства температуры летом меньше, чем зимой. Кроме того, минимальный рекордный период проектной температуры в северных городах больше по сравнению с южными городами [4, 5].

По результатам анализа получено, что средняя температура наружного воздуха за весь период составляет 34,24 °C, а средняя относительная влажность – 79,14%. Для выбора расчётных температуры и относительной влажности при проектировании системы кондиционирования воздуха в г. Массава использован частотный анализ. Принято, что более высокие значения температуры по сравнению с расчётной должны наблюдаться в среднем не более 220 часов в год. После сортировки и группировки климатических данных, с помощью программы Microsoft Excel были получены усреднённые расчётные значения минимальной и максимальной температур и относительной влажности для каждого месяца (см. табл. 3).

В результате принята расчётная температура воздуха 36,6 °C и относительная влажность воздуха 80%.

В Эритрее нет метеорологических станций, а для проектирования систем кондиционирования воздуха нужны климатические данные за последние 5–10 лет, поэтому в качестве источника информации использованы справочные данные, которые предоставляет американское общество кондиционирования воздуха ASHRAE [6]. Meteonorm 7 – инновационная программа по генерированию и анализу климатических данных – обеспечивает доступ к базе климатических данных для проектов, связанных с использованием возобновляемых источников энергии и проектированием систем жизнеобеспечения зданий в любой точке мира. При разработке программы был использован более чем 25-летний опыт работы в области развития климатических данных для экологического строительства.

Meteonorm предназначен для инженеров, интересующихся потенциалом использования возобновляемых источников энергии и проектами, связанными с анализом климатических данных.

База данных: климатические данные от 8 300 метеорологических станций.

Используемые параметры: солнечное излучение, температура, влажность, количество осадков, направление и скорость ветра, количество солнечных дней и часов в году и другие.

Возможность выбора периодов 1961–1990 и 2000–2009 для температуры, влажности, осадков и скорости ветра.

Интерполирование результатов с высокой точностью для любой точки мира.

Генерирование данных по температуре, влажности и скорости ветра для проведения расчетов по энергомоделированию, анализу термического комфорта и дневного освещения.

Программа:

Полностью обновленная версия с применением интуитивного алгоритма.

Применение инновационного модуля Horicatcher, позволяющего воспроизводить панорамные виды внутри самой программы.

Обновленный инструмент по поиску местоположения на карте.

Обновленный интерфейс для использования пользовательских данных (включая данные из интернета).

Обычно полученные метеорологической станцией данные без дополнительного исследования могут быть использованы для близко расположенных от станции объектов.

С использованием ежемесячных данных Meteonorm производит вычисления почасовых данных относительно всех используемых параметров. Полученная результирующая составляющая в дальнейшем используется для создания так называемого типичного года, который может быть использован для проектирования систем жизнеобеспечения зданий. Необходимые для проведения расчетов данные для страны Эритрея получены на основе стандартов для ближайших к ней стран – Йемен и Саудовская Аравия.

Учитывая разницу в теплоемкости зданий, ASHRAE дает климатические условия проектирования с кумулятивной частотой 99 и 97,5% на зиму и 0,4, 1 и 2% на лето. Чтобы полностью отразить внутреннюю и наружную корреляцию, значения 99.4; 99; 97.5, 95, 92.5 и 90% кумулятивной частоты встречаемости были выбраны для генерации расчётной температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры мокрого термометра, влажности и энтальпии по [7] и американской норме (ASHRAE) [6].

С целью развития рассмотренной методики использована программа, которая позволяет получить расчётные значения параметров путём группирования часовых данных и выявления из них расчётных условий, учитывающих соблюдение необходимой обеспеченности, связанной с учётом их энергоэффективности.

Результаты обработки исходных метеорологических данных представлены в таблицах 1–3. Обозначения в таблицах даны в соответствии с Meteonorm 7: t – температура наружного воздуха, °C; $s_{\text{сстмт}}$ – средняя совпадающая температура мокрого термометра, °C; энт – энтальпия, кДж/кг; $s_{\text{ст}}$ – средняя совпадающая температура наружного воздуха, °C; $s_{\text{свл}}$ – средняя совпадающая относительная влажность, %.

В процессе расчёта проведено сравнение значений температуры и влажности воздуха для г. Массава, полученных в результате наблюдений и в результате расчётов по данным ASHRAE для условия 95% обеспеченности. Относительная разность в значениях температур составляет 6,2%, относительная влажность отличается на 20%. Причиной является большая разбросанность значений,

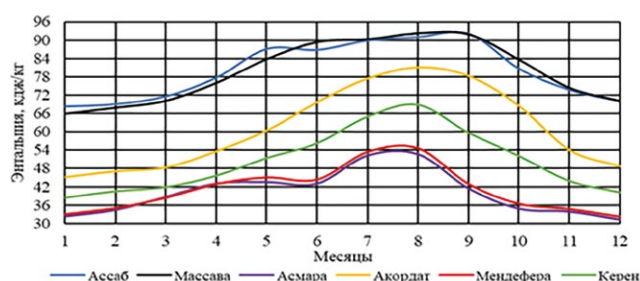


Рис. 4. Средние максимальные значения энтальпии наружного воздуха по месяцам 2020 года.

Fig. 4. Average maximum values of outdoors enthalpy by months of 2020.

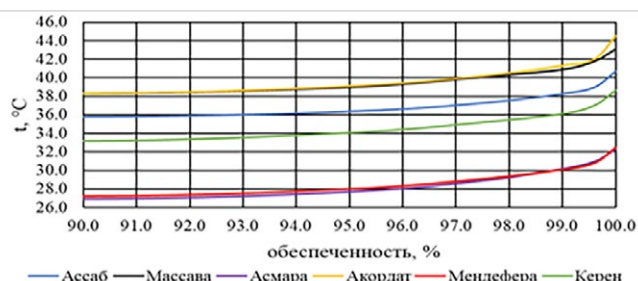


Рис. 5. Средние максимальные значения температуры наружного воздуха.

Fig. 5. Average maximum values of outdoor air temperature.

связанная с особенностью расположения города на берегу моря.

Характер изменения параметров в течение календарного года иллюстрируют рис. 4, 5.

Представленные графики указывают на то, что города Массава и Ассаб имеют наиболее сложные климатические условия. Параметры воздуха г. Массава с учётом необходимой энергоэффективности системы приняты при значении величины обеспеченности 95–97%.

Определение исходных данных для разработки системы кондиционирования воздуха было выполнено в порядке проведения натурно-производственного эксперимента, результатами которого были: расчёт площадей всех видов наружных ограждений, объёмов внутренних помещений по назначению и этажам, температуры и влажности воздуха помещений.

Сложные климатические условия Эритреи определили выбор специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха [8, 9].

С целью поддержания необходимой температуры внутреннего воздуха аудиторий с большим количеством учащихся для каждого этажа принята VRF-система с одним внешним блоком и количеством внутренних блоков по числу помещений. Наружный воздух обрабатывается в приточной системе вентиляции с охлаждением воздухоохладителя холодильным агентом системы VRF. Подача в помещения

обработанного свежего воздуха производится с помощью приточно-вытяжной вентиляции, рассчитанной и подобранной в зависимости от количества людей в помещениях [8, 9].

Параметры внутреннего воздуха в помещениях колледжа поддерживаются с учётом их назначения [9] путём изменения потоков поступающего и удаляемого воздуха.

Исходные данные для теплового расчёта и подбора оборудования для условий обеспеченности 95%: температура наружного воздуха 39 °C; относительная влажность наружного воздуха 63,9%; расход наружного воздуха 20 м³/ч на чел.; размер площади на человека 2 м²; температура в помещении 25 °C; относительная влажность – 50%.

В табл. 4 приведены результаты расчёта теплопритоков и влагопритоков, отводимых из помещения обработанным наружным воздухом и внутренними блоками. Видно, что при большом количестве людей нагрузка на приточно-вытяжную вентиляцию значительно больше, чем на внутренние блоки.

Для решения о выборе систем кондиционирования воздуха и холодильных систем проведён анализ различных систем кондиционирования воздуха, результаты которого показывают значительную экономию энергии при использовании эффективных систем рециркуляции и утилизации теплоты удаляемого воздуха. Следует учитывать, что при рециркуляции воздуха значительно возрастают капитальные затраты на увеличение расхода воздуха

Таблица 4. Теплоприток и влагоприток по этажам

Table 4. Heat inflow and moisture inflow by floor

№	Этаж	$N_{\text{люд}}$	$W_{\text{пом}}, \text{ кг/ч}$	$Q_{\text{н}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{внб}}, \text{ кВт}$
1	1 этаж	200	5,63	71,0	36,3
2	3 этаж	195	7,04	69,0	50,64
3	3 этаж	300	6,62	109,5	24
Итого		695	19,3	249,5	111,14

Примечание: $N_{\text{люд}}$ – количество людей в помещениях; $W_{\text{пом}}, \text{ кг/ч}$ – расход удаляемой влаги из помещений;

$Q_{\text{н}}, \text{ кВт}$ – количество теплопритоков, отводимых из помещений обработанным наружным воздухом; $Q_{\text{внб}}$ – количество теплопритоков, отводимых из помещений внутренними блоками системы VRV.

и значительно увеличивается объём воздуховодов приточной вентиляции [10, 11]. Поэтому выбрана система с VRF и приточно-вытяжной системой с воздухоохладителями, охлаждаемыми холодильным агентом. На основании проведённых расчётов и анализа их результатов произведён подбор оборудования. В помещениях колледжа установлены внешние и внутренние блоки VRF IV:

RXQ10TANYM(E) – внешний блок 1 этаж (1 шт);
FXCQ20AVM – внутренний блок 1 этаж (14 шт);
RXQ14TAYM(E) – внешний блок 2 этаж (2 шт);
FXCQ20AVM – внутренний блок 2 этаж (18 шт);
RXQ8TAYM(E) – внешний блок 3 этаж (1 шт);
FXCQ20AVM – внутренний блок 3 этаж (8 шт).

Для приточной вентиляции принята система охлаждения воздухоохладителей центральных кондиционеров наружными блоками VRF:

1 этаж RXQ26TANYM(E) (1 шт) $Q = 73,5$ кВт;
2 этаж RXQ26TANYM(E) (1 шт) $Q = 73,5$ кВт;
3 этаж RXQ20TANYM(E) (2 шт) $Q = 118$ кВт.

Для 1-го и 2-го этажей установлен приточный кондиционер КЦКП-3,15-У3 производительностью 4000 м³/ч. Для 3-го этажа установлен приточный кондиционер КЦКП-16-У3 производительностью 6000 м³/ч.

При проектировании, расчёте и подборе оборудования использованы программы Revit, Coolpack, Excel, Veza KCKPI, VRV Xpress.

