

Ministry of Education and Science of Ukraine
**ODESSA NATIONAL ACADEMY OF
FOOD TECHNOLOGIES**

International Competition of
Student Scientific Works

BLACK SEA SCIENCE 2018

PROCEEDINGS



April, 4, 2018
ODESSA, ONAFT 2018

Ministry of Education and Science of Ukraine
Odessa National Academy of Food Technologies

International Competition of Student Scientific Works

BLACK SEA SCIENCE 2018

Proceedings

April 4, 2018

Odessa, ONAFT 2018

Міністерство освіти і науки України
Одеська національна академія харчових технологій

Міжнародний конкурс студентських наукових робіт

BLACK SEA SCIENCE 2018

Матеріали

4 квітня 2018 року

Одеса, ОНАХТ 2018

UDC 001(262.5):378.4.091.27(08)
BBC 421D221
B64

Editorial board:

Prof. B. Yegorov, D.Sc., Rector of the Odessa National Academy of Food Technologies, Editor-in-chief

Prof. M. Mardar, D.Sc., Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and International Relations, Editor-in-chief

Dr. I. Solonytska, Ph.D., Assoc. Professor, Director of the M. V. Lomonosov Technological Institute of Food Industry, Head of the jury of «Food Science and Technology»

Dr. O. Kalaman, Ph.D., Assoc. Professor, Director of the G. E. Weinstein Institute of Applied Economics and Management, Head of the jury of «Economics and Administration»

Prof. V. Volkov, D.Sc., Head of the Department of Applied Mathematics and Programming, Head of the jury of «Automation»

Prof. S. Artemenko, D.Sc., Head of the Department of Computer Engineering, Head of the jury of «IT Technologies and Cybersecurity»

Prof. B. Kosoy, D.Sc., Director of the V. S. Martynovsky Institute of Refrigeration, Cryotechnology and Ecoenergetics, Head of the jury of «Renewable Energy Sources and Environmental Protection»

Prof. L. Morozyuk, D.Sc., Professor of the Department of Cryogenic Engineering, Head of the jury of «Refrigerating Machines and Equipment»

Dr. V. Kozhevnikova, Ph.D., Assistant Professor of the Department of Hotel and Catering Business, ONAFT, Technical Editor

Black Sea Science 2018: Proceedings of the International Competition of Student Scientific Works, April 4, 2018, Odessa / Odessa National Academy of Food Technologies; B. Yegorov, M. Mardar (editors-in-chief.) [*et al.*]. – Odessa: ONAFT, 2018. – 827 p.

Proceedings of International Competition of Student Scientific Works «Black Sea Science 2018» contain the works of winners of the competition.

The author of the work is responsible for the accuracy of the information.

ISBN 978-966-289-181-2

Odessa National Academy of Food Technologies

УДК 001(262.5):378.4.091.27(08)
ББК 421D221
В64

Редакційна колегія:

Єгоров Б.В. – д.т.н., професор, ректор Одеської національної академії харчових технологій, відповідальний редактор

Мардар М.Р. – д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків, відповідальний редактор

Солоницька І.В. – к.т.н., доцент, директор технологічного інституту харчової промисловості ім. М.В. Ломоносова, голова журі напрямку «Харчова наука і технологія»

Каламан О.Б. – к.е.н., доцент, директор інституту прикладної економіки та менеджменту ім. Г.Е. Вейнштейна, голова журі напрямку «Економіка і управління»

Волков В.Е. – д.т.н., професор, зав. кафедри прикладної математики і програмування, голова журі напрямку «Автоматизація»

Артеменко С.В. – д.т.н., професор, зав. кафедри комп'ютерної інженерії, голова журі напрямку «ІТ технології та кібербезпека»

Косой Б.В. – д.т.н., професор, директор інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, голова журі напрямку «Відновлювані джерела енергії та охорона навколишнього середовища»

Морозюк Л.І. – д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки, голова журі напрямку «Холодильні машини і установки»

Кожевнікова В.О. – к.т.н., асистент кафедри готельно-ресторанного бізнесу, технічний редактор

Black Sea Science 2018: Матеріали Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт, 4 квітня 2018 р., Одеса / Одеська національна академія харчових технологій; Б. В. Єгоров, М. Р. Мардар (відп. ред.) [та ін.]. – Одеса: ОНАХТ, 2018. – 827 с.

Збірник включає матеріали робіт переможців Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт «Black Sea Science 2018».

За достовірність інформації відповідає автор публікації.