Вопрос о размещении оборудования СКВ предлагается решить с использованием свободных площадей коридоров на основании планировки каждого этажа.

ВЫВОДЫ

1. Применение специальной технологии обработки результатов метеорологических наблюдений

позволяет решить основную задачу – обоснование расчётных значений температуры и влажности наружного воздуха.

2. Обеспечение температуры внутреннего воздуха проводится в соответствии с назначением помещения.
3. С учётом сложных климатических условий выбрана специальная комбинированная экологически чистая система кондиционирования воздуха.
4. При проведении расчёта и подбора оборудования СКВ использовано современное программное обеспечение.
5. Применение инновационной программы Meteonorm 7 позволяет определять необходимые климатические данные для расчёта системы кондиционирования воздуха на всей территории Эритреи.
6. Приведён пример результатов проектирования системы VRV и приточно-вытяжной системы для Морского колледжа города Массавы, которая позволяет обеспечить необходимые климатические параметры в условиях сложного климата.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Финансирование. Исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. The study compleate with no funding.

Competing interests. Authors declare absence of any competind interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enteria N., Awbi H., Santamouris M. Perspective and Advances of Houses and Buildings in Hot and Humid Regions // Building in Hot and Humid Regions. Singapore: Springer, 2019. P. 1–14. doi: 10.1007/978-981-13-7519-4_1
2. Aste N., Butera F.M., Adhikari R.S., et al. Sustainable Building Design for Tropical Climates // Innovative Models for Sustainable Development in Emerging African Countries. 2019. P. 37–46. DOI: 10.1007/978-3-030-33323-2_4
3. ASHRAE Handbook, 1999. Applications. Chap. 1: Control of Gaseous Indoor Air Contaminants. 2004. 504 p.
4. Different types of air conditioning systems. URL: <https://www.rightnowair.com/webapp/p/620/different-types-of-air-conditioning> (01.12.2021).
5. Malyavina E., Malikova O., Lyong P. Methods of selection of the outdoor air design temperature and enthalpy in the warm period of the year // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/365/2/022057
6. Westberg D., Stackhouse Jr.P., Crawley D., et al. An Analysis of NASA's MERRA Meteorological Data to Supplement Observational Data for Calculation of Climatic Design Conditions // ASHRAE Transactions Conference. Denver, Colorado. 2013. Vol. 119, part 2. P. 210–221.
7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. М., 2020. 153 с.
8. ASHRAE standard 90.2-2007. Energy Efficient Design of Low-rise residential buildings. 2016. 52 p.
9. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. М., 2012. 92 с.
10. The Essentials of Working with R-410A. URL: <https://www.achrnews.com/articles/92875-the-essentials-of-working-with-r-410a> (01.12.2021).
11. Hitchin R., Knight I. Daily Energy Consumption Signatures and Control Charts for Air-Conditioned Buildings // Energy and Buildings. 2016. Vol. 112. P. 101–109. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.059

REFERENCES

1. Enteria N, Awbi H, Santamouris M. Perspective and Advances of Houses and Buildings in Hot and Humid Regions. *Building in Hot and Humid Regions*. Singapore: Springer; 2019. p. 1–14. doi: 10.1007/978-981-13-7519-4_1
2. Aste N, Butera FM, Adhikari RS, et al. Sustainable Building Design for Tropical Climates. *Innovative Models for Sustainable Development in Emerging African Countries*. 2019, p. 37–46. doi: 10.1007/978-3-030-33323-2_4
3. *ASHRAE Handbook*, 1999. Applications. Chap. 1: Control of Gaseous Indoor Air Contaminants. 2004, 504 p.
4. Different types of air conditioning systems. URL: <https://www.rightnowair.com/webapp/p/620/different-types-of-air-conditioning> (01.12.2021).
5. Malyavina E, Malikova O, Lyong P. Methods of selection of the outdoor air design temperature and enthalpy in the warm period of the year. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, p. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/365/2/022057
6. Westberg D, Stackhouse JrP, Crawley D, et al. An Analysis of NASA's MERRA Meteorological Data to Supplement Observational Data for Calculation of Climatic Design Conditions. *ASHRAE Transactions Conference*. Denver, Colorado; 2013. Vol. 119, part 2, p. 210–221.
7. SP 131.13330.2020 *Stroitel'naja klimatologija*. Moscow, 2020. 153 p. (In Russ.).
8. ASHRAE standard 90.2-2007. *Energy Efficient Design of Low-rise residential buildings*. 2016, 52 p.
9. SP 118.13330.2012 *Obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya*. Moscow, 2012. 92 p. (In Russ.).
10. *The Essentials of Working with R-410A*. URL: <https://www.achrnews.com/articles/92875-the-essentials-of-working-with-r-410a> (01.12.2021). (In Russ.).
11. Hitchin R, Knight I. Daily Energy Consumption Signatures and Control Charts for Air-Conditioned Buildings. *Energy and Buildings*. 2016;112:101–109. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.059

ОБ АВТОРАХ

***Галимова Лариса Васильевна**, д-р. техн. наук, профессор;
адрес: Россия, 414056 г. Астрахань, ул. Татищева, 16;
SPIN: 4573-7810;
e-mail: galimova_lv@mail.ru

Семёнов Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент;
SPIN: 6482-8182;
e-mail: semenalex48@yandex.ru

Лувам Дебас Гебреиоргис, аспирант;
e-mail: alref96@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

***Larisa V. Galimova**, Dr. Sci. (Eng.), Professor;
address: 16, ул. Татищева, г. Астрахань, 414056, Russia;
SPIN: 4573-7810;
e-mail: galimova_lv@mail.ru

Aleksandr E. Semenov, Cand. Sci. (Tech.);
SPIN: 6482-8182;
e-mail: semenalex48@yandex.ru

Debas G. Luvam;
e-mail: alref96@gmail.com

* Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108640>

Итоги деятельности Международной академии холода в 2021 г. и задачи на 2022 г. (доклад на XXIX общем годичном собрании 21 апреля 2022 г.)

А.В. Бараненко

Международная ассоциация холода, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В докладе приводятся результаты деятельности Международной Академии Холода в 2021 году, приводятся задачи на 2022 год, также приводятся данные о состоянии холодильной отрасли Российской Федерации.

Ключевые слова: Международная Академия Холода, итоги, задачи

Для цитирования:

Бараненко А.В. Итоги деятельности Международной академии холода в 2021 г. и задачи на 2022 г. // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 45–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108640>

Received: 24.03.2022

Accepted: 20.05.2022

Published: 24.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108640>

Results of the activities of the International Academy of Refrigeration in 2021 and tasks for 2022 (report at the XXIX General Annual Meeting on April 21, 2022)

Aleksandr V. Baranenko

International Academy of Refrigeration, Moscow, Russia

ABSTRACT

The report provides the results of the activities of the International Academy of Refrigeration in 2021, as well as tasks for 2022, and presents data on the state of the refrigeration industry in the Russian Federation.

Keywords: International Academy of Refrigeration, results, tasks

To cite this article:

Baranenko AV. Results of the activities of the International Academy of Refrigeration in 2021 and tasks for 2022. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):45–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108640>

Received: 24.03.2022

Accepted: 20.05.2022

Published: 24.08.2022

Международная академия холода функционирует в соответствии с действующим Уставом. Основная ее цель – консолидация потенциала ученых разных стран для развития холодильной отрасли и пищевых биотехнологий, пропаганда их значимости в современном мире.

Мы живем с вами в не очень простое время, но несмотря на имеющиеся сложности в международных отношениях, сегодня у нас есть возможность обменяться мнениями о путях развития техники низких температур и пищевых биотехнологий.

В научной периодике не удалось обнаружить какой-либо общей статистики по развитию мирового холодильного сектора за прошедший год.

Международный институт холода (МИХ) постоянно издает аналитические информационные записки, в которых привлекает внимание ученых, производителей оборудования и чиновников к актуальным направлениям развития холодильной техники. Обратимся к его последним информационным запискам.

В 41-й и 45-й записках (январь и октябрь 2021 г.) представлен обзор по бытовым тепловым насосам (ТН) «воздух–воздух» и высокотемпературным ТН для промышленности. Отмечается, что тепловые насосы могут сыграть важную роль в достижении глобальных целей по энергосбережению и снижению выбросов диоксида углерода. Для создания потенциала до 300 °С в промышленности перспективны высокотемпературные ТН на базе абсорбционных машин.

МИХ подчеркивает, что тепловые насосы – одна из ключевых технологий для обезуглероживания мировой экономики. Именно поэтому требуется повышать осведомленность об этой технологии среди соответствующих потенциальных потребителей и правительственных организаций. Кроме того, для расширения областей применения и снижения затрат необходимо поддерживать исследования перспективных технологий в этой области.

В условиях экономики сегодняшнего дня, высоких цен на энергоносители в мире и неопределенности с их поставками расширение применения ТН особенно актуально.

В октябре 2021 г. в Нюрнберге состоялся седьмой международный саммит по ТН. Докладчики отметили, что обеспечение надежного, экономичного и устойчивого энергоснабжения, а также защита окружающей среды и климата – важные глобальные вызовы XXI века. Увеличение производства и использования возобновляемых источников энергии и повышение энергоэффективности – наиболее важные шаги для достижения этих целей энергетической политики.

Электрическим тепловым насосам будет отведена ключевая роль в решении проблемы декарбонизации отопления и охлаждения в течение следующих 10 лет и далее в ЕС. Предложенная ЕС стратегия по интеграции



Президент МАХ,
д.т.н., профессор А.В. Бараненко

President of the International Academy of Refrigeration,
Professor A.V. Baranenko, PhD in Engineering

энергетических систем предусматривает, что 40% жилых и 65% коммерческих зданий будут отапливаться электричеством к 2030 г. Для достижения таких целей необходимо довести число ТН в ЕС до 50 млн шт. к 2030 г.

В ближайшей перспективе коммерческое применение высокотемпературных тепловых насосов с температурами в диапазоне от 100 до 160 °С увеличится. В частности, доля промышленного энергопотребления процессов сушки составляет 10–25%.

43-я и 44-я записки МИХ (июнь 2021 г.) посвящены рекуперации энергии в системах механической вентиляции. Отмечается, что на строительный сектор приходится до 40% мирового спроса на энергию, поэтому снижение энергопотребления зданиями и сооружениями весьма актуально. Рекуперация энергии «воздух–воздух» часто становится наилучшим решением для значительного сокращения не только потребностей в энергии, но и установленной мощности отопления или охлаждения. Наличие эффективных рекуператоров обеспечивает высокую энергоэффективность систем кондиционирования воздуха и механической вентиляции, которая должна быть обязательной в новых или модернизированных герметичных зданиях. Отмечается эффективность выпускаемых отдельными фирмами роторных теплообменников, в которых осуществляется совместный

тепло- и массоперенос. Роторные теплообменники с сорбционным покрытием открывают значительные возможности для снижения энергопотребления и выбросов диоксида углерода, а также улучшают качество воздуха внутри помещений. МИХ подчеркивает необходимость разработки мероприятий по всему миру, посвященных экономическим и экологическим преимуществам рекуперации тепла в системах вентиляции, для повышения осведомленности потенциальных пользователей, политиков и представителей промышленности.