Organizing committee:

Prof. Bogdan Yegorov, D.Sc., Rector of Odessa National Academy of Food Technologies, Head of the Committee

Prof. Maryna Mardar, D.Sc., Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and International Relations of Odessa National Academy of Food Technologies, Deputy Head of the Committee

Prof. Stefan Dragoev, D.Sc., Vice-Rector on Research and Business Partnerships of University of Food Technologies (Bulgaria)

Prof. Baurzhan Nurakhmetov, D.Sc., First Vice-Rector of Almaty Technological University (Kazakhstan)

Prof. Andrzej Kowalski, Dr. habil., Director of Institute of Agricultural and Food Economics (Poland)

Dr. Olivera Djuragic, Ph.D., Director of Scientific Institute of Food Technology of University of Novi Sad (Serbia)

Prof. Mircea Bernic, Dr. habil., Vice-Rector on Research and Doctorate of Technical University of Moldova (Moldova)

Prof. Jacek Wrobel, Dr. habil., Rector of West Pomeranian University of Technology (Poland)

Prof. Michael Zinigrad, D.Sc., Rector of Ariel University (Israel)

Dr. Mei Lehe, PhD, Vice-President of Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University (China)

Prof. Plamen Kangalov, Ph.D., Vice-Rector on Education of “Angel Kanchev” University of Ruse (Bulgaria)

Dr. Alexander Sychev, Ph.D., Assoc. Professor of Sukhoi State Technical University of Gomel (Belarus)

Dr. Hanna Lilishentseva, Ph.D., Assoc. Professor, Head of the Department of Merchandise of Foodstuff of Belarus State Economic University (Belarus)

Prof. Heinz Leuenberger, Ph.D., University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (Switzerland)

Організаційний комітет:

Сторов Богдан Вікторович – д.т.н., професор, ректор – Одеська національна академія харчових технологій – голова оргкомітету

Мардар Марина Ромиківна – д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків – Одеська національна академія харчових технологій – заступник голови оргкомітету

Драгоєв Стефан Георгієв – д.т.н., професор, проректор з наукової роботи і бізнес партнерства – Університет харчових технологій (Болгарія)

Нурахметов Бауржан Кумаргалієвич – д.т.н., професор, перший проректор – Алматинський технологічний університет (Казахстан)

Ковальські Анджей – доктор-хабілітат, професор, директор інституту економіки сільськогосподарської та харчової промисловості – Інститут сільськогосподарської та продовольчої економіки (Польща)

Дюрагіц Олівера – доктор, директор інституту харчових технологій – Університет в м. Нові Сад (Сербія)

Бернік Мірча – доктор-хабілітат, професор, проректор з наукової роботи та докторантури – Технічний університет Молдови (Молдова)

Вробель Яцек – доктор-хабілітат, професор, ректор – Західнопоморський технологічний університет (Польща)

Зініград Михайл – доктор наук, професор, ректор – Аріельський університет (Ізраїль)

Леке Мей – доктор, віце-президент – Технологічний інститут Нінбо Чжэцзянського університету (Китай)

Кангалов Пламен – професор, доктор, проректор з навчальної роботи – Русенський університет «Ангел Канчев» (Болгарія)

Сичев Олександр Васильович – к.т.н, доцент, проректор з навчальної роботи – Гомельський державний технічний університет ім. П. Й. Сухого (Білорусь)

Лілішенцева Анна Миколаївна – к.т.н, доцент, зав. кафедрою товарознавства продовольчих товарів – Білоруський державний економічний університет (Білорусь)

Леунбергер Хайнц – доктор, професор – Університет прикладних наук і мистецтв Північно-західної Швейцарії (Швейцарія)

6. REFRIGERATING MACHINES AND EQUIPMENT

6. ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ І УСТАНОВКИ

THE REFCONTAINER REFRIGERATING MACHINE FOR A TRANSPORTATION OF THE FROZEN BLUEFIN TUNA CARCASSES

Author – Yerema V.

Supervisor – Sokolovska-Yefymenko V.

Odessa National Academy of Food Technologies

Two constructive schemes of cascade machines are considered: with working substance R23 in the lower cascades and working substances R507 and R744 in the upper cascades. For a specific temperature cycle mode, the "transport" optimization problem is solved: the minimum mass and dimensions characteristics of the compressors entering the refrigerating machine of the refcontainer for transport of frozen carcasses of bluefin tuna are determined.

ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА РЕФКОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТА ЗАМОРОЖЕННЫХ ТУШ ГОЛУБОГО ТУНЦА

Автор – Ерема В.Ю.

Руководитель – Соколовская-Ефименко В.В.