46-я информационная записка МИХ (январь 2022) посвящена системам накопления тепловой энергии. Отмечается, что, как известно, нагрузки на оборудование редко бывают стабильными, они изменяются в определенных пределах – в зависимости от технологий, организации быта людей, климатических условий и других факторов. При проектировании систем охлаждения, КВ- и ГВС-оборудование, как правило, подбирают по максимальной нагрузке. Это увеличивает капитальные затраты и подключаемые электрические мощности, а также может снижать эффективность систем при их эксплуатации при меньших, по сравнению с максимальными, нагрузках. Накопление теплоты имеет большое значение при использовании возобновляемых источников энергии, имеющих прерывистый характер, например энергии солнца. Применение аккумуляции холода и теплоты в названных ранее системах позволяет сократить инвестиционные затраты, эксплуатировать оборудование в оптимальных режимах при его высокой эффективности, снижать потребление электроэнергии, выравнивать нагрузки на электросети, использовать возобновляемые источники энергии. Прогрессивным решением является применение в накопителях теплоты и холода веществ с фазовым переходом.

Кроме того, в 41-й записке представлен анализ Международного энергетического агентства (МЭА) по числу эксплуатируемых в мире бытовых кондиционеров и перспектив расширения их использования. Согласно статистике МЭА, мировой запас кондиционеров в 2020 г. достиг примерно 2 млрд ед. Среди всех типов систем кондиционирования воздуха большинство составляют комнатные кондиционеры и VRF-системы. В условиях пандемии коронавируса для снижения концентрации вирусов в помещении наиболее эффективная мера – одновременное применение систем кондиционирования воздуха и мощной вентиляции. На крупных потребителей кондиционеров, Китай и США, приходится более половины общего объема продаж. Достаточно большое число кондиционеров потребляют в Японии, Корее, Бразилии и Индии.

По прогнозу, применение данной технологии имеет перспективы опережающего развития: к 2030 г. число кондиционеров в мире достигнет 2,5 млрд шт., а к 2050 г. – более 4 млрд шт. Крупным игроком на этом рынке станет Индия.

О развитии холодильной индустрии в России. Мы должны быть благодарны portalу «Холодильная индустрия», который публикует отдельную статистическую информацию. Она свидетельствует о росте деловой активности в данной сфере.

По итогам 2021 г. импорт холодильной техники в Россию составил 1,46 млрд долл. США, что на 21,6% выше по сравнению с предыдущим периодом.

Импорт компрессоров, используемых в холодильном оборудовании, за 2021 г. вырос на 22,6% по сравнению с предыдущим годом и составил 376,1 млн долл. США. В лидерах поставки холодильных компрессоров по-прежнему четыре страны: Китай, Германия, Словакия и Южная Корея, на них приходится 65% импорта.

Как и в предыдущие годы, более половины объема импорта холодильной техники составляют поставки из трех стран: Китай, Беларусь, Германия.

Основной рост поставок в 2021 г. пришелся на Китай (более 70% в стоимостном выражении), что вывело эту страну на первое место по импорту в сравнении с консолидированными данными по странам ЕС. В предыдущие годы страны ЕС оставались неизменным лидирующим поставщиком холодильной техники в Российскую Федерацию.

По итогам 2021 г. экспорт холодильной техники из России составил 501 млн долл. США, что на 30% больше по сравнению с предыдущим периодом. 70% всего экспорта составили поставки в Казахстан, Беларусь, Украину и Узбекистан.

В Российской Федерации несколько предприятий заявили о готовности начать производство рефрижераторных контейнеров и вагонов. В частности, «Омсктранс-маш» после серии испытаний опытного образца рефконтейнера получил свидетельство, позволяющее начать их серийный выпуск.

По заказу ООО «Русские рефрижераторы» («РусРеф») на площадке «Уралвагонзавода» разработан рефрижераторный вагон. Он уже прошел все необходимые сертификационные испытания. Эта модель может возить груз из любой точки сети в другую без дозаправки, технического обслуживания и какого-либо вмешательства персонала. Вагон оснащен возможностью мониторинга данных о состоянии груза и самого вагона на всем пути следования. Расчетный диапазон температуры в грузовом помещении: от –24 до +15 °С, грузоподъемность вагона – 55 т.

Однако следует отметить, что в РФ активность научной деятельности по развитию техники низких температур остается на крайне низком уровне. Вызывает озабоченность сокращение приема в вузы по направлениям подготовки специалистов для холодильной индустрии. Данный вопрос требует рассмотрения на Федеральном учебно-методическом объединении с принятием обращения в органы власти РФ, здесь необходима также поддержка предприятий отрасли.

Основные тренды развития техники низких температур остаются неизменными – повышение энергоэффективности и экологической безопасности. Реализация этих целей осуществляется по многим направлениям: новые технологии в компрессор- и аппаратостроении; расширение применения безмасляных холодильных машин, энергоэффективных и экологически безопасных хладагентов, технологий ТН в быту и промышленности; развитие твердотельного охлаждения; создание современных систем автоматизации и регулирования; широкое использование возобновляемых источников энергии и многое другое.

О продовольствии и пищевых биотехнологиях. Продовольственная и сельскохозяйственная организация – ФАО (Food and Agriculture Organization, FAO) ООН декларирует следующее: «Продовольственная безопасность существует тогда, когда все люди в любое время имеют физическую, социальную и экономическую возможности доступа к безопасной и здоровой пище в достаточном количестве, что позволяет им удовлетворять свои потребности и предпочтения для ведения активного и здорового образа жизни».

В последнее 10-летие в мире ситуация с обеспечением продовольствием существенно не улучшилась. Число голодающих составляет порядка 700 млн чел. Принятая на саммите ООН по устойчивому развитию в сентябре 2015 г. цель № 2 – «нулевой голод», которая предусматривает ликвидацию голода и обеспечение пищевой безопасности до 2030 г., по всей видимости, не будет достигнута. Таким образом, обеспечение как снабжения, так и качества продуктов питания остается одним из основных глобальных вызовов, особенно в связи с прогнозируемым увеличением населения в мире до 9,7 млрд к 2050 г.

При этом доля населения в развивающихся странах увеличится до 75%. Рост народонаселения на планете может усугубить положение дел с обеспечением пищевыми продуктами. Потребности в пище значительно возрастут. ФАО считает, что наряду с увеличением сельскохозяйственного производства особое внимание следует уделять сохранению того, что уже произведено. Такое решение будет способствовать минимизации негативного воздействия чрезмерной сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду, общество и экономику.

Потери продовольствия в мире из-за отсутствия охлаждения оцениваются в 12–13%. В первую очередь это связано с неравномерностью покрытия холодильными цепями территорий целого ряда государств и их отставанием в развивающихся странах.

Обеспеченность населения холодильными емкостями в различных государствах отличается на порядок.

В РФ общие потери продовольствия при транспортировке, хранении и переработке оцениваются в 17%, в денежном выражении – 1,4 трлн руб.

МИХ выполнил интересное исследование. Согласно разработанной им модели выбросы парниковых газов от оборудования непрерывной холодильной цепи (НХЦ) составляют более 100 Мт эквивалента CO₂.

Эмиссия CO₂ распределяется следующим образом: 60% связано с потреблением электроэнергии, 22% – с утечками хладагентов и 18% – это сжигание дизельного топлива. Расчеты по модели показали, что холодильная цепь, доведенная на всех территориях до уровня развитых стран, позволит сократить на 55% потери продовольствия, а углеродный след при этом уменьшится на 47% (в сравнении с нынешней НХЦ).

Следует отметить, что мировой холодильный сектор с началом пандемии оперативно отреагировал на вызовы, связанные с необходимостью хранения и транспортирования вакцин от COVID-19. Кампания по вакцинации от COVID-19 привнесла существенные изменения в холодильную цепь для вакцин: объем этой цепи вырос почти вдвое по сравнению с существовавшей ранее). Причиной роста стали и новые интервалы температур хранения и транспортировки: –90÷–60 и –25÷–15 °C, требующие нового оборудования, новых технических решений и организаций. Так как ранее такие температуры использовались редко для хранения вакцин, их изменение вызвало необходимость адаптации логистических цепочек к хранению, транспортировке и распространению.

Публикации в научной периодике, конференции, проводимые МИХ и другими организациями, свидетельствуют о большом внимании ученых к развитию непрерывных холодильных цепей. Тем не менее очевидно, что проблем в этой области существует еще очень много.

Пандемия COVID-19 привела к историческим изменениям в различных нормах нашего общества и способах взаимодействия людей. Она также продемонстрировала прямое и сильное воздействие на продовольственный сектор, затрагивая в основном биологически активные соединения, безопасность пищевых продуктов, продовольственную безопасность и устойчивость развития.

Компания ADM на основе собственных исследований сделала заключение о том, что пандемия COVID-19, элементы глобального кризиса здравоохранения изменили предпочтения в потреблении пищевых продуктов.

Наблюдается повышенный спрос на продукты питания и напитки, которые поддерживают иммунную систему, улучшают настроение и уменьшают наше воздействие на окружающую среду.

Замечу, что 50% потребителей отдают предпочтение продуктам питания и напиткам, которые естественным образом содержат полезные ингредиенты, а 31% покупают больше товаров, специально предназначенных для особенностей их здоровья.

Примерно 25% покупателей во всем мире страдают от болезней пищеварительной системы. Возрос интерес

этих людей к функциональным пищевым продуктам, содержащим пробиотики и постбиотики, которые поддерживают функцию микробиома.

Еще одна тенденция на рынке потребления 2021 г. связана с быстрым расширением спроса на растительную белковую пищу, которую люди употребляют как альтернативу привычным белкам. В перечень подобных «инноваций» входят морепродукты, такие как креветки и моллюски, различные белковые закуски, растительные сыры и многое другое.

Ученым в области пищевой биотехнологии и производителям продовольствия необходимо реагировать на изменения потребительского спроса.

На мировом рынке продовольствия активно развивается сегмент FoodTech. Он включает умное, технологичное и высокопродуктивное сельское хозяйство, биотехнологии, органические продукты, персонализированное питание, умные цепи поставок, роботизацию. Этот сегмент предполагает интеграцию цифровых технологий во всю пищевую цепочку.

О перспективности развития направления FoodTech на рынке продуктов питания свидетельствует объем инвестиций в эту сферу. По данным J'son & Partners Consulting, в 2018 г. он оценивался в 191 млрд долл., а в 2025 г. может составить 390 млрд долл. Объем мирового рынка FoodTech оценивается примерно в 3,5 трлн долл. США к 2035 г.

Причины быстрого развития данного направления – стремление в первую очередь обеспечить продовольственную безопасность как отдельных стран, так и регионов.

Актуальная проблема – поиск альтернативных источников сырья для пищевой и кормовой отрасли – непосредственно связана с ростом населения Земли, изменениями климата, истощением водных и земельных ресурсов. Динамичное развитие в области разработки альтернативных источников сырья для пищевой и кормовой отрасли поможет человечеству справиться с этой проблемой. Темпы годового роста мирового рынка аналогов мяса, рыбы, молочных продуктов, яиц из растительного сырья оцениваются в 40–60%. По данным исследований, доля аналогов мяса, в том числе созданного на основе растительного белка в лабораторных условиях, к 2025 г. может составить 10% мирового рынка мяса.

Интересным направлением мирового рынка FoodTech представляется рост (по прогнозу – почти в 1,2 млрд долл. к 2023 г.) сегмента протеина из насекомых. В настоящее время более 60% всего рынка белка из насекомых приходится на сельскохозяйственный сектор – как добавка в корма для животных, однако в обозримом будущем планируется использовать такой протеин и в продуктах для людей.

Мировой рынок сельскохозяйственных биотехнологий, по прогнозам, к 2025 г. достигнет 67 млрд долл.

Активно будет развиваться сегмент редактирования генома. Ключевым драйвером этого рынка будет растущий спрос на технологии, способствующие повышению урожайности. При этом более 50% прогнозируемого роста мирового рынка сельскохозяйственных биотехнологий обеспечит США, в том числе и благодаря своей одобрительной законодательной политике в области генной инженерии. Доля России в общем объеме мирового рынка генетических технологий очень мала. Ключевой барьер в развитии российского рынка сельскохозяйственных биотехнологий – закон о запрете ГМО, принятый еще в 2016 г.

Активно развивается мировой рынок персонализированного питания, к 2025 г. его объем может достигнуть 11,5 млрд долл. В настоящее время мировые тренды этой области – интеграция сервисов персонализированного питания в систему здравоохранения и его развитие для узких групп потребителей.

По прогнозам, переход на здоровое питание позволит снизить издержки на охрану здоровья на 97%. Высвободившиеся средства можно будет инвестировать в снижение стоимости питательных пищевых продуктов.

Как известно, в Российской Федерации одобрена дорожная карта Национальной технологической инициативы «Фуднет», которая включает практически весь продовольственный комплекс – от производителей удобрений до продажи готового продукта конечному потребителю. Согласно концепции, речь идет о таких сложных для продовольственной сферы материях, как освоение технологии шестого технологического уклада, ориентированной на цифровые, агро- и промышленные биотехнологии. Дорожная карта призвана эффективно организовать, координировать, масштабировать проекты по перспективным рынкам «Фуднета» и сформировать российскую «пищевую индустрию 4.0».

Приведу примеры современных направлений повышения качества пищевых продуктов. Это уменьшение и устранение бактериальной нагрузки, микроволновая термическая стерилизация мяса и морепродуктов, вакуумное удаление влаги под воздействием микроволн, улучшение качества продукции импульсным электрическим полем, обработка запечатанной продукции высоким давлением.

Таким образом, можно констатировать, что пищевые биотехнологии продолжают развиваться в соответствии с потребностями человеческого сообщества и при этом стремятся оперативно реагировать на возникающие вызовы.

Роль мирового холодильного сектора и пищевых биотехнологий в глобальной экономике, закономерности их развития, частично названные в докладе, определяют программу деятельности ученых нашей академии на ближайшую перспективу. Потенциал ученых Академии позволяет отвечать на имеющиеся вызовы

на основе выполнения фундаментальных и прикладных исследований. Президиум Международной академии холода уверен в том, что ученые нашего объединения будут и дальше вносить существенный вклад в получение важнейших результатов в соответствующих областях знаний.

В настоящее время Академия насчитывает в своих рядах 1744 члена: 16 почетных академиков, 788 действительных членов, 763 члена-корреспондента и 177 академических советников. В состав Академии входят граждане 38 государств. Коллективными членами МАХ являются порядка 100 российских и зарубежных фирм, научно-исследовательских институтов и вузов.

Традиционно – о нашем научно-теоретическом журнале «Вестник Международной академии холода». Журнал индексируется в четырех международных базах данных, а также в РИНЦ, включен в Перечень ВАК и в каталог периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory.

К сожалению, наш журнал постепенно утрачивает позиции: в 2015 г. он был 800-м в Science Index (РИНЦ), а в 2020 г. – только 2239-м. Задача нашего «Вестника Международной академии холода» – войти в ядро РИНЦ, которое насчитывает 887 журналов.

Важнейшие показатели – количество публикаций и число их цитирований. Нам необходимо увеличить последний показатель примерно в три раза. Принято решение расширить представительство регионов РФ и стран в редколлегии журнала. Сейчас ведется работа по подбору кандидатур в состав редколлегии. На заседании 13 апреля редколлегия определила ряд мер по развитию нашего журнала. Все члены МАХ должны активно участвовать в подготовке журнала, публиковаться в нем.

Как все вы знаете, с октября текущего года меняется номенклатура научных специальностей в РФ. Высшая аттестационная комиссия при Минобрнауки России определила: журнал может публиковать статьи, признаваемые для защиты диссертаций, по трем группам научных специальностей. С октября таковыми группами для нас будут: 1.3. Физические науки, 2.4. Энергетика и электротехника, 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии. Это решение редколлегии журнала, принятое по итогам обсуждения с научными школами. Данная информация будет размещена на сайте журнала и разослана в профильные научные школы.

Желаю вам, дорогие коллеги, успехов в научных исследованиях, новых побед и свершений, доброго здоровья, благополучия вам и вашим близким!

ОБ АВТОРАХ

Бараненко Александр Владимирович,
профессор, докт. техн. наук;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3675-9513>;
eLibrary SPIN: 5621-0524;
e-mail: avbaranenko@itmo.ru

AUTHORS' INFO

Aleksandr V. Baranenko,
Dr. Sci. (Tech.), professor;
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3675-9513>;
eLibrary SPIN: 5621-0524;
e-mail: avbaranenko@itmo.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108641>

XXIX годичное общее собрание Международной академии холода

АННОТАЦИЯ

В Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете ИТМО (Университет ИТМО) 21 апреля 2022 г. состоялось XXIX общее годичное собрание Международной академии холода (МАХ). Собрание прошло в смешанном режиме: очно и онлайн (Zoom). Вел собрание профессор Университета ИТМО академик В.А. Пронин.

Ключевые слова: Международная Академия Холода

Для цитирования:

XXIX годичное общее собрание Международной академии холода // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 51.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108641>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108641>

XXIX Annual General Meeting of the International Academy of Refrigeration: Summary Report

ABSTRACT

The XXIX General Annual Meeting of the International Academy of Refrigeration (IAR) was held on April 21, 2022, at the St. Petersburg National Research University ITMO (ITMO University). The meeting was held in a hybrid mode, in-person and online (Zoom). Professor V.A. Pronin of ITMO University chaired the meeting.

Keywords: International Academy of Refrigeration

To cite this article:

XXIX Annual General Meeting of the International Academy of Refrigeration: Summary Report. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):51.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108641>

С отчетным докладом о деятельности Академии за прошедший период и задачами на перспективу выступил Президент МАХ академик А.В. Бараненко. О работе ревизионной комиссии МАХ доложила член ревизионной комиссии академик Е.И. Кипрушкина.

В результате выборов состав Академии пополнился 10 действительными членами (академиками), 16 членами-корреспондентами и 5 академическими советниками.

В настоящее время Академия насчитывает в своих рядах 1756 членов, из них 16 почетных академиков, 787 действительных членов, 772 члена-корреспондента и 181 академический советник.

Коллективными членами Академии избраны ООО «ТехноФrost» (Москва) и Ассоциация организаций продуктового сектора (Москва).

В разделе повестки «разное» выступили: генеральный директор ООО «Протеин Плюс» (Санкт-Петербург), академик МАХ В.Н. Красильников и коммерческий директор ООО «Каскад-Автоматизация» (Москва), член-корреспондент МАХ К.А. Печерских.

По итогам Общего собрания Академии принято возвращенное постановление.

На состоявшихся после собрания академических чтениях были заслушаны следующие доклады членов МАХ:

– *Некоторые тенденции современного развития криогеники* (И.А. Архаров, МГТУ им. Н.Э. Баумана);

– *Водородная энергетика как способ декарбонизации ТЭК* (В.А. Воронов, Университет ИТМО, Санкт-Петербург);

– *Барнео – теплый остров в холодном океане* (В.И. Боярский, Почетный полярник России);

– *Новый зимовочный комплекс «Станция “Восток”. Центральная Антарктида»* (А.В. Туркеев, Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург), А.В. Большунов, А.Н. Дмитриев, С.А. Игнатьев, Горный университет, Санкт-Петербург);

– *Трансдисциплинарные разработки в области качества и безопасности пищевой продукции* (Д.А. Бараненко, Университет ИТМО, Санкт-Петербург);

– *Перспективы развития бытовой холодильной техники в мире* (Б.С. Бабакин, Московский государственный университет пищевых производств, Москва).

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109436>

Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода (1–2 февраля 2022, Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург)

О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев

Международная Академия Холода, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

1–2 февраля 2022 г. в Национальном исследовательском университете ИТМО (Университет ИТМО, Санкт-Петербург) на Мегафакультете «Биотехнологии и низкотемпературные системы» состоялась научно-техническая конференция с международным участием «Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода». Организаторы – Международная академия холода (МАХ), Университет ИТМО, Рабочая группа «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН. Информационную поддержку осуществляли журналы «Вестник Международной академии холода», «Империя холода», интернет-портал «Holodinfo.ru». Генеральными спонсорами конференции выступили ООО «ТехноФрост» и ООО «КриоФрост Инжиниринг».