Одесская национальная академия пищевых технологий

В работе рассмотрены две конструктивные схемы каскадных машин: с рабочим веществом R23 в нижних каскадах и рабочими веществами R507 и R 744 в верхних каскадах. Для конкретного температурного режима циклов решена «транспортная» задача оптимизации: определены минимальные массогабаритные характеристики компрессоров, входящих в холодильную машину рефконтейнера для транспорта замороженных туш голубого тунца.

Введение

Тихоокеанский голубой тунец – ценный промышленный вид рыб, получил охранный статус «Уязвимый». По оценкам численность популяции сократилась до 4 % от уровня, существовавшего до начала коммерческого промысла в середине XX века. Основной объём вылова приходится на долю Японии.

Мясо тихоокеанских голубых тунцов является деликатесом. Охлаждённые и замороженные туши используют в ресторанном бизнесе и производстве полуфабрикатов для суши и сашими. Цена одной туши тунца достигает 40 тыс. долларов. Высокое качество продукта и высокая цена определяют условия транспортировки такого ценного продукта по всему миру преимущественно морским транспортом.

Для сохранения свежести первого дня вылова для дальних перевозок необходима предварительная шоковая заморозка всей туши рыбы. Замораживание производят в специальных скороморозильных аппаратах, работающих с «сухим льдом» в качестве хладоносителя при температуре -78°C . Туши помещают в жестяные колбы диаметром 750 мм и длиной 1800 мм. Средняя масса упакованной туши составляет около 250 кг. Транспортировка туш осуществляется рефрижераторными контейнерами. Вместимость контейнера от 4 до 7 туш. Технологический режим хранения предусматривает поддержание в контейнере температуры $-50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Указанный температурный режим обеспечивают каскадные холодильные машины. Техническая информация относительно схемных решений и состава оборудования системы охлаждения низкотемпературных рефконтейнеров отсутствует.

Цель работы – проектирование каскадной холодильной машины низкотемпературного рефконтейнера для перевозки туш голубого тунца.

Объектом исследования является низкотемпературная каскадная холодильная машина в составе рефконтейнера.

Предметом исследования являются энергетические и конструктивные характеристики каскадной машины.

Методы исследования: термодинамический анализ и численное моделирование термодинамических процессов в элементах компрессорной машины. Основой математического моделирования являются уравнения классической термодинамики.

1. Аналитический обзор литературных источников

Десятилетие назад производство холода на температурном уровне $-110...-50^{\circ}\text{C}$ осуществлялось каскадными машинами. В каскадных маши-

нах использовали в высокотемпературном верхнем каскаде (ВК) рабочие вещества среднего давления R12 и R22 и в низкотемпературном нижнем каскаде (НК) – вещества высокого давления R13 и R14. В современной холодильной и теплонасосной технике указанные рабочие вещества запрещены к использованию. Из всего многообразия рабочих веществ, предлагаемых рынком, исследователями для каскадных машин были отобраны пары, которые при соблюдении общих правил выбора обладали главными преимуществами: оба вещества натуральные, имеют нулевые значения ODP и близкие к нулю GWP. Именно эти заключения легли в основу появления нового поколения каскадных машин.

Наиболее известной и изученной стала машина с парой веществ R717/R744 (R717 – в ВК, R744 – в НК). Термодинамический анализ цикла машины установил, что перспективной областью ее использования являются большие холодопроизводительности при температурах в охлаждаемых объектах $-50...-30^{\circ}\text{C}$. В работе [2] представлен анализ нескольких пар веществ, в которых рабочим веществом ВК служит R744. В НК предлагается использовать группу веществ HFC-типа (R125, R41, R32 и R23) обеспечивающую получение температур ниже температуры тройной точки R744. Такие вещества могут быть использованы при проектировании каскадных холодильных машин с температурами ниже -70°C .

Реализация идей каскадных машин с R744 длительное время не состоялась, ввиду отсутствия машиностроительной базы для холодильных компрессоров высокого давления. В настоящее время компрессоры выпускают в промышленном масштабе ведущие мировые фирмы [1], поэтому практическое воплощение идеи вполне реально.

Рабочие вещества рефконтейнеров должны соответствовать требованиям морского регистра, обладать высокой степенью термодинамического совершенства, озонобезопасностью и иметь нулевой ODP. На основании аналитического анализа литературных источников относительно рабочих веществ холодильных машин морского транспорта в проекте использованы: рабочее вещество нижнего каскада – R23, рабочие вещества верхнего каскада – R507a и R744.