Ключевые слова: техника низких температур, ИТМО, Международная Академия Холода, конференция

Для цитирования:

Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Техника низких температур в условиях новой парадигмы энергетического перехода // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 53–54. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109436>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109436>

Low-temperature technology in the context of a new energy transition paradigm (February 1–2, 2022, ITMO National Research University, St. Petersburg)

Oleg B. Tsvetkov, Yuri A. Laptev

International Academy of Refrigeration, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

A scientific and technical conference with international participation, “Low-Temperature Engineering under Conditions of a New Energy Transition Paradigm,” was held on February 1–2, 2022, at the National Research University ITMO (ITMO University, St. Petersburg) at the Mega-Faculty “Biotechnologies and Low-Temperature Systems.” It was organized by the International Academy of Refrigeration (IAR), ITMO University, and Working Group “Properties of Refrigerants and Heat Transfer Agents” of the National Committee on Thermophysical Properties of Substances of the Russian Academy of Sciences. Information support was provided by the journals *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Kholoda* and *Imperiya Kholoda*, as well as the web portal Holodinfo.ru. The general sponsors of the conference were TechnoFrost and CryoFrost Engineering.

Keywords: low-temperature technology, ITMO, International Academy of Refrigeration, conference

To cite this article:

Tsvetkov OB, Laptev YA. Low-temperature technology in the context of a new energy transition paradigm. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):53–54. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109436>

В конференции участвовали: Алматинский технологический университет, Республика Казахстан; Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Беларусь, Могилев; Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина; Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (Москва); Московский государственный университет пищевых производств; Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, Новосибирск; Институт теплофизики Уральского отделения РАН, Екатеринбург; Новосибирский государственный технический университет; Казанский национальный исследовательский технологический университет; Россошанский колледж мясной и молочной промышленности, Россошь Воронежской области; ООО «Рудетранссервис», Великий Новгород; ООО «Пионер», Красноярск; ООО «ТМИМ», Нижнекамск, Республика Татарстан; ООО «Тепловые насосы», Красноярск; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Колледж бизнеса и технологий; ООО «Карел Рус», ООО «ТехноФrost»,

ООО «ОК», ООО «ТурбоРеф Инжиниринг»; ООО «Энергия холода», ООО «КриоФrost Инжиниринг», Межрегиональная общественная организация «Северо-Запад», Ленинградское региональное отделение Всероссийского общественного движения «Волонтеры Победы», преподаватели, научные сотрудники, аспиранты, магистранты и бакалавры Университета ИТМО.

С приветственным словом выступили директор мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО профессор *И.В. Баранов* и президент Международной академии холода академик *А.В. Бараненко*. В их выступлениях подчеркнута важность и актуальность обсуждаемых на конференции энергетических и экологических проблем, связанных с техникой низких температур, играющей стратегическую роль в мировой экономике. Выступающие пожелали участникам конференции плодотворной работы, профессиональных успехов, здоровья и благополучия.

Председатель Рабочей группы «Свойства хладагентов и теплоносителей» Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН и секции «Теоретические основы холодильной и криогенной техники» Международной академии холода *О.Б. Цветков* информировал собравшихся о деятельности Рабочей группы в 2021 году, планах работы на 2022 год, а также о тематике предстоящей научно-технической конференции в начале 2023 года в Санкт-Петербурге.

Подробнее с содержанием докладов можно ознакомиться на сайте Международной академии холода maxiar.spb.ru

ОБ АВТОРАХ

***Цветков Олег Борисович,**

докт. техн. наук, профессор;

Адрес: Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9;

elibrary SPIN: 7630-7110;

e-mail: tsvetkov@itmo.ru

Лаптев Юрий Александрович, канд. техн. наук;

elibrary SPIN: 9782-7131;

e-mail: laptev_yua@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Oleg B. Tsvetkov,**

Dr. Sci. (Tech.), professor;

Address: 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9;

elibrary SPIN: 7630-7110;

e-mail: tsvetkov@itmo.ru

Yuri A. Laptev, Cand. Sci. (Tech.);

elibrary SPIN: 9782-7131;

e-mail: laptev_yua@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109437>

Рыбохозяйственный комплекс Мурманской области: перспектива – отказ от использования озоноразрушающих веществ

АННОТАЦИЯ

В Мурманском государственном техническом университете (МГТУ) 2 и 3 февраля 2022 года прошли мероприятия, посвященные отказу от использования озоноразрушающих веществ и фторсодержащих парниковых газов в рыбохозяйственном комплексе Мурманской области, а также конференция «Законодательные ограничения и переход рыбохозяйственных предприятий Мурманской области на эффективные и экологически безопасные хладагенты».

Ключевые слова: озоноразрушающие вещества, парниковые газы, хладагенты, конференция

Для цитирования:

Рыбохозяйственный комплекс Мурманской области: перспектива – отказ от использования озоноразрушающих веществ // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 55–56. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109437>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109437>

Fishery complex of the Murmansk region: renunciation of the use of ozone-depleting substances in perspective

ABSTRACT

The Murmansk State Technical University (MSTU) hosted events on February 2 and 3, 2022, dedicated to the renunciation of the use of ozone-depleting substances and fluorine-containing greenhouse gases of the fishery complex in the Murmansk region, as well as the conference “Legislative restrictions and the transition of fishery enterprises of the Murmansk region to efficient and environmentally friendly refrigerants.”

Keywords: ozone-depleting substances, greenhouse gases, refrigerants, conference

To cite this article:

Fishery complex of the Murmansk region: renunciation of the use of ozone-depleting substances in perspective. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):55–56. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109437>

В первый день состоялся тренинг для специалистов сервисных компаний Мурманской области, занимающихся монтажом и обслуживанием холодильных систем. Эксперты Международного центра научной и технической информации (МЦНТИ) и представители таких компаний, как GEA и Bitzer, познакомили специалистов с особенностями использования альтернативных хладагентов – аммиака, диоксида углерода, углеводородов и других веществ.

Во второй день прошла конференция «Законодательные ограничения и переход рыбохозяйственных предприятий Мурманской области на эффективные и экологически безопасные хладагенты». Представители МЦНТИ, МГТУ, ведущих мировых и российских производителей холодильной техники – GEA, Danfoss, Bitzer, компания «Ингениум» выступили с докладами о перспективах использования природных хладагентов в промышленности региона.

«Сейчас бизнес рыбохозяйственных предприятий под угрозой. Через несколько лет тем, кто не переведет холодильные установки на новые технологии, будет просто нечем обслуживать свои холодильные системы», – сообщил руководитель проекта МЦНТИ Артем Кушнерев.

Также на конференции было объявлено об открытии Арктического учебного центра холодильных технологий на базе МГТУ, которое состоится к Международному дню охраны озонового слоя – 16 сентября.

«Цель создания учебного центра – распространение опыта применения технологий с низким потенциалом глобального потепления в рыбохозяйственном комплексе Мурманской области, а также обучение наших студентов методам работы с природными хладагентами», – отмечает заместитель проректора по научной работе МГТУ Василий Василевич. – Уже сейчас становится актуальным вопрос о подготовке

специалистов, необходимых рынку и владеющих совершенно новыми знаниями и навыками».

Участие в конференции приняли представители Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерства природных ресурсов, экологии и рыбного хозяйства Мурманской

области, руководители и специалисты служб эксплуатации рыбохозяйственных предприятий и других организаций Мурманской области, имеющие холодильную технику, специалисты по ее монтажу и обслуживанию, а также представители профессиональных изданий.



На снимке: участники конференции.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109438>

BITZER на зимних Олимпийских играх 2022 в Пекине (Пекин – Москва, 16 февраля 2022 г.)

АННОТАЦИЯ

В наше время спорт высоких достижений – это не только высочайшее мастерство сильнейших спортсменов мира, но и самые передовые технологии. И сегодня, пока весь мир, затаив дыхание, следит за соревнованиями, мы предлагаем специалистам холодильной отрасли заглянуть за кулисы этого великого события. Команда BITZER приняла активное участие в техническом обеспечении Олимпиады: целый ряд ключевых объектов оснащен нашими компрессорами. Требования к исключительной надежности, высокой энергоэффективности и применение современных хладагентов обусловили выбор заказчиков в пользу BITZER. Мы с гордостью представляем объекты зимней Олимпиады 2022 и желаем успеха Олимпийской сборной России!

Ключевые слова: компрессор, олимпиада

Для цитирования:

BITZER на зимних Олимпийских играх 2022 в Пекине // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 57–59. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109438>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109438>

BITZER at the 2022 Winter Olympics in Beijing

ABSTRACT

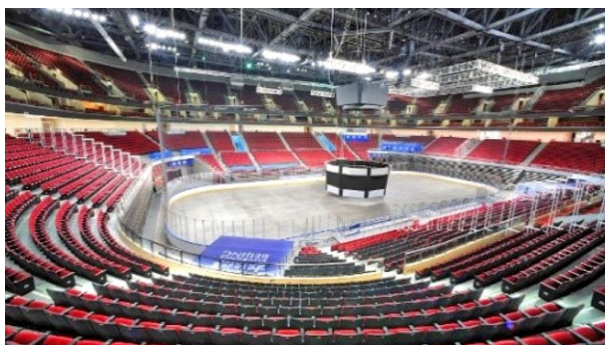
At present, the sport of setting records combines not only the highest skill of the strongest athletes in the world but also the most advanced technology. While the whole world is watching the competition with bated breath, we invited refrigeration industry experts to look behind the scenes of this fantastic event. The BITZER team was active in the technical support of the Olympics, providing compressors to several key facilities. Customers have chosen BITZER because they require exceptional reliability, high energy efficiency, and the use of modern refrigerants. We proudly present the venues for the 2022 Winter Olympics and wish success to the Russian Olympic team!