Особенностью конструктивного решения каскадной машины должны быть условия размещения оборудования в пределах габарита контейнера. В машине серийным оборудованием являются приборы автоматики и компрессоры, все остальное оборудование нестандартное и может быть сконструировано, исходя из конкретных условий размещения. На основании требований главной задачей является выбор компрессоров. В основе термодинамического анализа характеристик компрессоров находится

решение «транспортной» задачи – минимизации массогабаритных показателей компрессоров[3,4].

2. Формирование циклов каскадной машины

Расчеты теплопритоков внутрь контейнера выполнены с учетом скорости движения судна в неограниченном районе плавания и характеризуют систему охлаждения как малую каскадную холодильную машину. Величина теплопритоков определяет холодопроизводительность каскадной машины.

Таблица 1 – К расчету холодопроизводительности машины

Район плавания	Скорость судна, в узлах	Температура воздуха, °C	Суммарные теплопритоки, Вт
Индийский океан	15	34	1658.8
Черное море	15	30	1274.4
Тихий океан	15	29	1260.24
Средиземное море	15	27	1231.6
Атлантический океан	15	26	1174.9

Каскадные машины, рассматриваемые в проекте, состоят из двух взаимосвязанных одноступенчатых (рис. 1-2). Нижние каскады обеих машин работают с рабочим веществом R23. В верхних каскадах использованы R507 (рис. 1) и 744 (рис. 2). Циклы первой машины осуществляются в двухфазных областях соответствующих рабочих веществ (рис. 3). Во второй машине цикл нижнего каскада осуществляется в двухфазной области для R23 и полностью повторяет цикл первой машины. Цикл верхнего каскада на R744 получил название «надкритический цикл», поскольку один из его процессов – отвод тепла, происходит при давлении выше критического (рис. 4). В схеме машины вместо классического конденсатора установлен газовый охладитель. Каскады имеют общий теплообменный аппарат конденсатор – испаритель, благодаря теплообмену в котором происходит передача тепла из нижнего каскада в верхний. Температурный режим в этом аппарате определяет энергетические и конструктивные характеристики машин в целом.

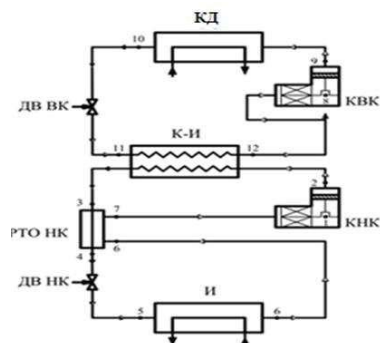


Рис. 1. Принципиальная схема каскадной холодильной машины, работающей на (R507/ R23)

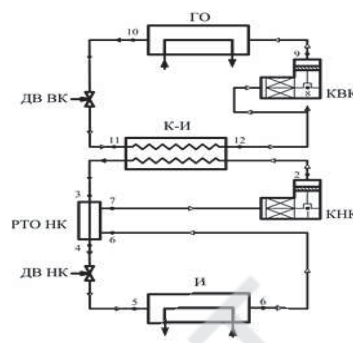


Рис. 2. Принципиальная схема каскадной холодильной машины, работающей на (R744/ R23)

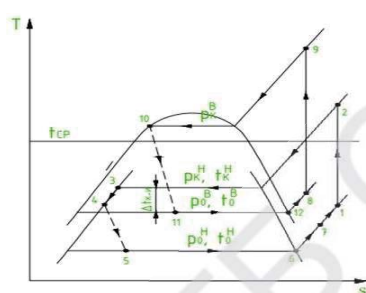


Рис. 3. Циклы каскадной холодильной машины, работающей на (R507/ R23) в диаграмме состояний(T-s)

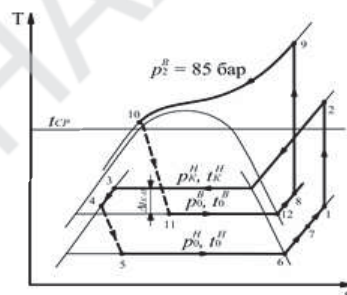


Рис. 4. Циклы каскадной холодильной машины, работающей на (R744/ R23) в диаграмме состояний(T-s)

Решение «транспортной» задачи для машины рефконтейнера – осуществить поиск компрессоров, с минимальными массогабаритными (с минимальным значением суммарной теоретической производительности компрессоров каскадов) характеристиками для комплектации оборудования холодильной машины в габаритах рефконтейнера $\sum V_h = \min$.

Условия проведения термодинамического анализа: единый температурный режим и холодопроизводительность в циклах нижних каскадов.