Keywords: compressor, Olympics

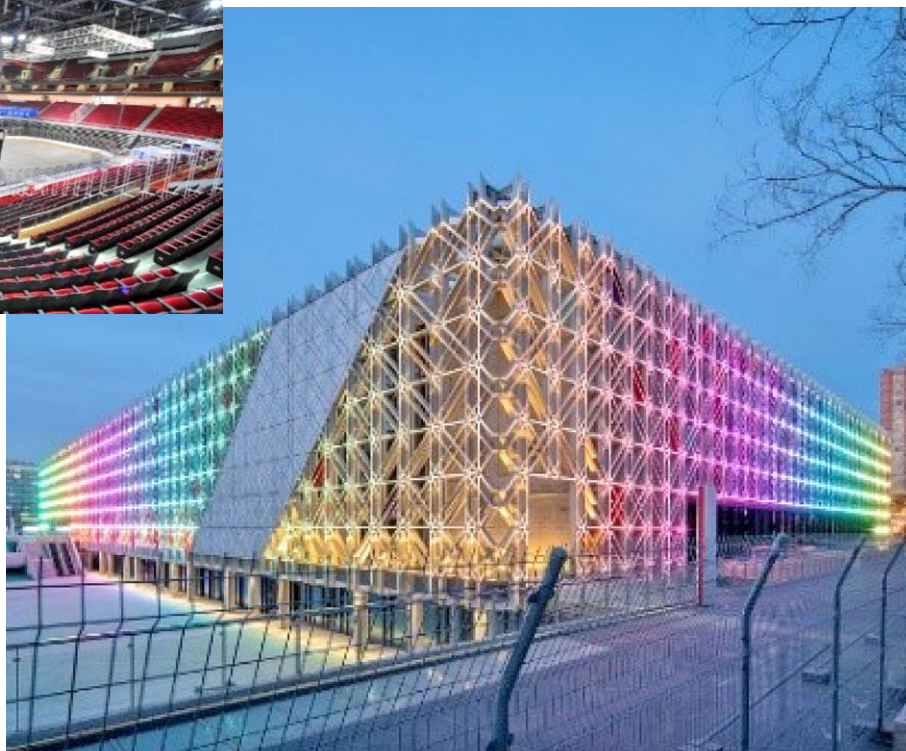
To cite this article:

BITZER at the 2022 Winter Olympics in Beijing. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):57–59. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109438>

Ледовый спортивный центр Укэсон Wukesong Ice Sports Center

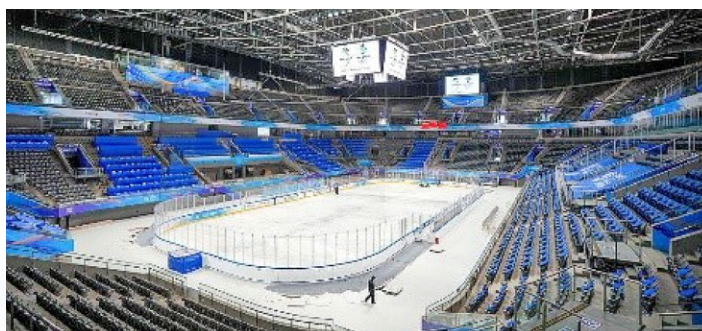


Оснащение: 20 компрессоров модели 6DTEU-50LK (поршневые, транскритические), хладагент: CO₂. Объект построен для проведения тренировок по хоккею и хоккейных турниров среди женщин в период Зимних Олимпийских игр 2022 года. Энергосбережение свыше 40%; натуральный хладагент; постоянная температура льда; рекуперация тепла.



Национальный дворец спорта – крытый хоккейный стадион (National Indoor Stadium – Ice Hockey Stadium)

Оснащение: 8 компрессоров модели HSN8591-160 (винтовые, полугерметичные), хладагент: R449A. Стадион построен в первую очередь для проведения хоккейных турниров среди мужчин в рамках Зимних Олимпийских игр 2022. Низкотемпературные винтовые компрессоры BITZER используют технологию инверторного регулирования и гарантируют бесперебойную работу. Система рекуперации тепла повышает коэффициент использования энергии.



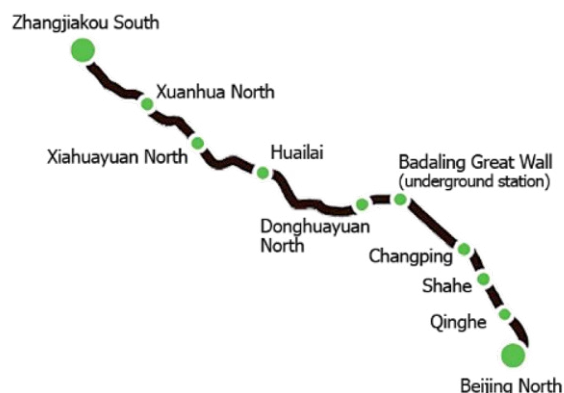
Национальный центр водных видов спорта «Ледяной куб» (National Swimming Center – “Ice Cube”)

Оснащение: 6 компрессоров модели HSN8591-160 (винтовые, полугерметичные), хладагент: R449A. Объект переоборудован из плавательного комплекса в стадион для проведения соревнований по керлингу в рамках Зимних Олимпийских игр 2022. Низкотемпературные винтовые компрессоры BITZER обеспечивают стабильную и высокоэффективную работу холодильной системы.



Станции междугородней высокоскоростной железной дороги, линия Пекин–Чжанцзякоу (Intercity High-speed Rail Stations–Beijing/Zhangjiakou Line)

Оснащение: 30 компрессоров модели 6СТЕ-50К (поршневые, транскритические), хладагент: CO₂. Высокоскоростная железная дорога Пекин–Чжанцзякоу, обслуживающая Зимние Олимпийские игры 2022, насчитывает 9 станций. Хотя температура воздуха на улице может опускаться до -30 °С, транскритические CO₂ компрессоры BITZER способны полностью удовлетворить все требования в области отопления станций. При этом они экологичны и высокоэффективны.



DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108643>

«Мир климата» успешно вернулся в рынок в новом формате и прошел в 17-й раз

АННОТАЦИЯ

«Мир климата Экспо» (Climate World Expo) состоялся в Москве в новом формате после перерыва в 2021 году. После двух лет неопределенности и стремления воссоединить отрасль, мероприятие собрало на одной площадке производителей и поставщиков оборудования систем кондиционирования, вентиляции, отопления, промышленного и коммерческого холода, а также их потребителей – инжиниринговые, управляющие компании, проектные и монтажные организации.

Ключевые слова: Мир климата, холодильное оборудование, вентиляция, кондиционирование, выставка

Для цитирования:

«Мир климата» успешно вернулся в рынок в новом формате и прошел в 17-й раз // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 65–69.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108643>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108643>

After a break in 2021, the Climate World Expo returned to Moscow in a new format

ABSTRACT

After two years of uncertainty and the desire to reunite the industry, the event brought together manufacturers and suppliers of air conditioning, ventilation, and heating systems, as well as industrial and commercial refrigeration equipment, and their consumers, namely engineering, management companies, design and installation organizations.

Keywords: Climate World, refrigeration equipment, ventilation, air conditioning, exhibition

To cite this article:

After a break in 2021, the Climate World Expo returned to Moscow in a new format. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):65–69.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108643>

«Мира климата» – выставка и конгресс на одной площадке, ориентированные на качество аудитории, большие возможности для профессиональной коммуникации и отслеживание новых трендов рынка.

В 2022 году свои разработки в области производства и внедрения систем кондиционирования, вентиляции, отопления представили участники: POBEN-регионы, Aereco, Alta Vent, Buhler-AHS, Phoenix Contact, Centek, Panasonic, SVOK, TICA СНГ, VECAMCO S.r.l., Ventart, ISIB Turkish HVAC-R, Веза, Фабрика вентиляции ГалВент, PMT, Термокул, Testo Rus, Smart City Technologies Corporation, Сенсорматика, Инвент, Turkov, Завод RGP, Ижевский электромеханический завод «Купол», Красноярский завод холодильников «Бирюса», Полюс САР, Минибокс, WAER, GETAIR, Русские медные трубы, ERA GROUP, VILPE, ОГНЕЗА, Ecomanagement, Виктория, Композит Групп, Влага Про, FLOWAIR, МАКСИМА и другие лидеры отрасли. 40% общего списка – новые участники, которые демонстрировали свои решения на Climate World Expo впервые.

В рамках работы на стендах экспоненты были заняты наверстыванием упущенного времени. Проблемы в цепочке поставок и другие задержки с COVID-19 открыли двери для новых подходов к партнерству. Участники отметили высокий профессиональный уровень посетительской аудитории, а также широкий географический охват гостей мероприятия. За четыре дня с самыми надежными поставщиками отрасли

ознакомились около 7000 специалистов климатического рынка из 440 городов России и мира. Опрос участников выставки показал, что в среднем на каждом стенде было проведено от 300 до 800 переговоров.

Сергей Кожевников, директор дивизиона потребительской электроники, Panasonic Россия: «На Climate World Expo обязательно нужно быть всем специалистам, связанным с тематикой вентиляции и воздухоочистки. Здесь можно узнать о технологиях, которых пока на российском рынке не было, в том числе – защиты от вирусов и энергоэффективных. Если профессионал не будет знать о новых наработках рынка, он потеряет очень многое.

Climate World Expo – проект, который постоянно развивается. Сейчас он направлен на узкопрофессиональные сферы, представление дополнительных технологических решений, которые помогают людям в создании проектов и их реализации. Сейчас это серьезная профессиональная отраслевая выставка».

Георгий Литвинчук, генеральный директор, маркетинговое агентство «Литвинчук-Маркетинг»: «Сейчас на выставке в большей части представлены производители, а не дистрибьюторы, как это было раньше. Для российских производителей, которые специализируются на импортозамещении, сейчас хорошие перспективы.

Выставка – это отличная возможность посмотреть на технику «вживую», пообщаться с коллегами, сверить



стрелки на часах, у кого что происходит, какие планы по развитию.

«Мир климата» — это барометр рынка, глядя на который можно очень точно сказать, что на этом рынке происходит».

Жером Бономм, директор по экспорту в страны Евразии, директор представительства в РФ, AERECO: «Новый фокус в этом году — в сферу индивидуального жилья, в сторону пандемии и ее долгосрочных последствий с точки зрения восприятия человеком жилого пространства».

Алексей Чиленко, генеральный директор, «Эко-менеджмент» (резидент Сколково): «Мы участвуем в выставке первый раз. Наши решения нужны для инженерных систем, в том числе вентиляции и кондиционирования в торговых центрах, ресторанах быстрого питания, фитнес-центрах и различных промышленных объектах. На выставке мы пообщались с представителями управляющих и инжиниринговых компаний, дилеров. Мы рассказываем, как можно дополнительно зарабатывать деньги, сохраняя нашу природу».

«МИР КЛИМАТА»: НЕ ТОЛЬКО ЭКСПО, НО И КОНГРЕСС: КАЖДЫЙ МОЖЕТ НАЙТИ ДЛЯ СЕБЯ ЧТО-ТО ПОЛЕЗНОЕ

Помимо экспозиции оборудования, четыре дня работы были насыщены сессиями с участием признанных лидеров отрасли, презентациями новых технологий и проектов, а также образовательными мероприятиями. В повестке конгресса — устойчивое развитие, энергоэффективность и инновационные технологии.

В 2022 году были проведены стратегические сессии и дискуссии на широкие темы, охватывающие вопросы градостроительства и устойчивого развития с участием международных экспертов и ведущих специалистов отрасли.

Программу 1 марта открыла стратегическая сессия «Будущее HVAC/R индустрии: мировые тренды», на которой обсуждался период интенсивных преобразований сектора HVAC&R, обусловленный новыми требованиями рынка и применением инновационных технологических решений.

Вопрос о том, как постковидная реальность привносит новые требования к поддержанию атмосферы здоровья, а архитектурные или инфраструктурные объекты нуждаются во внедрении все более сложных и эффективных инженерных систем, обсудили 3 марта на панельной дискуссии «Города и здания будущего. Россия и мир».