3. Решение «транспортной» задачи для каскадной машины

Входные данные для теплового расчета циклов:

Холодопроизводительность: $Q_0 = 2 \text{ кВт}$;

Температура в рефконтейнере: $t_k = -50^\circ \text{C}$;

Расчетная температура наружного воздуха: $t_{\text{нар}} = 34^\circ \text{C}$;

Давление рабочего вещества в газовом нагревателе $p_2^B = 85 \text{ бар}$;

Расчетные температуры в конденсаторе-испарителе заданы для решения транспортной задачи оптимизации машины: ($t_{u-k} = -5 \dots -20^\circ \text{C}$).

Расчетные температуры испарения и конденсации в циклах приняты с учетом разностей температур на теплопередачу в соответствующих аппаратах.

В качестве примера представим параметры в узловых точках циклов для расчетной температуры в испарителе-конденсаторе: $t_{u-k} = -10^\circ \text{C}$.

Рабочее вещество нижнего каскада: R23;

Рабочее вещество верхнего каскада: R507A;

Рабочее вещество верхнего каскада: R744;

Давление рабочего вещества в газовом нагревателе ВК $p_2^B = 85 \text{ бар}$;

Температура кипения в нижнем каскаде $t_0^{HK} = -60^\circ \text{C}$;

Температура конденсации в верхнем каскаде: $t_k^{BK} = 44^\circ \text{C}$;

Температура кипения в верхнем каскаде $t_0^{BK} = -20^\circ \text{C}$;

Температура конденсации в нижнем каскаде: $t_k^{HK} = -5^\circ \text{C}$.

Таблица 2 – Термодинамические параметры в узловых точках цикла нижнего каскада для машины, работающей на (R507/ R23)

Параметры	Единицы изм.	$t_0^{HK} = -60^\circ \text{C}; t_k^{HK} = -5^\circ \text{C}, \text{ R23}$						
		1	2	3	4	5	6	7
Давление, p	бар.	3,1	21,79	21,79	21,79	3,1	3,1	3,1
Температура, t	$^\circ \text{C}$	-20	79,7	-5	-22	-60	-60	-25
Энтальпия, h	кДж/кг	363,4	428,5	191,7	165,9	165,9	334	359
Объем, v	кг/м ³	0,091	0,017					

Таблица 3 – Термодинамические параметры в узловых точках цикла верхнего каскада для машины, работающей на (R507/ R23)

Параметры	Единицы изм.	$t_0^{BK} = -15^{\circ}C ; t_k^{BK} = 44^{\circ}C$ R507				
		12	8	9	10	11
Давление, p	бар.	3,804	3,804	20,68	20,68	3,804
Температура, t	$^{\circ}C$	-15	5	74,9	44	-15
Энтальпия, h	кДж/кг	357,03	372	410,7	258,1	258,1
Объём, v	кг/м ³	0,0566	0,011			

Таблица 4 – Термодинамические параметры в узловых точках цикла верхнего каскада для машины, работающей на (R744/ R23)

Параметры	Единицы изм.	$t_0^{BK} = -15^{\circ}C ; p_2^B = 85$ бар, R744				
		12	8	9	10	11
Давление, p	бар.	22,9	22,9	85	85	22,9
Температура, t	$^{\circ}C$	-15	-10	90,5	34	-15
Энтальпия, h	кДж/кг	436,2	442,7	501,3	303	303
Объём, v	кг/м ³		0,0171			

Математическая модель теплового расчета циклов

Удельная массовая холодопроизводительность НК:

$$q_0 = h_6 - h_5, \text{ (кДж/кг)}. \quad (3.1)$$

Удельная объёмная холодопроизводительность НК:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \text{ (кДж/м}^3\text{)}. \quad (3.2)$$

Удельная адиабатная работа сжатия компрессора НК

$$w_a^{HK} = h_2 - h_1 \text{ (кДж/кг)}. \quad (3.3)$$

Удельная адиабатная работа сжатия компрессора ВК:

$$w_a^{BK} = h_9 - h_8, \text{ (кДж/кг)}. \quad (3.4)$$

Массовый расход агента в нижнем каскаде:

$$M_a^{HK} = \frac{Q_0}{q_0}, \text{ (кг/с)}. \quad (3.5)$$

Массовый расход агента в верхнем каскаде:

$$M_a^{BK} = \frac{M_a^{HK} \cdot (h_2 - h_3)}{h_{12} - h_{11}}, \text{ кг/с}. \quad (3.6)$$

Коэффициенты подачи компрессоров НК и ВК:

$$\lambda^{HK} = \lambda_c^{HK} \cdot \lambda_w^{HK}, \quad (3.7)$$

$$\lambda_c^{HK} = 1 - 0.02 \cdot \left[\left(\frac{P_\kappa^{HK}}{P_0^{HK}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]; \quad (3.8)$$

$$\lambda_w^{HK} = \frac{T_0^{HK} + \theta}{T_\kappa^{HK} \cdot \alpha + \theta \cdot \beta}; \quad (3.9)$$

$$\lambda^{BK} = \lambda_c^{BK} \cdot \lambda_w^{BK}, \quad (3.10)$$

$$\lambda_c^{BK} = 1 - 0.02 \cdot \left[\left(\frac{P_\kappa^{BK}}{P_0^{BK}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]; \quad (3.11)$$

$$\lambda_w^{BK} = \frac{T_0^{BK} + \theta}{T_\kappa^{BK} \cdot \alpha + \theta \cdot \beta}; \quad (3.12)$$

Действительная объемная производительность компрессора ВК:

$$V_o^{BK} = M_a^{BK} \cdot v_8, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.13)$$

Действительная объемная производительность компрессора НК:

$$V_o^{HK} = M_a^{HK} \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.14)$$

Теоретическая объемная производительность компрессора ВК:

$$V_h^{BK} = \frac{V_a^{BK}}{\lambda^{BK}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.15)$$

Теоретическая объемная производительность компрессора НК :

$$V_h^{HK} = \frac{V_a^{HK}}{\lambda^{HK}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.16)$$

Суммарная теоретическая объемная производительность компрессоров

$$\sum V_h = V_h^{HK} + V_h^{BK} \quad (3.17)$$

Адиабатная мощность компрессоров:
верхнего каскада:

$$N_a^{BK} = M_a^{BK} \cdot w_a^{BK}, \text{ кВт}; \quad (3.18)$$

нижнего каскада:

$$N_a^{HK} = M_a^{HK} \cdot w_a^{HK}, \text{ кВт}. \quad (3.19)$$

Индикаторный КПД компрессоров
нижнего каскада:

$$\eta_i^{HK} = \lambda_w^{HK} + b \cdot (t_0^{HK}), \quad (3.20)$$

верхнего каскада:

$$\eta_i^{BK} = \lambda_w^{BK} + b \cdot (t_0^{BK}), \quad (3.21)$$

Индикаторная мощность компрессоров
нижнего каскада:

$$N_i^{HK} = \frac{N_a^{HK}}{\eta_i^{HK}} \text{ кВт}; \quad (3.22)$$

верхнего каскада:

$$N_i^{BK} = \frac{N_a^{BK}}{\eta_i^{BK}} \text{ кВт}. \quad (3.23)$$

Мощность трения компрессоров:
нижнего каскада:

$$N_{mp}^{HK} = P_{mp} \cdot V_h^{HK} \text{ кВт}; \quad (3.24)$$

верхнего каскада

$$N_{mp}^{BK} = P_{mp} \cdot V_h^{BK} \text{ кВт}. \quad (3.25)$$

Эффективная мощность компрессоров
нижнего каскада:

$$N_e^{HK} = N_{mp}^{HK} + N_i^{HK} \text{ кВт}; \quad (3.26)$$

верхнего каскада

$$N_e^{BK} = N_{mp}^{BK} + N_i^{BK} \text{ кВт}. \quad (3.27)$$

Результаты вариантных расчетов машин приведены в таблицах 5 и 6 и в графическом виде на рис. 5.

Таблица 5 – Тепловой расчет цикла каскадной холодильной машины при различных температурных режимах в испарителе-конденсаторе (t_{u-k}), работающей на рабочих веществах (R507/ R23)

Характеристики цикла	Температура в испарителе-конденсаторе, $t_{u-k}, ^\circ\text{C}$				
	-5	-10	-13	-15	-20
$q_0, (\text{кДж/кг});$	164,37	168,1	170	172,17	176,37
$q_v, (\text{кДж/кг});$	1748,61702	1847,3	1876,37969	1934,5	2027,2
$w_a^{HK}, (\text{кДж/кг});$	71,63	65,1	61	58,3	51,7
$w_a^{BK}, (\text{кДж/кг});$	34,3	38,7	56,06	57,51	47
$M_a^{HK}, (\text{кг/с})$	0,01216767	0,0119	0,01176471	0,0116	0,0113
$M_a^{BK}, (\text{кг/с})$	0,02875666	0,0285	0,0245468	0,0243	0,0278
$V_o^{HK}, (\text{м}^3/\text{с})$	0,00114376	0,0011	0,00106588	0,001	0,001
$V_o^{BK}, (\text{м}^3/\text{с})$	0,00135156	0,0016	0,00154154	0,0016	0,0022
$V_h^{HK}, (\text{м}^3/\text{с})$	0,00169165	0,0016	0,00134429	0,0014	0,0013
$V_h^{BK}, (\text{м}^3/\text{с})$	0,00187772	0,0023	0,00231973	0,0025	0,0035
ΣV_h	0,0042	0,0040	0,0038	0,0039	0,0041