Второго марта отраслевые блогеры и маркетингологи в живой дискуссии с посетителями поделились опытом — как по общим (что хотят от дистрибьютеров

подрядчики, а что нужно техническим специалистам, и как дистрибьюторы могут правильно продавать разным группам клиентов), так и по прикладным (как построить отношения с клиентом и добиться большей лояльности к бренду, используя современные инструменты в сфере маркетинга) вопросам.

Climate World Expo 2022 как профессиональная площадка стала местом проведения целого ряда узкоотраслевых мероприятий: конференция «Климат в доме» от Гильдии строителей, презентации учебных программ от АПИК, конференция и мероприятия «Поквартирные системы вентиляции», «Проектирование систем вентиляции и воздухоочистки» от АВОК и многое другое.

Андрей Моргунов, главный инженер, Бизнес-центр «Амальтея» (Сколково): «Мы являемся потребителями того самого оборудования, которое сейчас находится на нашем рынке. У нас есть заинтересованность в развитии этого направления, в повышении квалификации всех участников, и для Сколково как для флагмана новых технологий — это важное мероприятие. У нас есть возможность узнать здесь что-то новое, задуматься на тему интеграции новых технологий, изменений, тенденций, направлений. Моя тема доклада — тот результат, который при применении оборудования мы достигли, его эффективность или его сложности. Это опыт, которым я могу поделиться с другими инженерами, которые занимаются эксплуатацией, или что-то узнать от них, послушать вопросы и ответы именно из опыта этого объекта, опыта строительства «зеленых» сооружений, его технологических особенностей. Об эффективности, о процессах модернизации и их применении».

Алексей Блюмкин, руководитель комитета по инновациям Союза торговых центров России, Беларуси и Казахстана: «За последние два года в нашей отрасли появилось достаточно много инноваций. Торговые центры — это важный сегмент отрасли, в котором вентиляция, климат и кондиционирование крайне важны. Тренды — автоматизация и цифровизация всего. Тренд — это, конечно, экономия. Еще более жесткий контроль над затратами: это команда от собственников и управляющих. Это то, что сейчас нас всех ждет. При этом возможна смена партнеров и поставщиков. На тех, которые дадут лучшие условия и будут более лояльны в этот непростой период.

Считаю, что в первую очередь эта выставка важна для инженеров, кто занимается эксплуатацией и обслуживанием».

«МИР КЛИМАТА»: СИЛА В СООБЩЕСТВЕ

«Мир климата Экспо и Конгресс» — это в первую очередь площадка для объединения профессионалов и интенсивного взаимодействия друг с другом с целью развития рынка HVACR.

После прошлогодней паузы «Мир климата» предоставил столь необходимую личную точку соприкосновения и возможность персональных встреч, и мы рады, что наши уважаемые клиенты, партнеры и посетители смогли увидеться на нашей площадке.

Роман Нятин, «Русские медные трубы»: «Любого полета игрок может сюда прийти и почувствовать себя «как дома». У нас здесь отличные коллеги работают. Неформальная атмосфера. На стендах представлены лучшие бренды и новинки. Специалисты тут же готовы оказать техническую поддержку. Четыре дня здесь, в Москве, – наилучший способ заявить о себе как о потребителе».

В рамках выставки УКЦ «Университет климата» и Ассоциация предприятий индустрии климата провели конкурс «Климат Профи-2022», в котором приняли участие команды из разных городов России и стран СНГ. Три этапа включали теоретическую и практическую части конкурса: диагностика системы с переменным расходом хладагента на базе Mitsubishi Heavy и балансировка воздуха в воздуховодах на вентустановке. Победителями стали бригады из Москвы, Казахстана и Кирова. Призы победителя – профессиональные инструменты от компаний «Тесто Рус» и «Роторика».

Павел Шапошников, автор и ведущий youtube-канала «Вентиляция квартиры и дома», Беларусь: «На рынке существует несколько категорий клиентов. Это и профессионалы, и обычные заказчики, физлица. Для каждого из них важен свой подход. Компаниям важно общаться с потребителем, в том числе через свои социальные сети, демонстрировать и свои решения, и свой профессионализм. Рекомендуем приезжать сюда, поскольку это ведущая выставка на постсоветском пространстве. Здесь присутствует и демонстрирует свои решения максимальное количество производителей».

За лучшее освещение мероприятий Climate World Expo&Congress в соцсетях информационный портал и журнал климатического рынка Heatclub во главе

с Ларисой Шкарубо получил в качестве приза сертификат на 50 тыс. руб. от партнера выставки, компании Yamaguchi.

Впервые на выставке прошло награждение компаний в номинации «Самая эффективная работа с клиентами на стенде». Подарочный сертификат получила компания «Ровен» и Оксана Данченко – директор службы АХО компании: здесь проработали дизайн стендов и размещение переговорных стоек и зон для каждого сотрудника так, чтобы любой посетитель Climate World Expo 2022, заинтересованный в сотрудничестве с компанией, смог провести плодотворные переговоры.

Отзывы участников и посетителей

Андрей Дерепасов, коммерческий директор, компания «Веза»:

– Мы с радостью выставляем здесь – это событие люди ждут каждый год. На одной площадке можно показать все те разработки, которые компания смогла реализовать за последние 2–3 года. Все работающие в индустрии климата могут это увидеть.

Олег Логинов, директор по развитию, фабрика вентиляции «ГалВент»:

– «Мир климата» – это главное отраслевое событие. Мы последние 12 лет являемся его участниками и будем участвовать в будущем. Выставка дает возможность не только профессионального, но и неформального общения. На стенде можно все увидеть своими глазами, покрутить руками, задать любые вопросы.

На выставку нужно ходить обязательно. Здесь представили новинки и мы, и наши коллеги на других стендах. Мероприятие очень масштабное, все основные игроки рынка здесь присутствуют.

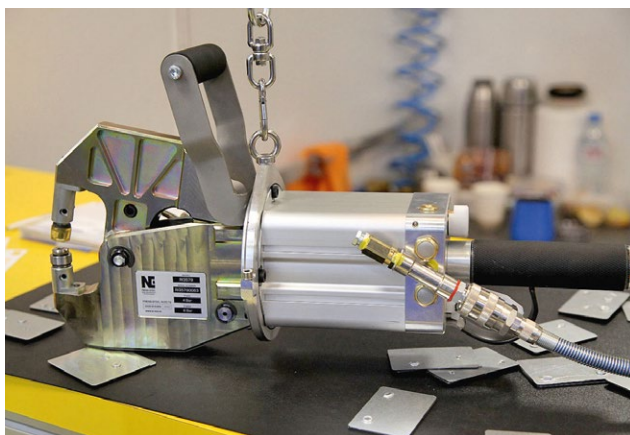
Анзор Магашев, ООО «Чеченпросервис», Грозный, Чеченская Республика:

– Приехали на выставку, чтобы посмотреть, что сейчас происходит на рынке, какие есть новинки, чтобы иметь прогноз по работе на будущее. Приехали пообщаться с постоянными партнерами, а также найти новых поставщиков. С парой новых компаний уже провели хорошие переговоры, будем работать дальше.

Выставку обязательно нужно посещать. Здесь собираются коллеги-единомышленники, можно познакомиться, пообщаться, обменяться опытом, подсказать свои интересные решения.

Геннадий Зуев, IEK Group, Москва:

– Посещаю выставку каждый год. Здесь мы ищем партнеров по совместному производству. На выставке хорошо видно, как растет компетенция производителей, много интересных производств сейчас в отрасли в плане импортозамещения. Интерес к выставке есть, много посетителей. Приятно видеть, что рынок работает и развивается, появляется новое интересное оборудование.



ДО ВСТРЕЧИ В 2023 ГОДУ

Благодарим всех, кто, несмотря на сложную ситуацию в России и мире, смог построить удобные и красивые стенды, приехал из разных городов и стран, поделился знаниями, продемонстрировал свое мастерство, чтобы не только выставка, но и отрасль в целом шла в ногу со временем.

Мы рады, что «Мир климата» 2022 года продемонстрировал свою эффективность таким образом, что ряд компаний уже забронировали площади на мероприятие в 2023 году.

Следующий Climate World Expo&Congress пройдет в Москве с 28 февраля по 3 марта 2023 года в ЦВК «Экспоцентр». Регистрация откроется летом 2022 года.

На рассылку новостей Climate World Expo&Congress можно подписаться на climatexpo.ru.

Ждем Вас на Climate World Expo&Congress 2023!

Climate World Expo&Congress / Мир климата Экспо и Конгресс проводится и управляется следующими организациями:

Международная выставочная компания «Евроэкспо»
и Ассоциация предприятий индустрии климата (АПИК).

Контакты для связи: Москва, ул. Арбат, 35
+7 (495) 925 65 61
climat@euroexpo.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109233>

Индустрия холода и аграрная политика России: безопасность и качество продукции

АННОТАЦИЯ

15–17 марта 2022 года в Международном выставочном центре «Крокус Экспо» прошли ежегодная выставка «Мясная промышленность. Куриный король. Индустрия холода для АПК / MAP Russia & VIV» и саммит «Аграрная политика России: безопасность и качество продукции». Организатором мероприятия выступила выставочная компания «Асти Групп».

Ключевые слова: выставка, пищевая промышленность, холодильное оборудование

Для цитирования:

Индустрия холода и аграрная политика России: безопасность и качество продукции // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 71–73.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109233>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109233>

Refrigeration industry and agricultural policy in Russia: product safety and quality

ABSTRACT

The annual exhibition “Meat industry. Chicken king. Refrigeration industry for the agro-industrial complex/International Academy of Refrigeration Russia & VIV” and the summit “Agrarian policy of Russia: safety and quality of products” were held at the International Exhibition Center Crocus Expo on March 15–17, 2022. ASTI Group Exhibition Company organized the event.

Keywords: exhibition, food industry, refrigeration equipment

To cite this article:

Refrigeration industry and agricultural policy in Russia: product safety and quality. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):71–73.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109233>

Одно из крупнейших в отрасли мероприятий стало площадкой для эффективного профессионального диалога участников рынка: производителей, поставщиков, сервисных компаний и представителей государственных органов, столкнувшихся в период происходящих глобальных перемен с проблемами и задачами нового масштаба. Несмотря на сложную экономическую и политическую ситуацию, выставка по-прежнему привлекает новых участников: 70% экспонентов присутствовали на мероприятии впервые.

Старт деловой программе дал саммит «Аграрная политика России: безопасность и качество продукции». Он открылся 15 марта пленарным заседанием, посвященным глобальной ситуации на рынке мяса. Модератором выступил Игорь Абакумов, генеральный директор медиахолдинга «Крестьянские ведомости». Ведущие игроки индустрии обсудили актуальную ситуацию на рынке производства говядины, будущее птицеводства, маркетинг мясных продуктов, варианты адаптации к новым условиям работы в свиноводстве, а также потребительские предпочтения и факторы, определяющие ситуацию на продовольственном рынке. Помимо этого были рассмотрены перспективы нового сезона рынка зерна и актуальные проблемы, связанные с логистикой.