Таблица 6 – Тепловой расчет цикла каскадной холодильной машины при различных температурных режимах в испарителе-конденсаторе (t_{u-k}), работающей на рабочих веществах (R744/ R23)

Характеристики цикла	Температура в испарителе-конденсаторе, t_{u-k} , °C				
	-5	-10	-13	-15	-20
q_0 , (кДж/кг);	164,37	168,1	170	172,17	176,37
q_v , (кДж/кг);	1748,62	1847,3	1876,4	1934,5	2027,24
w_a^{HK} , (кДж/кг);	71,63	65,1	61	58,3	51,7
w_a^{BK} , (кДж/кг);	34,3	60,27	69,66	67,1	74,3
M_a^{HK} , (кг/с)	0,012	0,0119	0,0118	0,0116	0,01134
M_a^{BK} , (кг/с)	0,0216	0,0211	0,0207	0,0203	0,01961
V_o^{HK} , (м ³ /с)	0,00112	0,0011	0,0011	0,001	0,00099
V_o^{BK} , (м ³ /с)	0,000317	0,0004	0,0004	0,0004	0,00046
V_h^{HK} , (м ³ /с)	0,0017	0,0016	0,0013	0,0014	0,00135
V_h^{BK} , (м ³ /с)	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,00062
ΣV_h	0,0021	0,002	0,0018	0,002	0,00205

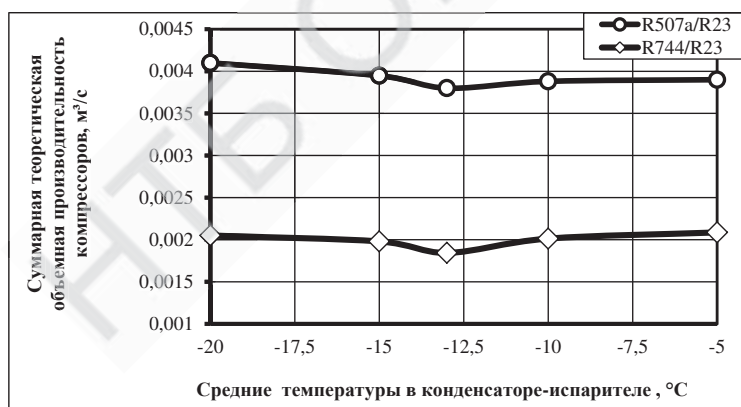


Рис. 5. Суммарная теоретическая объемная производительность компрессоров в зависимости от средней температуры в испарителе-конденсаторе

Анализ результатов показал, что в каждой машине существует температурный режим работы конденсатора-испарителя, которому соответствует минимальное значение массогабаритных характеристик компрессоров

(в первой машине $\Sigma V_h = 0,0037 \text{ м}^3 / \text{с}$, во второй машине $\Sigma V_h = 0,0019 \text{ м}^3 / \text{с}$). При этом каскадная машина с R744/R23 обладает значениями массогабаритных характеристик в 1.97 раз меньше, чем каскадная машина с R507a/R23. При реализации проекта вторая машина может иметь преимущества.

4. Заключение

Конструктивная компоновка машины в рефконтейнере представлена на рисунке 6.

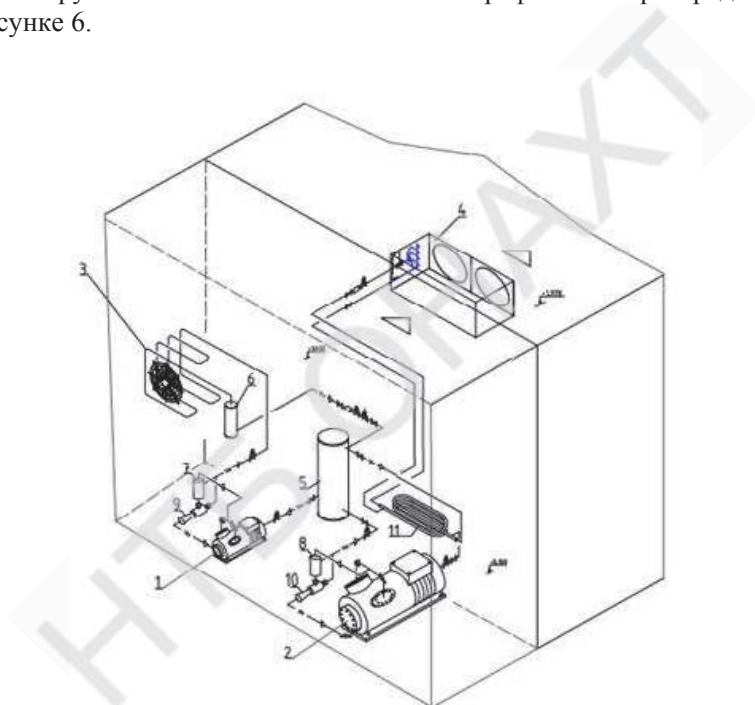


Рис. 6. Конструктивная схема размещения каскадной холодильной машины в рефконтейнере: 1-компрессор верхнего каскада; 2- компрессор нижнего каскада; 3- конденсатор; 4-воздухоохладитель; 5- конденсатор-испаритель; 6- линейный ресивер; 7-фильтр-осушитель ВК; 8- фильтр-осушитель НК; 9-инжектор для возврата масла в компрессор ВК; 10- инжектор для возврата масла в компрессор НК; 11- РТО НК

Каскадная машина укомплектована полугерметичными поршневыми компрессорами – 1, 2, воздушным конденсатором – 3 и воздухоохладите-

лем – 4, конденсатором-испарителем – 5, вспомогательным оборудованием: маслоотделителями – 7, 8, фильтрами-осушителями, регенеративным теплообменником в нижнем каскаде, линейным ресивером в верхнем каскаде.

В машине серийным оборудованием являются приборы автоматики и компрессор, все остальное оборудование не стандартное и сконструировано таким образом, чтобы вся машина разместилась в пределах габарита контейнера.

Машина полностью автоматизирована. Контроль и регулирования режима внутри контейнера осуществляется компьютерной системой через спутниковую связь. Датчик слежения температуры продукта представляет собой температурный зонд, установленный в сверлении головы тунца на глубине 150 мм. Рефконтейнер имеет свой автономный источник питания и также может подключаться к судовой электростанции.

Список использованной литературы

1. Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH. [Электронный ресурс] / Обзор хладагентов. – 2004 – № 13.A - 501-13. – С. 36. – Режим доступа: <http://yкахolod.com.ua/file/Обзор%20хладагентов%20их%20взаимосовместимость.pdf>.
2. Bhattacharyya, S. Optimization of a CO₂-C₃H₈ Cascade System for Refrigeration and Heating [Text] / S. Bhattacharyya, A. Kumar, R. K. Khurana, J. Sarkat // International Journal of Refrigeration. – 2005. – Vol. 28, Issue 8. – P. 1284–1292.
3. Мааке В. Учебник по холодильной технике: пер. с фр. / В. Мааке, Г.Ю. Эккерт, Ж.Л. Кошпен. – МГУ: 1988. – 1142 с.
4. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов [Текст] / Т. В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.

6. REFRIGERATING MACHINES AND EQUIPMENT 734

THE REFCONTAINER REFRIGERATING MACHINE FOR A
TRANSPORTATION OF THE FROZEN BLUEFIN TUNA CARCASSES
Author – Yerema V., Supervisor – Sokolovska-Yefymenko V..... 734

A NOVEL TWO-STAGE EJECTOR REFRIGERATOR WITH
MIXED REFRIGERANTS
Author – Xuehui Wang, Yifan Zhou, Yini Pan, Guangming Chen,
Supervisor – Wang Xuehui 747

USE OF COOLING POTENTIAL ABSORPTION-ELECTRIC
REFRIGERATING MACHINE
Author – Bohza L., Bodu D., Supervisor – Radchenko A..... 758

SAFETY ASPECTS OF THE RETROFIT OF R404A
IN A WALK-IN COOLER
Author – Radosław Paweł Szczakowski, Supervisor – Tomasz Łokietek..... 785

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE PAROCOMPRESSION
REFRIGERATING MACHINE FOR THE ENERGY EFFICIENCY
OF THE RECEIPT OF A COLD UNIT
Author – Yemelienko A., Supervisor – Kozin A. 796

Наукове видання

Міжнародний конкурс студентських наукових робіт

BLACK SEA SCIENCE 2018

Матеріали

Верстка – Н.М. Ковальчук

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Умовно-друк. арк. 48,07. Тираж 300. Замовлення № 0518-105.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.