В первый день саммита также состоялась панельная дискуссия, посвященная экспортным прогнозам. Ее модератором выступила Татьяна Кулистикова, главный редактор портала «Агроинвестор». Участники

обсудили главные экспортные рынки продукции АПК в новых экономических условиях, прогнозы экспорта и поддержку участников ВЭД со стороны банков, не попавших под санкции.

На сессии «Цифровизация АПК: задачи, перспективы, решения», партнером которой выступила компания КРОК, обсуждали строительство цифровой экосистемы на предприятиях АПК, современные решения и опыт внедрения цифровых систем управления на примере ведущих предприятий отрасли. Представители компаний поделились своим видением развития цифровых процессов, а также успешными проектами внедрения автоматизированных систем нового поколения.

Второй день саммита открылся сессией, организованной Национальной ассоциацией производителей индейки. Участники подробно рассмотрели планы и перспективы развития индустрии переработки мяса индейки в РФ, а также проблемы и задачи, связанные с основными положениями Технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности мяса птицы и продукции его переработки».

В этот же день прошел ряд отраслевых встреч. На сессии по свиноводству затронули вопросы конвертации высокого генетического потенциала в дополнительную прибыль и планы снижения себестоимости производства. На сессии по птицеводству обсудили также технологии производства кормов и современные возможности переработки побочного птицевысрва для пищевых целей.



Третий день саммита был посвящен одной из самых актуальных тем – законодательному обеспечению развития непрерывной холодильной цепи (НХЦ) оборота скоропортящейся продукции в Российской Федерации. Модератором выступил президент Ассоциации организаций продуктового сектора (АСОРПС) Михаил Синёв. На сессии, организованной АСОРПС, был рассмотрен целый ряд сложных и важных в новых условиях вопросов: хранение мясной продукции в оптовой и розничной сети, использование НХЦ как основы для сохранения качества и обеспечения безопасности пищевой продукции, роль ОАО «РЖД» в формировании НХЦ в Российской Федерации, требования к подвижному составу, формирование единой системы контроля условий транспортировки скоропортящихся грузов и др.

Подведомственные учреждения Россельхознадзора, представленные на выставке единым стендом, организовали в рамках деловой программы несколько отдельных сессий. Их участники обсудили новое законодательство в сфере обращения кормовых добавок, меры контроля остаточного содержания пестицидов в кормах. В рамках круглого стола «Развитие птицеводства и животноводства в контексте безопасности и качества продукции, здоровья сельскохозяйственных животных и экспортного потенциала Российской Федерации» была представлена эпизоотическая ситуация по экономически значимым и особо опасным болезням, рассмотрены вопросы вакцинопрофилактики заболеваний

и проблемы антибиотикорезистентности в промышленном свиноводстве.

На экспозиционной части выставки можно было познакомиться с компаниями из Беларуси, Польши, России, Таиланда, Турции, Узбекистана, Чехии. Также она включила объединенные стенды, организованные региональными центрами поддержки экспорта, которые представили стратегические предприятия Липецкой, Тульской областей и Ставропольского края. Экспоненты презентовали как новые технологические проекты, так и проверенные на практике решения.

Ярким акцентом трехдневного мероприятия стал дегустационный конкурс «Лучший традиционный продукт». Он выявил компании, открывающие и реализующие новые возможности для продвижения продукции российских производителей. Участие в конкурсе приняли такие торговые марки, как «Окраина», «Ржевское подворье», «Индилайт», «Озерки». Перед экспертным жюри была поставлена нелегкая задача – определить лучших из лучших. По итогам конкурса прошла церемония награждения, высшую оценку качества получили ГК «Дамате», ООО «Новые Фермы», ООО «Новые утиные фермы», Богородский мясоперерабатывающий завод, ООО «Дантон-Птицепром».

Выставочная компания «Асти Групп» уже анонсировала даты следующего мероприятия.

В 2023 году выставка и саммит будут проведены с 30 мая по 1 июня. До встречи в МВЦ «Крокус Экспо»!

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109234>

Новый учебник «Автоматизация холодильных установок»

И.В. Новиков

Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт, филиал Астраханского государственного технического университета, Московская область, пос. Рыбное, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В новом учебнике «Автоматизация холодильных установок, который выпустило в апреле 2022 г. издательство «Интермедиа» (Санкт-Петербург), представлен материал программы специальной дисциплины «Автоматизация холодильных установок», разработанной для подготовки студентов на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. В учебник включены материалы на основе курса лекций, которые читают на кафедре холодильных машин Астраханского государственного технического университета и его филиала, Дмитровского рыбопромышленного технологического института.

Жильцов И.Б., Новиков И.В. Автоматизация холодильных установок: учебник. – СПб.: ИЦ «Интермедиа», 2022. – 258 с. : илл. ISBN 978-5-4383-0240-7

Ключевые слова: книга, автоматизация, холодильные установки, учебник

Для цитирования:

Новиков И.В. Новый учебник «Автоматизация холодильных установок» // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 75–76.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109234>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109234>

The new textbook Automation of Refrigeration Units

Ilya V. Novikov

Dmitrov Fishing-Industry Technological Institute, Astrakhan State Technical University, Moscow region, Rybnoye village, Russian Federation

ABSTRACT

The new textbook Automation of Refrigeration Units, published by Intermedia (St. Petersburg) in April 2022, presents the program contents of the special subject Automation of Refrigeration Units developed to train students based on the federal state educational standard of higher education. The textbook contains lecture course content from the Department of Refrigeration Machines of the Astrakhan State Technical University and its branch, the Dmitrov Fishing-Industry Technological Institute.

Zhiltsov IB, Novikov IV. Automation of refrigeration units: a textbook. – St. Petersburg: Information Center «Intermedia», 2022. – 258 p. ISBN 978-5-4383-0240-7

Keywords: book, automation, refrigeration units, textbook

To cite this article:

Novikov IV. The new textbook Automation of Refrigeration Units. *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):75–76. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF109234>

В новом учебнике «Автоматизация холодильных установок, который выпустило в апреле 2022 г. издательство «Интермедиа» (Санкт-Петербург), представлены программы специальной дисциплины «Автоматизация холодильных установок», разработанной для подготовки студентов на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. В учебнике представлен материал курсов лекций, которые читают на кафедре холодильных машин Астраханского государственного технического университета и его филиала, Дмитровского рыбопромышленного технологического института.

В первом разделе даны базовые представления о теории автоматического регулирования на примерах автоматизируемых объектов в холодильной технике. Второй раздел носит прикладной характер и описывает современное оборудование, в том числе проверенных российских производителей систем управления.

Учебник разработан в условии наибольшей приближенности к современным холодильным установкам и рекомендуется всем специалистам, кто намерен повысить свой уровень по вопросам проектирования и подключения приборов автоматизации холодильной установки согласно правилам безопасности и рекомендациям производителей.

Этот учебник в своем роде уникален: в нем подробно рассказывается о законах регулирования, примененных конкретно в холодильной технике, а тесный контакт между теорией и практикой авторы обеспечивают своим многолетним опытом.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», «Технологические машины и оборудование», «Автоматизация

технологических процессов и производств», а также для расширения знаний специалистов в области холодильной техники и автоматизации.

Представляем авторов учебника

Игорь Борисович Жильцов, канд. техн. наук, профессор, член-корреспондент Международной академии холода. Стаж научно-педагогической работы в вузах страны и за рубежом – 55 лет. Доцент кафедры «Холодильные машины» Астраханского государственного технического университета (1968–2012 гг.), с 2012 г. заведует кафедрой «Холодильные установки», профессор Дмитровского рыбохозяйственного технологического института (филиал АГТУ). У него множество наград, отраслевых и правительственных грамот. Автор более 100 научных публикаций и учебно-методических пособий, 7 патентов РФ, в том числе по автоматизации холодильных установок.

Илья Владимирович Новиков, доцент, член-корреспондент Международной академии холода. За 20 лет трудовой деятельности прошел стажировки на ведущих машиностроительных предприятиях по производству холодильного оборудования в России, Индии, Дании и Нидерландах. Принимал активное участие в реализации крупных проектов пищевой и химической промышленности, а также в строительстве рыболовецких судов на российских верфях.

С 2015 г. состоит постоянным членом государственной аттестационной комиссии по специальности «Холодильная и криогенная техника, системы жизнеобеспечения», доцент Дмитровского рыбохозяйственного технологического института (филиал АГТУ). Автор курсов повышения квалификации по компрессорной, холодильной и криогенной технике.

ОБ АВТОРАХ

Новиков Илья Владимирович, канд. техн. наук;
eLibrary SPIN: 6484-0489;
e-mail: murometc@rambler.ru

AUTHORS' INFO

Ilya V. Novikov, Cand. Sci. (Tech.);
eLibrary SPIN: 6484-0489;
e-mail: murometc@rambler.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108642>

Колосов Михаил Анатольевич (29.02.1956 – 17.04.2022)

А.А. Казакова

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

После тяжелой и продолжительной болезни скончался доцент кафедры Э-4 Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана Михаил Анатольевич Колосов: он до последних дней читал лекции и консультировал студентов. Вся его жизнь связана с кафедрой Э-4, где он был студентом, аспирантом и доцентом.

Кроме учебной нагрузки, Михаил Анатольевич с 1989 по 1992 г. выполнял обязанности заместителя декана факультета «Энергомашиностроение», а с 1992 по 2003 г. – первого заместителя декана. Длительное время (по 2018 г.) был ученым секретарем диссертационного совета. Талантливый педагог и ученый, увлекавший студентов к работе по новым направлениям низкотемпературной техники, добрый человек и примерный семьянин – таким был Михаил Анатольевич.

Редакция журнала «Холодильная техника» приносит искренние соболезнования родным и близким Михаила Анатольевича Колосова.

Ключевые слова: некролог; Колосов Михаил Анатольевич

Для цитирования:

Казакова А.А. Колосов Михаил Анатольевич (29.02.1956 – 17.04.2022) // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111, № 1. С. 77.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108642>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108642>

Kolosov Mikhail Anatolyevich (29.02.1956 – 17.04.2022)

Anastasiya A. Kazakova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Mikhail A. Kolosov, an associate professor of the E-4 Department at N.E. Bauman Moscow State Technical University, died after a long illness. He lectured and advised students until the very end. He spent his entire life at the E-4 Department, where he was first a graduate student and then an associate professor.

Keywords: obituary; Kolosov Mikhail Anatolyevich

To cite this article:

Kazakova AA. Kolosov Mikhail Anatolyevich (29.02.1956 – 17.04.2022). *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):77. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF108642>